



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional De Loja

### Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

#### Carrera de Ingeniería Electromecánica

### Evaluación térmica de un colector parabólico comercial portátil para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) mediante energía solar

Trabajo de Integración Curricular,  
previo a la obtención del título de  
Ingeniera en Electromecánica

**AUTORA:**

Jessica Lisseth Castillo Tituaña

**DIRECTOR:**

Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera

Loja - Ecuador

2024

*Educamos para Transformar*

## Certificación

Loja, 21 de octubre de 2024

Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR O DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

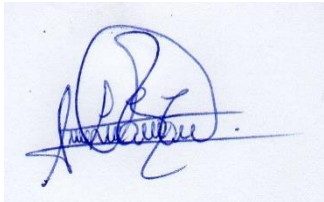
Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación térmica de un colector parabólico comercial portátil para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) mediante energía solar**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Electromecánica**, de la autoría de la estudiante **Jessica Lisseth Castillo Tituaña**, con cédula de identidad Nro. **1105664682**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Jessica Lisseth Castillo Tituaña**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí del trabajo de integración curricular o de titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula de identidad:** 1105664682

**Fecha:** 21 de octubre de 2024

**Correo electrónico:** [jessica.l.castillo@unl.edu.ec](mailto:jessica.l.castillo@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0985107906

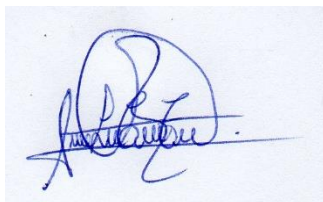
**Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo, **Jessica Lisseth Castillo Tituaña**, declaro ser autora del trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación térmica de un colector parabólico comercial portátil para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) mediante energía solar**”, como requisito para optar el título de **Ingeniera Electromecánica**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, suscribo en la ciudad de Loja, a los veintiún días del mes de octubre del dos mil veinticuatro.



**Firma:**

**Autora:** Jessica Lisseth Castillo Tituaña

**Cédula:** 1105664682

**Dirección:** San Rafael-Jorge Hugo Rengel.

**Celular:** 0985107906

**Correo electrónico:** jessica.l.castillo@unl.edu.ec

**DATOS COPLEMENTARIOS:**

**Director del trabajo de integración curricular:** Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo primeramente a Dios por mantener en mí la fe, el carácter y la fuerza para seguir adelante pese a las dificultades que se presentaron durante el transcurso de mi formación académica.

A mis padres Cristóbal e Inés, quienes han sido mi fuente de inspiración y motivación durante este proceso, por su apoyo incondicional en cada uno de los momentos importantes de mi vida y enseñarme a ser una persona de bien y con valores, por brindarme siempre su amor, cariño y sabiduría que me permitió lograr culminar con éxito mis estudios y metas propuestas.

A mis hermanos por su apoyo y presencia en cada momento de angustia.

A mis amigos y docentes que conforman esta prestigiosa institución, por compartir conmigo su experiencia y conocimientos durante este proceso, por su tiempo y apoyo en mi formación académica.

*Jessica Lisseth Castillo Tituaña*

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

Mi sentimiento de gratitud a la Universidad Nacional de Loja por permitirme estudiar esta prestigiosa carrera junto a una planta de docentes inigualables, que con profesionalismo y sabiduría me impartieron sus conocimientos académicos, ética y valores en las aulas de la misma.

Mis sinceros agradecimientos al Ing. Edwin Bladimir Paccha, por su orientación y apoyo durante todo el proceso de investigación. Sus consejos y conocimientos fueron fundamentales para la consecución de este trabajo.

Agradezco a mis familiares y amigos por los momentos compartidos, experiencias y sobre todo por siempre creer en mí y motivarme a seguir adelante.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este importante capítulo de mi vida, este logro es también de ustedes.

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xiv
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
<b>4.1 Colector Solar</b> .....	<b>6</b>
4.1.1 Colectores termo solares .....	6
4.1.2 Tipos de colectores solares .....	8
4.1.2.1 Colectores termo solares sin concentración solar. ....	8
4.1.2.2 Colectores termo solares con concentración solar. ....	11
4.1.2.2.1 Nomenclatura y parámetros para un CPC .....	12
4.1.3 Eficiencia de un colector solar .....	13
4.1.4 Curvas de eficiencia. ....	13
4.1.5 Factores que afectan la energía solar .....	14
<b>4.2 Transferencia de calor</b> .....	<b>14</b>
4.2.1 Mecanismos de transferencia de calor. ....	14
4.2.1.1 Radiación.....	15
4.2.1.2 Conducción .....	15
4.2.1.3 Convección.....	16
4.2.2 Estimación de la radiación horaria a partir de datos diarios. ....	16
4.2.3 Coeficiente de transferencia de calor por radiación.....	17
4.2.4 Calor perdido por radiación. ....	18
4.2.5 Calor perdido por convección.....	18

4.2.6 Coeficiente de concentración.....	19
<b>4.3 Correlaciones de transferencia de calor por convección.....</b>	<b>20</b>
4.3.1 Convección natural .....	20
4.3.2 Convección forzada.....	21
4.3.3 Número de Rayleigh.....	22
4.3.4 Número de Reynolds.....	23
<b>4.4 Resistencia térmica a la radiación.....</b>	<b>23</b>
4.4.1 Resistencia a la convección.....	23
<b>4.5 Resistencia térmica .....</b>	<b>23</b>
4.5.1 Resistencia térmica por conducción en una pared cilíndrica .....	24
4.5.2 Convección natural entre placas planas paralelas y entre cilindros concéntricos.....	25
<b>4.6 Estudios realizados en base a eficiencia y rendimiento térmico de colectores     solares parabólicos.....</b>	<b>26</b>
<b>4.7 Dinámica Computacional de fluidos (CFD) .....</b>	<b>30</b>
4.7.1 Concepto, aplicaciones y programas comerciales CFD.....	30
4.7.2 Método de discretización: Formulación algebraica .....	31
4.7.2.1 Método de volúmenes Finitos .....	31
<b>4.8 ANSYS FLUENT .....</b>	<b>31</b>
4.8.1 Características de ANSYS FLUENT .....	32
4.8.1.1 Modelado de flujo multifásico. ....	32
4.8.1.2 Modelado de turbulencia.....	32
4.8.1.3 Transferencia de calor. ....	32
4.8.1.4 Acoplamiento fluido-estructural. ....	32
4.8.1.5 Pre y postprocesamiento avanzado. ....	33
<b>5. Metodología.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Área de trabajo .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 Equipos y materiales.....</b>	<b>33</b>
<b>5.3 Procedimiento .....</b>	<b>34</b>
5.3.1 Balance térmico.....	35
5.3.2 Modelo numérico simplificado .....	36
5.3.3 Evaluación del rendimiento en el colector solar. ....	38
<b>5.4 Procesamiento y análisis de datos .....</b>	<b>39</b>
5.4.1 Condiciones de operación óptimas del colector solar.....	39



5.4.2	Normativa ASAE S580 .....	40
5.4.3	Dinámica de fluidos computacional CDF .....	44
5.4.3.1	Ecuaciones gobernantes de la dinámica computacional de fluidos....	45
5.4.3.1.1	Ecuaciones de Navier-Stokes .....	45
5.4.3.1.2	Ecuación de Continuidad.....	45
5.4.3.1.3	Ecuación del momento .....	45
5.4.3.1.4	Ecuación de la Energía .....	46
5.4.3.2	Modelo de radiación.....	46
5.4.3.2.1	Surface-to-Surface Radiation Model .....	46
5.4.3.3	ANSYS Fluent 2022 R1 .....	48
5.4.3.3.1	Preprocesamiento .....	48
5.4.3.3.2	Procesamiento .....	52
5.4.3.3.3	Post procesamiento.....	59
5.4.4.	Evaluar el rendimiento de un colector comercial portátil para la obtención de agua caliente sanitaria mediante energía solar. ....	60
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>63</b>
6.1	<b>Realizar un balance térmico. ....</b>	<b>63</b>
6.2	<b>Implementar un modelo numérico simplificado que describa el funcionamiento del tubo de vacío del colector solar parabólico comercial. ....</b>	<b>65</b>
6.2.1	Temperaturas del agua mediante Software ANSYS .....	66
6.2.2	Resultados de temperatura del agua con Malla 3 (0.005 m) .....	67
6.2.3	Temperaturas del agua mediante método experimental. ....	68
6.2.4	Comparativa entre método experimental y Software ANSYS .....	69
6.3	<b>Evaluación del rendimiento del colector solar .....</b>	<b>70</b>
6.3.1	Rendimiento del colector.....	70
6.3.2	Gráficas de Temperaturas del sistema.....	72
6.3.3	Métrica de error entre CFD y experimento. ....	76
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>77</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>79</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>80</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>81</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>85</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Parámetro de un CPC. _____	12
<b>Tabla 2.</b> Coeficientes de correlación de Zhukauskas. _____	21
<b>Tabla 3.</b> Materiales empleados. _____	34
<b>Tabla 4.</b> Resultados de radiación obtenidos por cada ensayo. _____	40
<b>Tabla 5.</b> Datos de operación del colector solar. _____	41
<b>Tabla 6.</b> Datos de temperatura mediante termocupla tipo K. _____	60
<b>Tabla 7.</b> Independencia de malla para el colector solar. _____	60
<b>Tabla 8.</b> Resultado de las pérdidas y ganancias de colector solar parabólico. _____	64
<b>Tabla 9.</b> Datos del calor útil durante experimentación. _____	70
<b>Tabla 10.</b> Datos de ensayos: Rendimiento( $\eta$ ) del colector. _____	71
<b>Tabla 11.</b> Resultado de métrica de error entre CFD y experimento. _____	76

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Diagrama de una aplicación SHIP.....	7
<b>Figura 2.</b> Clasificación de colectores solares térmicos. ....	8
<b>Figura 3.</b> Colector de placa plana de vidrio. ....	9
<b>Figura 4.</b> Colectores parabólicos compuestos.....	10
<b>Figura 5.</b> Funcionamiento del Tubo de Calor .....	11
<b>Figura 6.</b> Esquema de un CCP sus partes y funcionamiento. ....	12
<b>Figura 7.</b> Reflector lineal de Fresnel.....	13
<b>Figura 8.</b> Mecanismos de transferencia de calor en un captador solar. ....	14
<b>Figura 9.</b> Radiación de onda corta y de onda larga.....	15
<b>Figura 10.</b> Enfriamiento de un huevo cocido por convección forzada y convección natural. 16	
<b>Figura 11.</b> Relación entre la radiación total horaria y diaria sobre una superficie horizontal en función de la duración del día.....	17
<b>Figura 12.</b> Energía radiante sobre una superficie. ....	18
<b>Figura 13.</b> Relación entre el coeficiente de concentración y la temperatura de funcionamiento del colector.....	20
<b>Figura 14.</b> Flujo de Calor.....	23
<b>Figura 15 .</b> Esquema de un cilindro. ....	24
<b>Figura 16.</b> Tubo cilíndrico largo (o capa esférica) con temperaturas de las superficies interior y exterior T1 y T2 especificadas.....	25
<b>Figura 17.</b> Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de un cilindro compuesto de tres capas sujeto a convección en ambos lados.....	25
<b>Figura 18.</b> Colector solar cilindro parabólico y sección transversal del tubo colector. ....	27
<b>Figura 19.</b> Componentes y modelo de un CCP.....	28
<b>Figura 20.</b> Concentrador solar con espejos como material reflectante. ....	28
<b>Figura 21.</b> Secuencia de trabajo para un modelo CFD en ANSYS Fluent. ....	31
<b>Figura 22.</b> Bloque 3, facultad de la energía y los recursos naturales no renovables. ....	33
<b>Figura 23.</b> Flujograma de desarrollo del primer objetivo. ....	35
<b>Figura 24.</b> Flujograma de desarrollo del segundo objetivo. ....	37
<b>Figura 25.</b> Flujograma de desarrollo del tercer objetivo.....	38
<b>Figura 26.</b> Modelo de transferencia de calor del colector solar parabólico.....	42
<b>Figura 27.</b> Esquema de resistencias del sistema. ....	42
<b>Figura 28.</b> Geometría del colector solar mediante SpaceClaim.....	48

<b>Figura 29.</b> Tubo de vacío y paneles. ....	48
<b>Figura 30.</b> Selección de sistema de análisis y parámetros previos a simulación. ....	49
<b>Figura 31.</b> Propiedades de materiales del termo. ....	49
<b>Figura 32.</b> Revisión de la geometría antes del mallado. ....	50
<b>Figura 33.</b> Definición del mallado en el termo colector solar. ....	51
<b>Figura 34.</b> Creación de named selections en la geometría del colector. ....	51
<b>Figura 35.</b> Configuración general del solver. ....	52
<b>Figura 36.</b> Modelo de radiación: Surface to Surface (S2S). ....	53
<b>Figura 37.</b> Configuración del modelo en estudio. ....	53
<b>Figura 38.</b> Presión de salida. ....	54
<b>Figura 39.</b> Configuración de las condiciones de borde en las paredes del colector. ....	55
<b>Figura 40.</b> Configuración de no deslizamiento. ....	55
<b>Figura 41.</b> Configuración fluido-sólido ....	56
<b>Figura 42.</b> Propiedades de los fluidos. (a) Aire. (b) Agua. ....	56
<b>Figura 43.</b> Propiedades físicas y térmicas de los sólidos. (a) Aluminio. (b) Cobre. ....	57
<b>Figura 44.</b> Configuración de controles y métodos de solución. ....	58
<b>Figura 45.</b> Iniciación de la simulación. a) Report Definitions. b) Selección del número de iteraciones. ....	58
<b>Figura 46.</b> Presentación de resultados. ....	59
<b>Figura 47.</b> Medición de radiación. ....	61
<b>Figura 48.</b> Termocupla tipo K. ....	61
<b>Figura 49.</b> Representación esquemática del termo colector solar parabólico y sus condiciones de borde. ....	65
<b>Figura 50.</b> Gráfica de datos de ANSYS Fluent: Azul) Malla 1. ....	66
<b>Figura 51.</b> Comportamiento térmico de un sistema de colector parabólico portátil. ....	67
<b>Figura 52.</b> Curva de temperatura día 5. ....	68
<b>Figura 53.</b> Temperatura de agua, rendimiento vs Tiempo. ....	69
<b>Figura 54.</b> Variación de temperatura por día: a) Día 1,2,3. b) Día 4,5,6. ....	72
<b>Figura 55.</b> Temperatura de salida vs radiación Solar. ....	73
<b>Figura 56.</b> Representación de calor útil diariamente durante 12 ensayos. ....	74
<b>Figura 57.</b> Radiación vs Rendimiento durante 12 ensayos. ....	75
<b>Figura 58.</b> Comportamiento térmico de un sistema de colector parabólico portátil con malla 0.008 m ....	88

<b>Figura 59.</b> Comportamiento térmico de un sistema de colector parabólico portátil con malla 0.006 m .....	89
<b>Figura 60.</b> Evidencia de toma de datos con el colector solar.....	90
<b>Figura 61.</b> Datos del calor útil durante 12 ensayos.....	91
<b>Figura 62.</b> Datos de ensayos: Rendimiento( $\eta$ ) del colector.....	91

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1. Propiedades el aluminio a 25 °C .....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo 2. Propiedades termo físicas del agua.....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo 3. Programación mediante Arduino. termocupla tipo K.....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo 4. Temperaturas del colector con mallas diferentes.....</b>	<b>88</b>
<b>Anexo 5. Datos de termocupla .....</b>	<b>89</b>
<b>Anexo 6. Evidencia de operación del colector. ....</b>	<b>90</b>
<b>Anexo 7. Datos de recolección durante 12 días de experimentación.....</b>	<b>91</b>
<b>Anexo 8. Plantilla para registro de datos de radiación solar y rendimiento de un colector solar. ....</b>	<b>91</b>
<b>Anexo 9. Certificado de traducción del resumen. ....</b>	<b>92</b>

## Simbología

### Acrónimos

ACS	Agua caliente sanitaria	$g$	Aceleración gravitacional
CPC	Colectores Parabólicos Compuestos	$h$	Coefficiente de transferencia de calor $W m^{-2}K^{-1}$
CFD	Dinámica computacional de fluidos, del inglés Computational Fluid Dynamics	$a$	Aceleración
ETC	Colectores de tubos de vacío del inglés Evacuated Tube Collectors	$C$	Coefficiente de concentración
FEM	Método de volúmenes Finitos, del inglés Finite Element Method	$A$	Área
RMSE	Raíz del Error Cuadrático Medio por sus siglas en inglés: Root Mean Squared Error		
<b>Constantes y variables</b>		$D$	Diámetro
$E$	Energía	$Nu_D$	Número de Nusselt
$\Delta$	Incremental de una variable	$Ra$	Número de Rayleigh
$\rho\sigma$	Reflectancia de la superficie parabólica	$Gr$	Número de Grashof
$\varepsilon$	Emisividad	$Pr$	Número de Prandtl
$\varepsilon_r$	Emisividad del receptor	$C_p$	Calor específico
$\varepsilon_c$	Emisividad de la cubierta	$F$	Fuerza
$Q_u$	Energía útil	$\dot{V}$	Caudal másico
$Q$	Tasa de transferencia de calor	$h_i$	Coefficiente de transferencia de calor interno
$L$	Longitud	<b>Símbolos griegos</b>	
$k$	Coefficiente de conductividad térmica	$\beta$	Coefficiente de expansión térmica $K^{-1}$
$t$	Tiempo	$\tau$	Transmitancia cubierta de vidrio
$T$	Temperatura (K)	$\gamma$	Factor forma
$T_\infty$	Temperatura ambiente	$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} W m^{-2}K^{-4}$
$r_2$	Radio exterior del cilindro	$\nu$	Viscosidad cinemática
$r_1$	Radio interior del cilindro	$\mu$	Viscosidad dinámica

$V$	Velocidad del aire	$\alpha$	Difusividad térmica
		$\partial$	Derivada parcial

---

**Superíndices**

---

**Subíndices**

amb	Ambiental
alr	Alrededores
c	Colector
cond	Conducción
cil	Cilindro
rad	Radiación
int	Interna
sp	Superficial
si	Superficial interna



## **1. Título**

**Evaluación térmica de un colector parabólico comercial portátil para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) mediante energía solar**

## 2. Resumen

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento térmico de un colector parabólico comercial portátil destinado a la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) mediante energía solar.

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Loja, utilizando tanto métodos experimentales como simulaciones numéricas. Se realizó un balance térmico del sistema, para calcular las pérdidas y ganancias de calor. Además, se implementó un modelo numérico en ANSYS Fluent que permitió simular el comportamiento del fluido en el tubo de vacío, analizando los fenómenos de transferencia de calor. Los resultados de las simulaciones fueron validados mediante comparaciones con datos experimentales.

Los resultados mostraron que el colector solar parabólico comercial presenta un comportamiento térmico eficiente bajo diversas condiciones operativas, con un rendimiento del 55,29%. Durante los 12 días de ensayo, se alcanzaron temperaturas de hasta 90 grados en un lapso de dos horas, incluso bajo condiciones ambientales variables, aunque con una ligera pérdida neta de energía de 4,89 W. El modelo numérico desarrollado arrojó resultados positivos, alcanzando una temperatura de 81 °C. Además, es una herramienta valiosa para predecir el rendimiento del colector, lo que abre nuevas oportunidades para futuras investigaciones orientadas a la optimización y mejora del diseño de colectores solares.

Finalmente, se concluye que el colector comercial portátil evaluado es capaz de generar agua caliente sanitaria de manera efectiva, aunque se identificaron áreas de mejora en términos de retención de calor y eficiencia energética. Este estudio no solo contribuye al conocimiento sobre la tecnología de colectores solares, sino que también ofrece oportunidades para desarrollar modelos más complejos y optimizar el rendimiento de estos sistemas en aplicaciones prácticas.

**Palabras clave:** *energía solar, agua caliente sanitaria, colectores solares, ANSYS, balance térmico.*

## **Abstract**

The main objective of this study is to evaluate the thermal performance of a portable commercial parabolic trough collector designed to obtain domestic hot water (DHW) by means of solar energy.

The research was carried out in the city of Loja, using both experimental methods and numerical simulations. A thermal balance of the system was carried out to calculate heat losses and gains. In addition, a numerical model was implemented in ANSYS Fluent to simulate the behavior of the fluid in the vacuum tube, analyzing the heat transfer phenomena. The results of the simulations were validated by comparisons with experimental data.

The results showed that the commercial parabolic solar collector presents an efficient thermal behavior under various operating conditions, with an efficiency of 55.29%. During the 12-day test, temperatures of up to 90 degrees were reached within two hours, even under variable environmental conditions, although with a slight net energy loss of 4.89 W. The developed numerical model showed positive results, reaching a temperature of 81 °C. In addition, it is a valuable tool for predicting collector performance, which opens new opportunities for future research aimed at optimizing and improving solar collector design.

Finally, it is concluded that the evaluated portable commercial collector is capable of generating domestic hot water effectively, although areas for improvement in terms of heat retention and energy efficiency were identified. This study not only contributes to the knowledge of solar collector technology, but also offers opportunities to develop more complex models and optimize the performance of these systems in practical applications.

**Keywords:** solar energy, domestic hot water, solar collectors, ANSYS, heat balance.

### 3. Introducción

Desde la antigüedad, la forma más común de obtener agua caliente era verter agua sobre piedras calientes en días soleados, con el desarrollo tecnológico se creó la iniciativa de aprovechar la energía solar con fines domésticos. Los colectores solares aprovechan el mismo principio de recolección de la radiación solar para aumentar la temperatura de un fluido que fluye a través de ellos, en este caso, el agua. En 1891, Clarence Kemp ingenia el primer calentador de agua con energía solar, al colocar un tanque de agua pintado de negro dentro de una caja con cubierta de vidrio, con el fin de que, conforme el fondo de la caja se calentaba, el agua más fría dentro del tanque absorbía calor y se calentaba lo suficiente como para poder bañarse u obtener agua caliente para uso doméstico (Heródoto, 2007).

La conciencia de que los recursos de combustibles fósiles son limitados y dañinos para el medio ambiente ha generado la urgencia de implementar políticas energéticas alternativas. Por este motivo, durante las últimas décadas el mundo científico se ha centrado en sistemas capaces de utilizar y convertir fuentes de energía renovables, en particular la radiación solar.

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable más abundantes y accesibles en todo el mundo, gracias al avance de la ciencia y la tecnología en el ámbito de los colectores solares, se ha logrado aprovechar con gran fiabilidad la energía solar térmica para satisfacer una parte importante de las necesidades de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción residencial e incluso uso industrial.

Para que un sistema solar sea altamente eficiente, es esencial que pueda captar continuamente la radiación solar incidente en su ubicación. La ubicación geográfica de Ecuador en el planeta ofrece niveles óptimos de radiación solar, lo que hace que la implementación de sistemas solares térmicos sea muy exitosa en este país.

En la actualidad se han desarrollado numerosas tecnologías más eficientes y sostenibles para el calentamiento de agua. Los colectores solares portátiles son dispositivos que aprovechan esta energía para calentar agua, ya sea en el hogar o en cualquier otro lugar donde se requiera agua caliente. Estos colectores utilizan tecnología de concentración solar para generar altas temperaturas en un punto focal, que luego se transfieren al agua a través de un intercambiador de calor. Los colectores solares portátiles son ideales para su uso en áreas remotas, donde no hay acceso a electricidad o gas, o para aquellas personas que desean reducir su huella de carbono y ahorrar dinero en la factura de energía.

Ramírez y Guzmán (2012) en la Universidad nacional de Loja realizaron un estudio del prototipo eficiente de un colector solar disco-parabólico, para la generación de energía eléctrica con base en motores Stirling, en el cual mencionan que el sistema funciona únicamente con

radiación solar directa y para asegurar la mayor captación de radiación solar implementaron un sistema de seguimiento solar, el cual consta de dos motores o actuadores solares con sus respectivos sensores de movimiento. El análisis expresa la cantidad de energía útil producida por el colector y ésta a la vez ser aprovechada por un motor Stirling mediante la conversión de energía térmica a eléctrica.

Solano (2018) realizó el “Diseño y construcción de un colector solar de placa plana destinado a la obtención de agua caliente sanitaria para el laboratorio de energías renovables del AEIRNNR de la UNL” y determinó que para abastecer 25 litros diarios de agua caliente sanitaria en la oficina del Laboratorio de Energías Renovables, se requiere un consumo energético de 1,28 kWh/día, con un recurso solar disponible de 2,87 kWh/m<sup>2</sup>. El diseño del sistema incluye un colector solar de placa plana de 1,4 m<sup>2</sup>, construido con aluminio y cobre, con un costo aproximado de 781,43 dólares. El sistema alcanzó una eficiencia del 42,2 %, y se necesitarían dos colectores para cubrir el 80 % de las necesidades energéticas de una familia promedio en Loja, con un periodo de retorno de la inversión de 6,8 años comparado con un calefón y 9,5 años frente a un sistema eléctrico. Las investigaciones en la Universidad Nacional de Loja se trataron de diseños de prototipos de colectores solares para generación eléctrica y para uso residencial.

El presente estudio tiene como objetivo realizar la evaluación térmica de un colector parabólico comercial portátil, mediante energía solar incidente en la ciudad de Loja y de esta forma producir agua caliente sanitaria (ACS).

Con el propósito de aplicar los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la carrera de Ingeniería en Electromecánica, se establecen los siguientes objetivos para el proyecto en cuestión:

### **Objetivo general**

Evaluar el comportamiento térmico de un colector parabólico comercial portátil para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) mediante energía solar.

### **Objetivos específicos**

- Realizar un balance térmico para obtener las condiciones de operación del colector solar parabólico comercial.
- Implementar un modelo numérico simplificado que describa el funcionamiento del tubo de vacío del colector solar parabólico comercial.
- Evaluar el rendimiento del colector comercial portátil para la obtención de agua caliente sanitaria mediante energía solar.

## 4. Marco teórico

### 4.1 Colector Solar

Un colector solar es un dispositivo diseñado para captar la radiación solar, transformarla en energía térmica y transferir ese calor a un fluido circulante, que puede ser aire, agua o aceite. Esta energía captada tiene diversas aplicaciones, como el calentamiento directo de agua, la alimentación de sistemas de climatización o su almacenamiento en acumuladores térmicos para uso posterior.

Los colectores solares se clasifican principalmente en dos categorías:

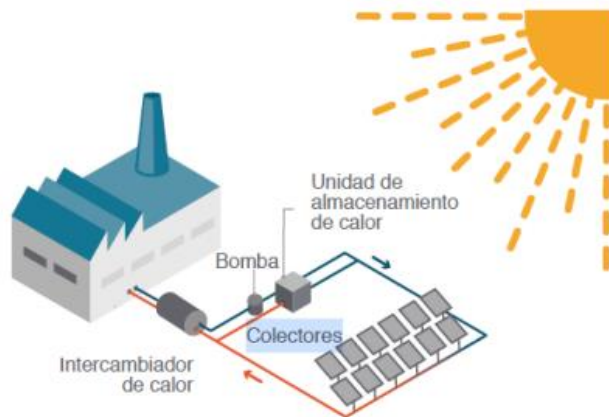
1. **Colectores no concentradores o estacionarios:** son dispositivos que presentan una superficie de interceptación y absorción de radiación solar idéntica. Su diseño simple les permite captar la energía solar sin necesidad de seguimiento solar.
2. **Colectores concentradores:** estos sistemas emplean superficies reflectoras cóncavas para interceptar y concentrar la radiación solar en una superficie receptora más reducida. Esta configuración aumenta significativamente el flujo de radiación, mejorando la eficiencia en la captación de energía.

La elección entre estos tipos de colectores depende de factores como la aplicación específica, las condiciones climáticas y los requerimientos de temperatura del sistema

#### 4.1.1 *Colectores termo solares*

Los sistemas de captación termo solar tienen la capacidad de convertir la radiación del sol en energía térmica utilizable. En la **Figura 1** se ilustra una instalación SHIP (siglas en inglés de Calor Solar para Procesos Industriales), que consta de una serie de colectores solares. Estos dispositivos calientan un fluido de trabajo, y mediante intercambiadores de calor, transfieren esta energía térmica a otros procesos productivos de la planta, ya sea en forma de agua caliente, corrientes de aire o vapor.

En condiciones de cielo despejado durante las horas diurnas, estos colectores incrementan la temperatura del medio de transferencia térmica, que puede ser aire, agua o aceite térmico, entre otros. Los colectores se integran al proceso de producción, bien sea directamente o a través de un depósito de acumulación térmica, utilizando en ocasiones un intercambiador de calor como interfaz.



**Figura 1.** Diagrama de una aplicación SHIP.

Fuente: (Payback, 2017).

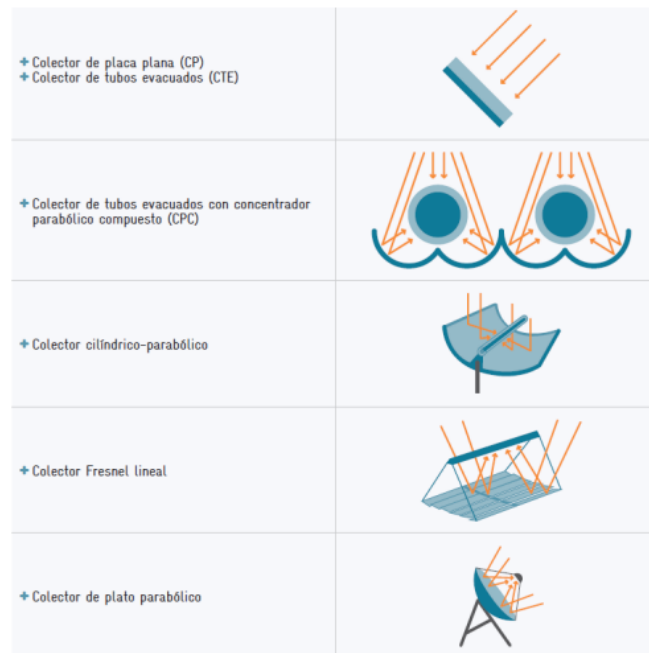
Los colectores se pueden catalogar como estáticos y de seguimiento. Los colectores estáticos se encuentran dirigidos a una posición de referencia solar sobre bases fijas.

Las aplicaciones son catalogadas según al tipo de captador termo solar (IEA, 2012):

- Colector termo solar sin concentración solar
- Colector termo solar con concentración solar

En el ámbito de la tecnología solar térmica, se distinguen dos categorías principales de colectores. Por un lado, los sistemas sin concentración se caracterizan por tener áreas de interceptación y absorción de energía solar de dimensiones similares. En contraste, los colectores de tipo concentrador utilizan superficies reflectantes con geometría cóncava para capturar y dirigir la radiación solar hacia una zona receptora más pequeña. Esta configuración resulta en una intensificación significativa de la densidad de radiación y, por consiguiente, del flujo térmico en el área de absorción.

#### 4.1.2 Tipos de colectores solares



**Figura 2.** Clasificación de colectores solares térmicos.

Fuente: (Payback, 2017).

##### 4.1.2.1 Colectores termo solares sin concentración solar.

Los sistemas de captación solar no concentradores se diseñan con el propósito de maximizar la recolección de energía radiante del sol. La instalación de estos dispositivos se realiza considerando ángulos de inclinación y orientación precisos, los cuales se determinan en función de las coordenadas geográficas del emplazamiento (Suman et al., 2017). En el campo de la energía solar térmica, los colectores no concentradores se categorizan comúnmente en tres grupos principales:

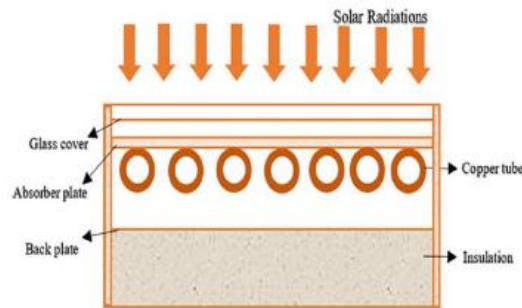
- Colectores de placa plana (CPP).
- Colectores parabólicos compuestos estacionarios (CPC).
- Colectores de tubo evacuado (CTE).

##### Colectores de placa plana (CPP)

Los colectores de placa plana se destacan por su capacidad de aprovechar tanto la radiación solar directa como la difusa. Estos se subdividen en dos categorías: con y sin cubierta de vidrio. La versión acristalada incorpora una o más capas protectoras transparentes, además de componentes como tubos, aletas y una placa absorbente, que puede ser lisa o texturizada. Esta configuración se complementa con aislamiento térmico y elementos auxiliares.



Basilio (2021) menciona que, en estos sistemas, la radiación solar atraviesa la cubierta transparente e incide sobre la superficie oscura del absorbedor. Este elemento capta una proporción significativa de la energía, transfiriéndola al fluido que circula por la red de tubos. Por otro lado, los colectores sin acristalamiento carecen de esta capa protectora transmisora de radiación.



**Figura 3.** Colector de placa plana de vidrio.

Fuente: (Suman, Khan, & Pathak, 2017).

Bajo las investigaciones de Suman, Khan y Pathak (2017), y de Pandey y Chaurasiya (2017), se puede ofrecer una perspectiva alternativa sobre la eficiencia térmica de los colectores solares:

La eficacia térmica de los colectores solares, tanto los acristalados como los que carecen de cubierta, está fundamentalmente determinada por su coeficiente de pérdida global. Este parámetro engloba las disipaciones térmicas por conducción, convección y radiación. Para optimizar el rendimiento térmico general, resulta crucial minimizar estas pérdidas energéticas.

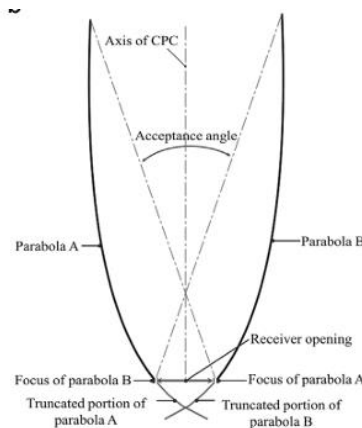
En el caso de los colectores con cubierta de vidrio, esta actúa como una barrera que reduce significativamente las pérdidas por convección y radiación desde la placa absorbente hacia el entorno. Por otro lado, las pérdidas por conducción están intrínsecamente ligadas a las propiedades del material utilizado en la construcción del colector.

Los colectores sin cubierta, al prescindir de la barrera de vidrio, son más susceptibles a las pérdidas por convección. Sin embargo, esta configuración elimina las pérdidas ópticas asociadas a la transmisión a través del vidrio. Para contrarrestar las pérdidas térmicas, ambos tipos de colectores suelen incorporar aislamiento en sus laterales y base.

### **Colectores parabólicos compuestos estacionarios (CPC)**

Como se muestra en la Figura 7, los CPC están típicamente protegidos con vidrio para protegerlos del polvo y de los materiales exteriores que afectan negativamente a su rendimiento y a la reflectividad de sus paredes (Suman, Khan, & Pathak, 2017). Los concentradores lineales

o de tipo canaleta en el CPC son generalmente útiles y pueden absorber las radiaciones incidentes en un amplio rango de ángulos.



**Figura 4.** Colectores parabólicos compuestos.

Fuente: (Suman, Khan, & Pathak, 2017).

Rönnelid, Perers y Karlsson (1996), la orientación de los colectores de Concentrador Parabólico Compuesto (CPC) está directamente influenciada por su ángulo de aceptación. En este contexto, O'Gallagher et al. (1982) y McIntir (1980) han identificado dos configuraciones fundamentales de CPCs: la simétrica y la asimétrica. Estas variantes suelen incorporar dos tipos principales de absorbedores: el modelo de aleta con tubos y los absorbedores tubulares.

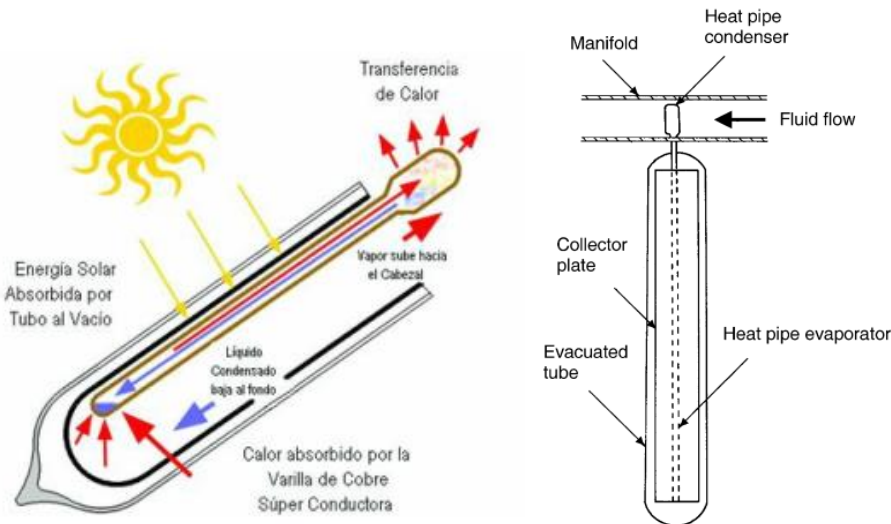
Mills y Giutronich (1978), así como Guiqiang et al. (2014), han destacado una característica crucial de los CPCs: la presencia de un espacio de aire entre la lente y el reflector. Este diseño mejora significativamente la eficiencia óptica del sistema. La capa de aire actúa como un medio que reduce las pérdidas ópticas, aprovechando el fenómeno de reflexión interna total.

### **Colectores de tubos de vacío**

Cora, Saravia & Cadena mencionan que, estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calo-portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C.

En la **Figura 5**, se observa el funcionamiento del tubo de calor en el cual, por su forma cilíndrica, aprovecha la radiación de manera más efectiva que los colectores planos. El envoltorio al vacío reduce las pérdidas por convección y conducción, por lo que los colectores pueden funcionar a temperaturas más altas que los colectores de placa plana. Al igual que los colectores de placa plana, recogen tanto radiación directa como difusa. Sin embargo, su

eficiencia es mayor a ángulos de incidencia bajos. Este efecto tiende a dar a los colectores de tubos de vacío una ventaja sobre los colectores de placa plana en cuanto al rendimiento a lo largo del día.



**Figura 5.** Funcionamiento del Tubo de Calor

Fuente: (Saini et al., 2022).

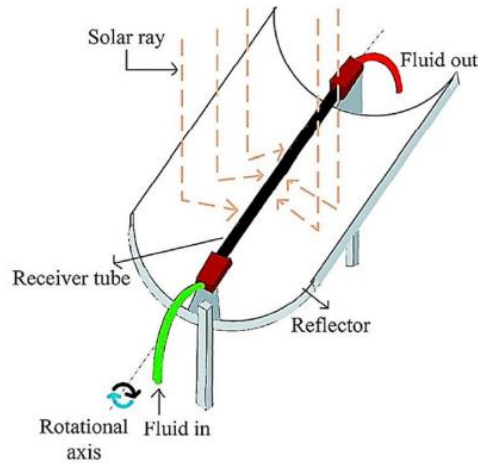
#### 4.1.2.2 Colectores termo solares con concentración solar.

La adición de un sistema óptico que conecte las radiaciones solares incidentes y la energía absorbida del exterior puede concentrar las radiaciones incidentes en un área de recolección ligeramente pequeña. Los concentradores pueden ser refractores o reflectores, continuos o no continuos y cilíndricos o parabólicos. Además, el receptor puede ser plano, convexo, cóncavo o cilíndrico y puede ser con cristal o descubierto. En los colectores de concentración, el posicionamiento de un sistema óptico es muy importante debido al movimiento del sol a lo largo del día. Generalmente, los colectores de concentración se clasifican en:

- Colector de canales (o cilindros) parabólicos (CCP).
- Reflector lineal de Fresnel (RLF).

#### Colector de cilindro parabólico CPC

Los Concentradores de Canal Parabólico (CPC) se denominan parabólicos porque se fabrican retorciendo el material reflectante en forma de parábola, como se muestra en la **Figura 6**, son dispositivos que transfieren energía térmica de la radiación solar en una línea focal. Es decir, son captadores solares de concentración, que transforman la radiación solar directa en energía térmica, calentando un fluido de trabajo.



**Figura 6.** Esquema de un CCP sus partes y funcionamiento.

**Fuente:** (Islam, Hasanuzzaman, & Rahim, 2015).

#### 4.1.2.2.1 Nomenclatura y parámetros para un CPC

**Tabla 1.** Parámetro de un CPC.

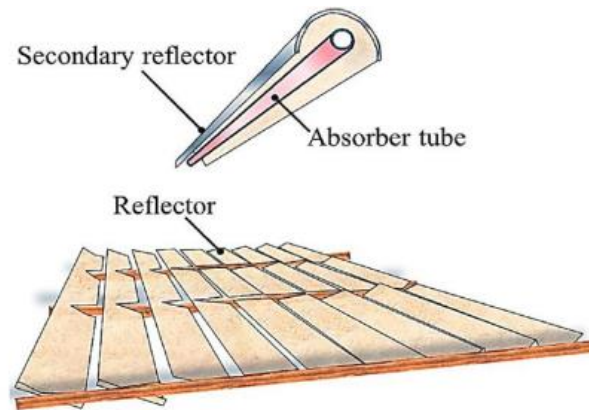
PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA
Conductividad Térmica del tubo receptor	$K$
Absorbancia de receptor	$\alpha$
Transmitancia cubierta de vidrio	$\tau$
Factor forma	$\gamma$
Reflectancia de la superficie parabólica	$\rho\sigma$
Emisividad del receptor	$\varepsilon_r$
Emisividad de la cubierta	$\varepsilon_c$

#### **Reflector lineal de Fresnel (RLF)**

Suman, Khan y Pathak (2017) describen el Reflector Lineal de Fresnel (RLF) como un innovador sistema de captación solar. Según estos autores, la configuración del RLF se caracteriza por una serie de espejos planos o ligeramente curvados, dispuestos en franjas lineales. Estos elementos reflectantes están diseñados para concentrar la radiación solar hacia un receptor fijo, el cual se encuentra elevado sobre la matriz de espejos.

Los investigadores establecen una analogía interesante, comparando el RLF con un colector cilindro-parabólico "descompuesto". Sin embargo, subrayan una distinción crucial: a

diferencia de los colectores cilindro-parabólicos tradicionales, los espejos del RLF no conforman una curva parabólica continua. Esta disposición única se ilustra claramente en la Figura 10 de su estudio.



**Figura 7.** Reflector lineal de Fresnel.

Fuente: (Suman, Khan, & Pathak, 2017).

#### 4.1.3 Eficiencia de un colector solar

Arguello Bravo & Velasco Villavicencio (2015), mencionan que la eficiencia de un colector solar se define como el resultado de dividir la energía térmica aprovechable entre la totalidad de la energía solar recibida. Aparte de las pérdidas de calor, también deben considerarse las pérdidas ópticas. El índice de conversión o eficiencia óptica representa qué proporción de los rayos solares que logran atravesar la cubierta transparente del colector (conocida como transmisión) es efectivamente absorbida. En esencia, esto se calcula multiplicando la tasa de transmisión de la cubierta con la tasa de absorción del absorbedor.

$$\eta = \frac{\int Q_u \cdot dt}{A_c \int G \cdot d} = \frac{\text{Energía útil } (Q_u)}{\text{Radiación Incidente}} \quad (1)$$

#### 4.1.4 Curvas de eficiencia.

Arguello Bravo & Velasco Villavicencio (2015) enfatizan que, el renimiento térmico de un colector solar se realiza en parte al obtener valores de eficiencias instantáneas en diversas combinaciones de radiación solar incidente, temperatura ambiente y temperatura de entrada del fluido. Esto implica llevar a cabo mediciones experimentales tanto de la radiación solar recibida por el colector como de la cantidad de energía transferida al fluido mientras circula a través del colector, todo en condiciones de estado estable o casi estable.

#### 4.1.5 Factores que afectan la energía solar

Tras mencionar las distintas tecnologías de colectores solares, es importante explicar el comportamiento típico de la eficiencia térmica de cada uno de estos sistemas.

Debido a la imprevisibilidad inherente al clima en términos de temperatura del aire, densidad, velocidad del viento, radiación solar presente y cambios estacionales a lo largo del año, se considera que la energía solar térmica es intermitente. Por lo tanto, existen varios factores que pueden afectar la cantidad de energía solar que se puede generar, entre ellos:

- La ubicación geográfica.
- La época del año.
- El clima.
- La hora del día.

#### 4.2 Transferencia de calor

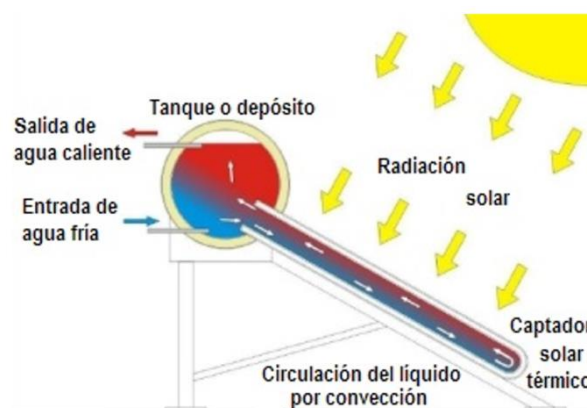
La transferencia de calor es el intercambio de las formas sensible y latente de la energía interna entre dos medios, como resultado de una diferencia de temperatura. La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo se llama razón de transferencia del calor y se denota por  $Q$ . La razón de transferencia del calor por unidad de área se llama flujo de calor,  $\dot{q}$ . (Cengel & Ghajar, 2011)

La primera ley de la termodinámica o el balance de energía para cualquier sistema que pasa por cualquier proceso se puede expresar mediante la **Ecuación 1**:

$$E_{\text{entr}} - E_{\text{sal}} = \Delta E_{\text{sistema}} \quad (2)$$

##### 4.2.1 Mecanismos de transferencia de calor.

Para un sistema de colector solar se debe considerar los tres tipos de transferencia de calor que son: conducción, convección y radiación.



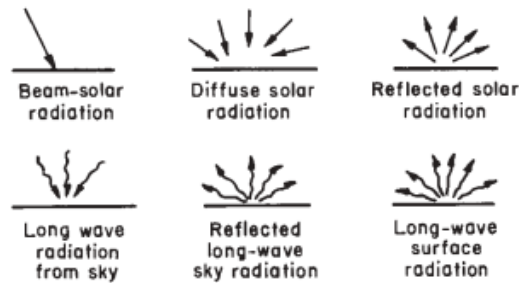
**Figura 8.** Mecanismos de transferencia de calor en un captador solar.

Fuente:(Prieto, 2013).

#### 4.2.1.1 Radiación.

Duffie & Beckman (2013) mencionan que, la radiación solar o de corta longitud de onda es la radiación emitida por el sol en un rango de longitudes de onda de 0.3 a 3  $\mu\text{m}$ .

La radiación de larga longitud de onda, por su parte, es aquella que proviene de fuentes con temperaturas cercanas a las temperaturas ambiente comunes, y en su mayoría se compone de longitudes de onda mayores a 3  $\mu\text{m}$ . En la **Figura 9**, se observa la radiación de onda larga y corta emitida por la atmósfera, un colector u otro cuerpo a temperaturas ordinarias.



**Figura 9.** Radiación de onda corta y de onda larga.

Fuente: (Duffie & Beckman, 2013).

#### 4.2.1.2 Conducción

Cengel & Ghajar (2011), define que la rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él.

En el caso de un cilindro, la conducción térmica se produce a lo largo de la dirección radial, desde el centro del cilindro hacia su superficie externa o viceversa.

La ley de conducción térmica en un cilindro se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \frac{2\pi Lk(T_{\text{si}} - T_{\text{s}})}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (3)$$

Donde:

**Q** es la tasa de transferencia de calor a través del cilindro (en vatios).

**L** es la longitud del cilindro (en metros).

**k** es la conductividad térmica del material del cilindro (en vatios por metro-kelvin).

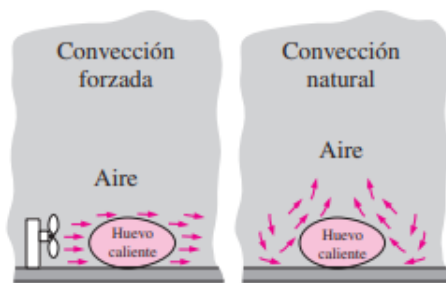
**T<sub>si</sub>** y **T<sub>s</sub>** son las temperaturas en los extremos del cilindro (en kelvin).

**r<sub>1</sub>** y **r<sub>2</sub>** son los radios interno y externo del cilindro, respectivamente (en metros).

### 4.2.1.3 Convección

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos.

La transferencia de calor por convección puede ocurrir de tres formas: convección natural o libre, convección forzada, convección mixta.



**Figura 10.** Enfriamiento de un huevo cocido por convección forzada y convección natural.

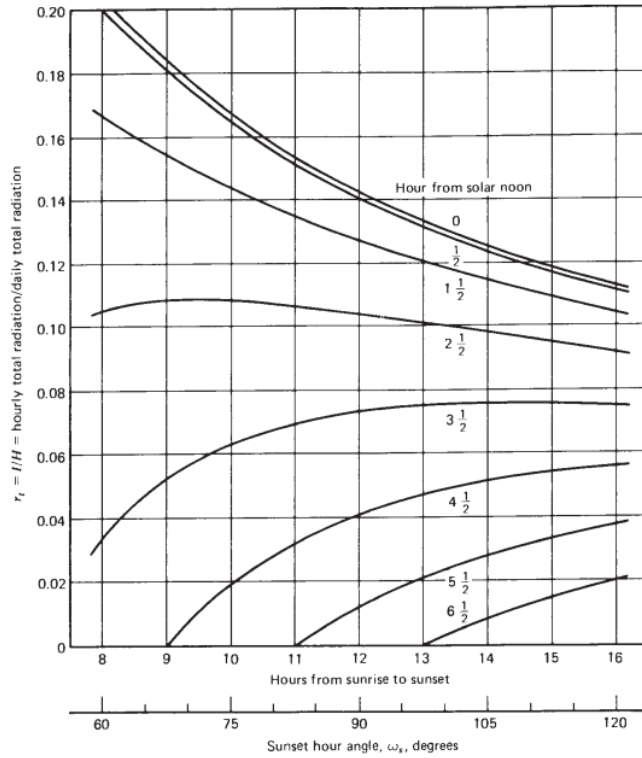
Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011).

### 4.2.2 Estimación de la radiación horaria a partir de datos diarios.

Desde el punto de vista de Duffie & Beckman (2013), cuando se realizan cálculos de rendimiento hora a hora (u otro intervalo de tiempo corto) para un sistema, puede ser necesario comenzar con datos diarios y estimar los valores por hora a partir de los números diarios. Al igual que con la estimación de la radiación difusa a partir de la radiación total, este proceso no es exacto.

La **Figura 11**, se basa en promedios a largo plazo y está destinada a ser utilizada para determinar promedios de radiación por hora, además, Whillier (1956) recomienda que se utilice para días despejados.





**Figura 11.** Relación entre la radiación total horaria y diaria sobre una superficie horizontal en función de la duración del día.

Fuente: (Duffie & Beckman, 2013).

Las curvas de la **Figura 11** se representan mediante la ecuación 2 de Collares Pereira y Rabl (1979a):

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (4)$$

Los coeficientes a y b vienen dados por las ecuaciones 4 y 5 respectivamente:

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin (\omega_s - 60) \quad (5)$$

$$b = 0.6609 + 0.4767 \sin (\omega_s - 60) \quad (6)$$

En donde:

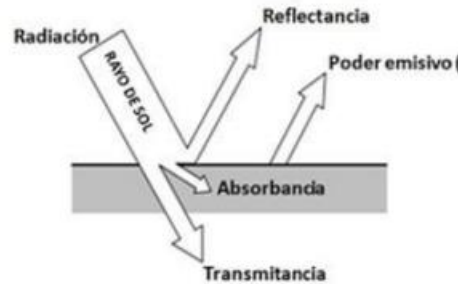
$\omega$  es el ángulo horario en grados para la hora en cuestión .

$\omega_s$  es el ángulo horario de la puesta de sol.

#### 4.2.3 Coeficiente de transferencia de calor por radiación

Ortega (2018) menciona que, la transmisión de calor por radiación se caracteriza porque la energía se transporta en forma de ondas electromagnéticas, que se propagan a la velocidad de la luz.

Se puede observar la transferencia de energía por radiación entre superficies separadas por el vacío, en la **Figura 12** ilustra cómo los rayos del sol transmiten energía a la Tierra exclusivamente a través de la radiación.



**Figura 12.** Energía radiante sobre una superficie.

Fuente: (Ortega, 2018).

#### 4.2.4 *Calor perdido por radiación.*

El calor perdido por radiación entre el tubo del absorbedor y la cubierta en (W) puede ser expresado con la fórmula de transferencia de calor por radiación entre dos superficies (Ramos & Remírez, 2020).

$$Q_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s (T_c^4 - T_{\infty}^4) \quad [\text{W}] \quad (7)$$

Donde:

$\sigma$  Constante de Stefan-Boltzmann  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}$ .

$\varepsilon$  Emisividad, que puede variar entre 0 y 1.

$T_s$  Temperatura superficial.

$T_{\text{alr}}$  Temperatura de alrededores.

$A_s$  Área de tubo de vacío [ $\text{m}^2$ ].

#### 4.2.5 *Calor perdido por convección*

La convección natural implica el movimiento de volúmenes de líquido o gas, que ocurre cuando un fluido se calienta y sus moléculas se separan y dispersan, lo que provoca una disminución de la densidad del fluido. Como resultado, la masa del fluido se desplaza hacia arriba o horizontalmente hacia áreas más frías, mientras que las masas de fluido menos calientes, pero más densas se desplazan hacia abajo o en dirección opuesta al movimiento de la masa más caliente.

La transferencia de calor por convección se determina a partir de:

$$Q_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad [\text{W}] \quad (8)$$

Donde:

$h_{conv}$  Coeficiente de transferencia de calor por convección  $\frac{W}{m^2K}$ .

$A_s$  Área de la superficie del cilindro [ $m^2$ ].

$T_s$  Temperatura de la superficie [ $^{\circ}C$ ].

$T_{\infty}$  Temperatura ambiente.

Para determinar la temperatura promedio de la superficie del colector se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_f = \frac{T_o + T_{si}}{2} \quad (9)$$

#### 4.2.6 Coeficiente de concentración

La razón de concentración (C) está definida como la razón del área de apertura  $A_a$  y entre el área del receptor  $A_r$  según la **Ecuación** (10):

$$C_{max} = \frac{A_a}{A_r} = \frac{W_a L}{2\pi r L} = \frac{W_a}{2\pi r} \quad (10)$$

Donde:

$A_a$  Área de apertura del colector.

$A_r$  Área del receptor.

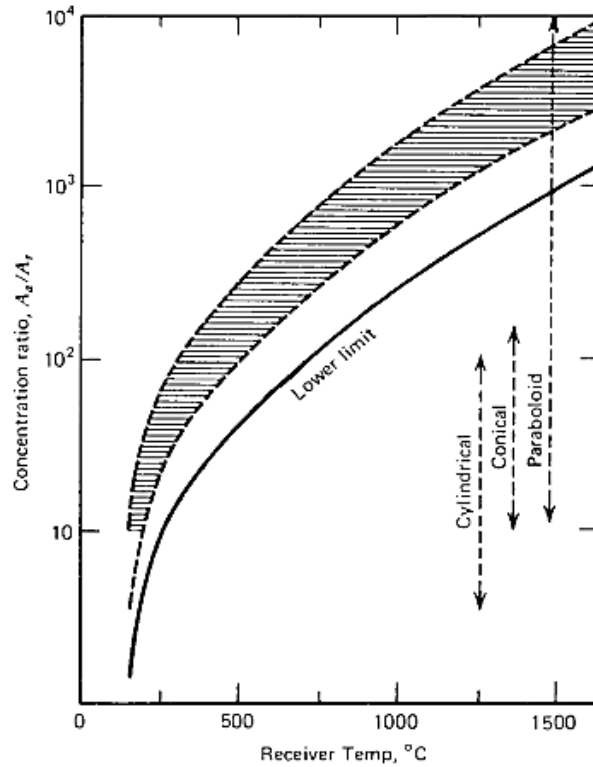
$W_a$  Ancho de apertura.

$r$  Radio del receptor.

$L$  Longitud del concentrador.

Los concentradores parabólicos tienen una razón de concentración moderada, lo que significa que operan a temperaturas que oscilan entre 100 y 400  $^{\circ}C$ .

Duffie & Beckman (2013) señalan que, a medida que se requiera entregar energía a temperaturas más altas, se necesitará una mayor relación de concentración y una mayor precisión en las ópticas tanto del concentrador como del sistema de orientación. La **Figura 13** ilustra los rangos prácticos de relaciones de concentración y los tipos de sistemas ópticos necesarios para entregar energía a diferentes temperaturas.



**Figura 13.** Relación entre el coeficiente de concentración y la temperatura de funcionamiento del colector.

Fuente: (Duffie & Beckman, 2013).

En la **Figura 13** se observa la relación entre el coeficiente de concentración y temperatura de un colector, en donde la curva del "límite inferior" representa las relaciones de concentración en las que las pérdidas térmicas igualarán a la energía absorbida; relaciones más altas serán entonces el resultado del aumento de la energía útil. El rango sombreado corresponde a eficiencias de recolección del 40 al 60% y representa un rango probable de operación. También se muestran los rangos aproximados en los que se podrían utilizar varios tipos de reflectores. (Esta figura no debe utilizarse para el diseño. Se basa en un conjunto de condiciones asumidas que determinan la radiación absorbida y las pérdidas térmicas, y en una práctica de diseño razonable a diferentes temperaturas).

### 4.3 Correlaciones de transferencia de calor por convección.

#### 4.3.1 Convección natural

Correlación de Churchill y Chu. Para la convección libre sobre un cilindro largo horizontal se puede utilizar la Ecuación (11):

$$Nu_{uD} = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 R_{aD}^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (11)$$

En un colector solar, la condición térmica se representa de cerca mediante una resistencia constante entre el fluido en movimiento y el entorno de temperatura constante. Si esta resistencia es grande, la condición límite térmica se acerca al flujo de calor constante, y si esta resistencia es pequeña, la condición límite térmica se acerca a la temperatura constante. En consecuencia, el rendimiento teórico de un colector solar debe encontrarse entre los resultados para flujo de calor constante y temperatura constante.

#### 4.3.2 Convección forzada.

Si hay viento, la transferencia de calor por convección desde la envoltura de vidrio al entorno será por convección forzada. El número de Nusselt en este caso se estima con la correlación de Zhukauskas para el flujo de convección forzada externa normal.

$$Nu_D = C Re_D^m Pr^n \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (12)$$

Donde:

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación de Zhukauskas.

$Re_D$	$C$	$m$
1-40	0.75	0.4
40-1000	0.51	0.5
1000-200000	0.26	0.6
200000-1000000	0.076	0.7

**Fuente:**(Ramos & Ramírez, 2020)

$n=0.37$  para  $Pr \leq 10$

$n=0.36$  para  $Pr > 10$

Esta relación es válida para:

$$0.7 < Pr < 500$$

$$y$$

$$1 < Re_D < 10^6$$

Las propiedades se evalúan para temperatura ambiente.

### 4.3.3 Número de Rayleigh.

El número de Rayleigh y el número de Grashof se utilizan para describir tanto la convección natural (Gr) como la transferencia de calor por convección natural (Ra). El número de Rayleigh es el producto del número de Grashof, que describe la relación entre la flotabilidad y la viscosidad de un fluido, y el número de Prandtl, que describe la relación entre la difusividad térmica y el momento. Es un número adimensional y se expresa mediante:

$$Ra_D = Gr \cdot Pr \cdot \frac{g\beta(T_{si} - T_o)D^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (13)$$

Donde:

$g$  = gravedad  $9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ .

$\beta$  = coeficiente de expansión térmica  $[K^{-1}]$ .

$T_{si}$  = Temperatura superficial interna  $[K]$ .

$T_o$  = Temperatura superficial  $[K]$ .

$\nu$  = Viscosidad cinemática  $\left[ \frac{m^2}{s} \right]$ .

$\alpha$  = Difusividad térmica.

$D$  = Diámetro del colector.

Así mismo se debe calcular la viscosidad cinemática, y la difusividad térmica con las siguientes **Ecuaciones**:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad (15)$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad [K^{-1}] \quad (16)$$

Los valores de Rayleigh que son inferiores o iguales a  $10^8$  muestran un flujo laminar causado por la convección natural. Aquellos que se encuentran en el rango de  $10^8 < Ra < 10^{10}$  indican un flujo que transita hacia la turbulencia, mientras que los valores de Rayleigh mayores a  $10^8$  indican un flujo ya completamente turbulento.

#### 4.3.4 Número de Reynolds.

El número de Reynolds para superficies cilíndricas está denominado por:

$$Re_D = V * \frac{D}{\nu} \quad (17)$$

Donde:

$V$  = velocidad del aire.

$D$  = diámetro del cilindro.

$\nu$  = viscosidad cinemática.

#### 4.4 Resistencia térmica a la radiación

La resistencia a la convección está expresada por:

$$R_{\text{rad}} = \frac{1}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot A (T_s + T_{\text{alrd}})(T_s^2 + T_{\text{alrd}}^2)} \quad (18)$$

##### 4.4.1 Resistencia a la convección.

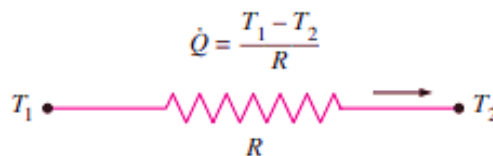
La resistencia a la convección está expresada por la Ecuación (19):

$$R_{\text{conv}} = \frac{1}{hA_s} \quad (19)$$

La Ecuación (19) para la resistencia a la convección es válida para superficies de cualquier forma, siempre que sea razonable la suposición de que  $h$  constante y uniforme.

#### 4.5 Resistencia térmica

Cengel (2011) plantea que, la resistencia térmica de un medio depende de la configuración geométrica y de las propiedades térmicas del medio. Por lo tanto, la razón de transferencia de calor a través de una capa corresponde a la corriente eléctrica, la resistencia térmica a la resistencia eléctrica y la diferencia de temperatura a la caída de voltaje en la capa.

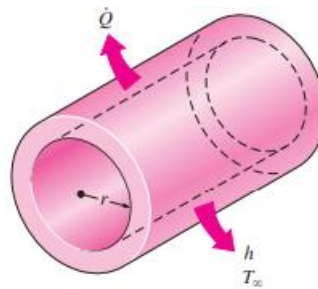


**Figura 14.** Flujo de Calor.  
Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

#### 4.5.1 Resistencia térmica por conducción en una pared cilíndrica

Cengel (2011) menciona que, el calor se pierde de forma continua hacia el exterior a través de la pared de un tubo y expresa que la transferencia de calor ocurre principalmente en la dirección normal a la superficie del tubo y no hay una transferencia significativa en otras direcciones. Debido a esta diferencia de temperaturas, se genera un gradiente de temperatura en la dirección radial, es decir, de adentro hacia afuera del tubo.

Como se observa en la **Figura 15**, si las temperaturas de los fluidos, tanto dentro como fuera del tubo, se mantienen constantes, se dice que la transferencia de calor a través del tubo es estacionaria, lo que significa que la tasa de transferencia de calor se mantiene constante en el tiempo.



**Figura 15** . Esquema de un cilindro.

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

En operación estacionaria no se tiene cambio en la temperatura del tubo con el tiempo en cualquier punto. Por lo tanto, la razón de la transferencia de calor hacia el tubo debe ser igual a la razón de la transferencia hacia afuera de él. En otras palabras, la transferencia de calor a través del tubo debe ser constante,  $Q_{cond,cil} = constante$ .

Por lo tanto, la transferencia de calor por conducción en un cilindro está dado por (Çengel, 2011, p. 154):

$$Q_{cond,cil} = \frac{T_1 - T_2}{R_{cil}} \quad [W] \quad (20)$$

Siendo  $R_{cil}$  la resistencia térmica del material a la conducción del cilindro que se expresa:

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi Lk} \quad [W] \quad (21)$$

Donde:

$r_2$  = radio exterior del cilindro (m).

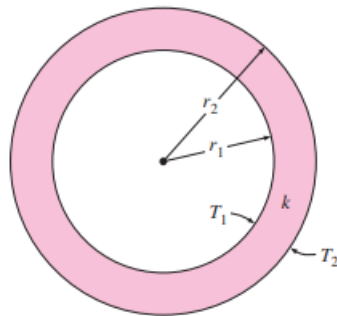
$r_1$  = radio interior del cilindro (m).



$L$  = longitud radial (m).

$k$  = coeficiente de conductividad del material  $\left(\frac{W}{m K}\right)$ .

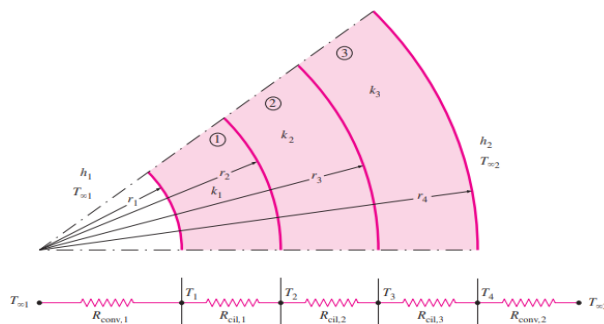
De acuerdo a la **Figura 16**, se considera una capa cilíndrica larga (como un tubo circular) de radio interior  $r_1$ , radio exterior  $r_2$ , longitud  $L$  y conductividad térmica promedio  $k$ . Las dos superficies de la capa cilíndrica se mantienen a las temperaturas constantes  $T_1$  y  $T_2$ . No hay generación de calor en la capa y la conductividad térmica es constante. Para una conducción de calor unidimensional a través de la capa cilíndrica, se tiene  $T(r)$ .



**Figura 16.** Tubo cilíndrico largo (o capa esférica) con temperaturas de las superficies interior y exterior  $T_1$  y  $T_2$  especificadas.

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

Por otro lado, en la Figura 17 se muestra que para un cilindro formado por varias capas se utiliza la Ecuación (20) de acuerdo al número de capas.



**Figura 17.** Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de un cilindro compuesto de tres capas sujeto a convección en ambos lados.

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

#### 4.5.2 Convección natural entre placas planas paralelas y entre cilindros concéntricos.

Duffie & Beckman (2013), definen que la tasa de transferencia de calor entre dos placas inclinadas a algún ángulo respecto al horizonte es de importancia evidente en el rendimiento de los colectores de placa plana. Los datos de transferencia de calor por convección natural

suelen correlacionarse en función de dos o tres parámetros adimensionales: el número de Nusselt (Nu), el número de Rayleigh (Ra) y el número de Prandtl (Pr).

Los números de Nusselt, Rayleigh y Prandtl vienen dados por las Ecuaciones:

$$Nu = \frac{h * D}{k} \quad (22)$$

$$Ra = \frac{g\beta'\Delta T L^3}{v\alpha} \quad (23)$$

$$Pr = \frac{v}{\alpha} \quad (24)$$

Donde:

$h$  = coeficiente de transferencia de calor [ $W/m^2 K$ ].

$L$  = espaciado de las placas [m].

$k$  = conductividad térmica [ $W/m K$ ].

$g$  = constante gravitacional [ $m/s^2$ ].

$\beta'$  = coeficiente volumétrico de expansión (para un gas ideal,  $\beta = 1/T$ ) [ $1/K$ ].

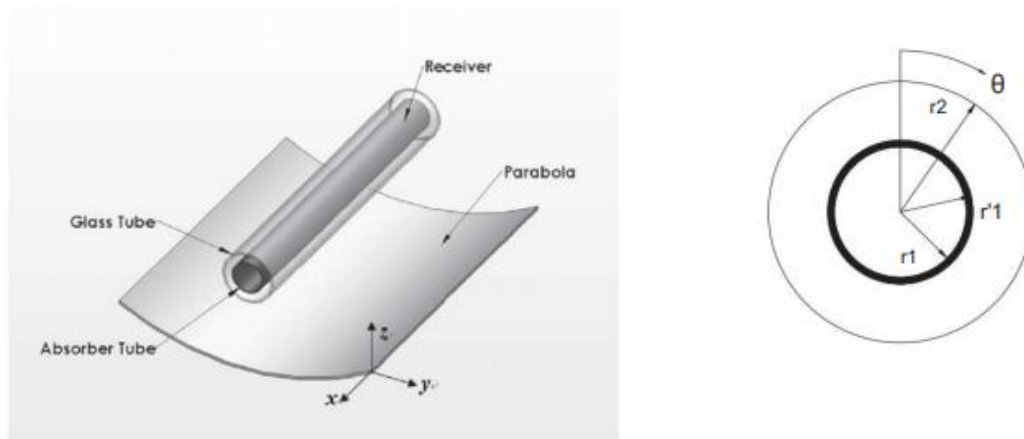
$\Delta T$  = diferencia de temperatura entre las placas [K].

$v$  = viscosidad cinemática [ $m^2/s$ ].

#### **4.6 Estudios realizados en base a eficiencia y rendimiento térmico de colectores solares parabólicos.**

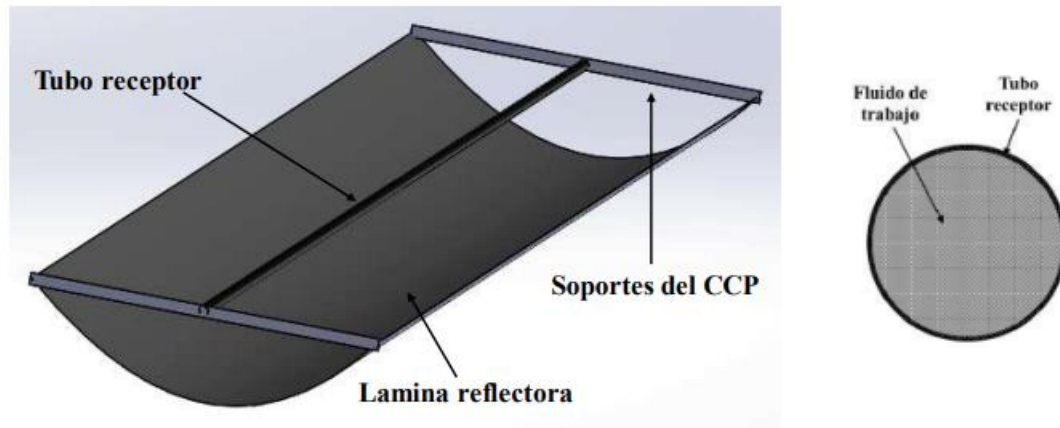
Badran et al. (2010), diseñaron y construyeron un calentador de agua solar portátil, enfocando la aplicación de estos dispositivos solares para la comunidad beduina, que puede beneficiarse mucho de la energía solar que está continuamente disponible en el desierto. También pueden utilizarlo los campistas y los que utilizan casas rodantes. Este estudio analiza diferentes modelos numéricos para calcular la eficiencia térmica de un colector solar de placa plana (FPC), evaluando cuatro modelos con errores promedio que varían entre 4,3% y 4,7%. También se examinó un prototipo de colector solar de polímero, que mostró una eficiencia 30% menor que los colectores convencionales en condiciones normales de verano. Se realizaron simulaciones adicionales con materiales poliméricos como el PMMA, variando la radiación solar de 200 a 1000  $W/m^2$ , la temperatura ambiente entre 20 y 35 °C, y la transferencia de calor por convección de 5  $W/m^2K$  y 10  $W/m^2K$ . Los resultados indicaron que la temperatura de estancamiento del absorbente supera los 100 °C cuando la temperatura del aire ambiente es superior a 25 °C y la radiación solar excede los 800  $W/m^2$ , lo que sugiere la necesidad de utilizar materiales estables o implementar soluciones de diseño para reducir las temperaturas de estancamiento en colectores solares de polímero.

Tao & He (2010), realizaron un análisis numérico del problema acoplado de transferencia de calor en el tubo recolector solar de forma parabólica (ver **Figura 18**). Este análisis abarcó fenómenos como la convección natural y forzada en el interior del tubo, la conducción de calor a través de la pared interna del tubo, así como la convección natural en el espacio entre tubos concéntricos. Se desarrolló un modelo numérico integral que abordó este proceso complejo de transferencia de calor. Se examinaron los efectos de la variación del número de Rayleigh tanto en el tubo interno como en el espacio anular, la relación entre los diámetros de los tubos y el coeficiente de conductividad térmica de la pared interna del tubo, evaluando su impacto en la eficiencia de la transferencia de calor. Además, se presentaron visualizaciones de los patrones de flujo, distribuciones de temperatura, valores locales de número de Nusselt y gradientes locales de temperatura en una sección transversal del tubo recolector.



**Figura 18.** Colector solar cilindro parabólico y sección transversal del tubo colector.

Cetina-Quñones et al. (2017) desarrollaron la modelación térmica de un colector solar de canal parabólico como se muestra en la **Figura 19**, mediante el método de elementos finitos, y se realizó una simulación térmica del fluido empleando el software SolidWorks. Mencionan que el método puede predecir eficazmente la temperatura del fluido en caudales altos y el error máximo obtenido de la comparación de la modelación con la simulación fue del 7,6% a un caudal de 1 l/min.



**Figura 19.** Componentes y modelo de un CCP.

Cuadra (2018), llevó a cabo la construcción y análisis de un concentrador solar parabólico como se muestra en la **Figura 20** para captar la irradiación aprovechando el área de captación de una antena de televisión desechada. Para aumentar la captación energética, el concentrador dispone de soportes fabricados, que permite el seguimiento solar, y que facilitó el estudio teórico de las velocidades de transferencia de calor y eficiencia. Se realizaron mediciones y cálculos, que arrojaron una eficiencia del concentrador, cercana al 30% y valores importantes de potencia térmica de calentamiento, de acuerdo a la irradiancia solar del día considerado.



**Figura 20.** Concentrador solar con espejos como material reflectante.

Solano (2018), se centró en diseñar y construir un sistema de calentamiento solar directo por circulación natural para el Laboratorio de Energías Renovables. El sistema, con un costo de 781,43 USD, fue diseñado utilizando metodologías basadas en teorías de calentadores solares de agua. El rendimiento teórico calculado fue de 0,42 mientras que el obtenido en pruebas fue de 0,422 validando así el modelo práctico.

Las pruebas se realizaron durante 5 días, con mediciones cada 10 minutos. Los resultados del estudio muestran que el colector de cobre acanalado supera consistentemente al de aluminio acanalado en rendimiento y eficiencia. En días soleados, el colector de cobre acanalado alcanza temperaturas 4-5 °C más altas, elevando la temperatura del agua un 8-10% más que el de aluminio, llegando a un promedio de 65 °C frente a 48 °C. La velocidad de calentamiento en días soleados es de aproximadamente 1 °C cada diez minutos. Las diferencias de rendimiento se mantienen en días parcialmente soleados y nublados, aunque se reducen en condiciones muy nubladas. Los gráficos de temperatura muestran patrones similares para ambos colectores, con una caída de temperatura a partir de las 15:00 horas, mientras que la temperatura del tanque se mantiene más estable. En términos de eficiencia, se establece una clara jerarquía: cobre acanalado > aluminio acanalado > cobre soldado > aluminio soldado. Estas observaciones subrayan la superioridad del colector de cobre acanalado en diversas condiciones climáticas.

Ramírez Criollo. & Nayants Guzmán (2012) realizaron el diseño construcción y estudio del prototipo eficiente de un colector solar disco-parabólico, para la generación de energía eléctrica en base a motores stirling. En su tesis mencionan que, durante las pruebas de monitoreo del colector solar, los vientos alcanzaron velocidades máximas comunes en el sector, y el sistema de seguimiento solar orientaba repetitivamente al sistema concentrador-receptor, aunque durante nubosidades los sensores remotos no siempre podían censar la luz, requiriendo reorientación manual. Los monitoreos realizados permitieron obtener un rendimiento promedio del 14,76%, con variaciones en la curva de rendimiento vs radiación debido al efecto de enfriamiento por viento sobre el receptor, pero un gradiente de temperatura promedio estable de 4,86 °C en intervalos de 5 minutos, y temperaturas focales que oscilaron entre un mínimo de 235,58 °C y un máximo de 254,16 °C, lo cual satisface los requerimientos necesarios para la implementación de un motor Stirling, habiendo registrado picos de temperatura interna de hasta 142°C y 365°C con máximas energías útiles de 447,04W.

Begazo (2010) realizó un análisis termodinámico y simulación de una planta termosolar de colectores cilindro parabólicos, el balance de energía y masa realizado en la evaluación termodinámica de la planta con colectores cilindro parabólicos permitió determinar la influencia del campo de colectores en la producción de energía eléctrica, así como la eficiencia térmica total de la planta, la cual se verificó mediante simulaciones transitorias con el software TRNSYS. La energía solar constituye una solución energética limpia, almacenable y, a mediano plazo, más económica que los combustibles fósiles, con una eficiencia promedio superior al 20,5% en verano.

## **4.7 Dinámica Computacional de fluidos (CFD)**

### **4.7.1 Concepto, aplicaciones y programas comerciales CFD**

“La Dinámica Computacional de Fluidos CFD se ocupa de la solución de las ecuaciones del movimiento de los fluidos, así como de la interacción de éstos con los cuerpos sólidos” (Blasek, 2015). Esta técnica permite un análisis integral de la dinámica de fluidos, así como de los fenómenos de transferencia de calor y masa asociados.

Aunque la mecánica de fluidos abarca tanto el estudio de fluidos en movimiento (dinámica) como en reposo (estática), el CFD se enfoca principalmente en los fluidos dinámicos. Para ello, emplea un conjunto de ecuaciones matemáticas, principalmente ecuaciones diferenciales parciales, que describen con precisión las características físicas del movimiento del fluido. Estas ecuaciones, conocidas en el ámbito del CFD como ecuaciones gobernantes, son fundamentales para modelar y analizar los procesos de interés.

El análisis de Dinámica de Fluidos Computacional generalmente se divide en tres etapas principales. A continuación, se describen de manera organizada y detallada:

#### **1. Pre-procesamiento:**

Esta es la fase inicial donde se prepara el problema para el análisis. Incluye:

a) Definición de la geometría del dominio computacional. b) Generación de la malla o discretización del dominio. c) Especificación de las propiedades del fluido. d) Definición de las condiciones de contorno e iniciales. e) Selección de los modelos físicos apropiados (turbulencia, transferencia de calor, etc.).

#### **2. Procesamiento:**

Esta es la fase de cálculo donde se resuelven numéricamente las ecuaciones gobernantes. Implica:

a) Discretización de las ecuaciones gobernantes. b) Selección de esquemas numéricos y algoritmos de solución. c) Establecimiento de criterios de convergencia. d) Iteración para resolver las ecuaciones discretizadas. e) Monitoreo de la convergencia y estabilidad de la solución.

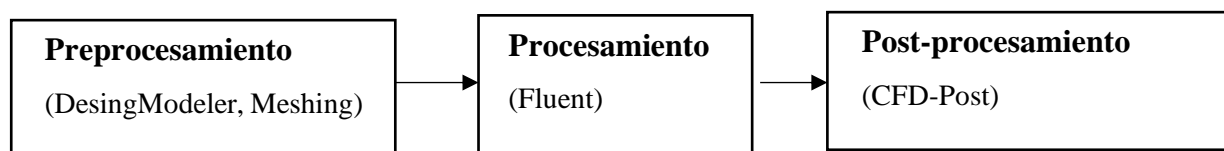
#### **3. Post-procesamiento:**

Esta es la fase final donde se analizan e interpretan los resultados. Incluye:

a) Visualización de los resultados (contornos, vectores, líneas de corriente, etc.). b) Análisis de los datos numéricos. c) Cálculo de cantidades derivadas (fuerzas, coeficientes, etc.). d) Comparación con datos experimentales o teóricos si están disponibles. e) Preparación de informes y presentaciones de los resultados.

Algunas herramientas de análisis CDF que existen en el mercado son:

COMSOL Multiphysics®: Es una plataforma de simulación que proporciona capacidades de modelado multifísico y monofísico totalmente acopladas. Es conocido por su capacidad de realizar simulaciones multifísicas, integrando múltiples fenómenos físicos en un solo entorno.



**Figura 21.** Secuencia de trabajo para un modelo CFD en ANSYS Fluent.

#### **4.7.2 Método de discretización: Formulación algebraica**

Sharma (2017) menciona que, el método de discretización es un método matemático aproximado para convertir una ecuación parcial diferencial gobernante en una ecuación algebraica lineal (LAE); convirtiendo el problema de cálculo en uno de álgebra.

Existen tres tipos de métodos de discretización:

- Método de Diferencias Finitas (FDM por sus siglas en inglés)
- Método de Volumen Finito (FVM)
- Método de Elementos Finitos (FEM).

En el presente trabajo investigativo se trabajará con el método de volúmenes Finitos.

##### **4.7.2.1 Método de volúmenes Finitos**

El método de volumen finito es un método aproximado de formulación algebraica para los puntos internos de la cuadrícula en un dominio computacional. A demás respeta los principios fundamentales de conservación (masa, momento y energía).

## **4.8 ANSYS FLUENT**

ANSYS Fluent es una potente herramienta de simulación computacional ampliamente utilizada en la resolución de problemas complejos de dinámica de fluidos. Su versatilidad permite abordar una extensa gama de escenarios, desde flujos incompresibles hasta compresibles, en regímenes tanto laminares como turbulentos.

La base del funcionamiento de Fluent radica en la aplicación de métodos de discretización de volúmenes finitos. Mediante estos, el software calcula numéricamente las ecuaciones integrales que rigen la conservación de masa, momento, energía y otros parámetros críticos. Esta metodología robusta permite realizar análisis precisos en condiciones de estado estacionario y transitorio.

Además, Fluent destaca por su capacidad para modelar diversos modos de transferencia de calor, incluyendo:

- Convección natural.
- Convección forzada.
- Convección mixta.

El software ofrece dos solucionadores numéricos principales:

1. **Solucionador basado en presión:** Ideal para flujos incompresibles de baja velocidad.
2. **Solucionador basado en densidad:** Optimizado para flujos compresibles de alta velocidad.

Esta dualidad en los solucionadores permite a los ingenieros y científicos seleccionar el enfoque más adecuado según las características específicas del problema en cuestión, garantizando así resultados precisos y eficientes en una amplia variedad de aplicaciones de mecánica de fluidos y transferencia de calor.

#### **4.8.1 Características de ANSYS FLUENT**

ANSYS Inc. (2021), presenta algunas características destacadas como:

##### **4.8.1.1 Modelado de flujo multifásico.**

ANSYS FLUENT permite el modelado de diferentes tipos de flujos multifásicos, incluyendo flujos de líquido-gas, líquido-líquido y líquido-sólido. Puede simular la interacción entre diferentes fases, como la transferencia de masa y calor, y proporcionar resultados detallados sobre las propiedades de cada fase.

##### **4.8.1.2 Modelado de turbulencia.**

FLUENT ofrece una amplia gama de modelos de turbulencia, como el modelo k- $\epsilon$ , el modelo k- $\omega$ , el modelo Reynolds Stress, entre otros. Estos modelos permiten simular de manera precisa y eficiente flujos turbulentos en una variedad de aplicaciones, desde aerodinámica hasta análisis de mezcla en reactores químicos.

##### **4.8.1.3 Transferencia de calor.**

El software tiene capacidades avanzadas para analizar problemas de transferencia de calor, incluyendo convección, conducción y radiación. Puede simular el flujo de calor en sólidos, fluidos y estructuras complejas, y proporcionar resultados detallados sobre perfiles de temperatura, gradientes térmicos y transferencia de calor total.

##### **4.8.1.4 Acoplamiento fluido-estructural.**

ANSYS FLUENT puede acoplarse con el software ANSYS Mechanical para realizar simulaciones fluido-estructurales. Esto permite analizar problemas en los que las estructuras



interactúan con flujos de fluidos, como la respuesta de una estructura a la carga aerodinámica o la deformación de una estructura debido a la interacción con un flujo turbulento.

#### **4.8.1.5 Pre y postprocesamiento avanzado.**

El software proporciona herramientas de pre y postprocesamiento robustas para facilitar la creación de mallas, definición de condiciones de contorno, visualización de resultados y análisis de datos. Permite importar geometrías y mallas de diferentes formatos y ofrece una amplia gama de opciones de visualización para examinar y analizar los resultados de la simulación.

## **5. Metodología**

En esta sección, encontraremos dos apartados que tratan sobre los materiales utilizados y una explicación detallada de la metodología empleada. En la primera sección se presentan los componentes utilizados en el proyecto de tesis, como los equipos de medición, los programas de computadora y los recursos. La segunda sección describe la secuencia y el orden de los pasos necesarios para lograr los objetivos establecidos.

### **5.1 Área de trabajo**

El presente proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Loja en el campus de la Universidad Nacional de Loja en el bloque A3, el cual beneficiará al área de concesión de la misma y futuros proyectos enfocados en este ámbito.

Latitud: 4°1' 48.62"S.

Longitud: 79° 11'57.60"W.



**Figura 22.** Bloque 3, facultad de la energía y los recursos naturales no renovables.

Fuente: Google Maps.

### **5.2 Equipos y materiales**

En la **Tabla 3**, se detallan los principales materiales utilizados para el desarrollo del proyecto de tesis.

**Tabla 3.** Materiales empleados.

<b>Equipos</b>	<b>Software</b>	<b>Equipos de medida</b>
Computadora portátil	Excel 2019	Termómetro de Bulbo
Colector Solar comercial Sun Kettle	Word 2019	Pistola infrarroja
Tarjeta Arduino	ANSYS FLUENT	Piranómetro
Módulo SD	AutoCAD 2020	Termocupla
Módulo RTC	Wondershare EdrawMax	
Caja de paso	Arduino	

### **5.3 Procedimiento**

La presente investigación se basa en un enfoque cuantitativo, ya que se han establecido variables de naturaleza cuantitativa. Su objetivo es cuantificar el rendimiento del colector solar parabólico y examinar el comportamiento del fluido en el tubo de vacío y otros componentes asociados. Para alcanzar dichos propósitos, se aplicaron los siguientes métodos:

#### **Método investigativo:**

Identificación de las variables clave: Se identifican todas las variables relevantes que influyen en las transferencias de calor del sistema, como radiación solar incidente, propiedades termofísicas de los materiales, geometría de los componentes, temperaturas.

Experimentación y mediciones: Se llevan a cabo experimentos controlados y mediciones en campo para obtener datos empíricos de las variables clave identificadas previamente.

Balance térmico global: se realiza un balance térmico integral del sistema, integrando todos los flujos de energía para determinar la eficiencia global y el desempeño general del sistema.

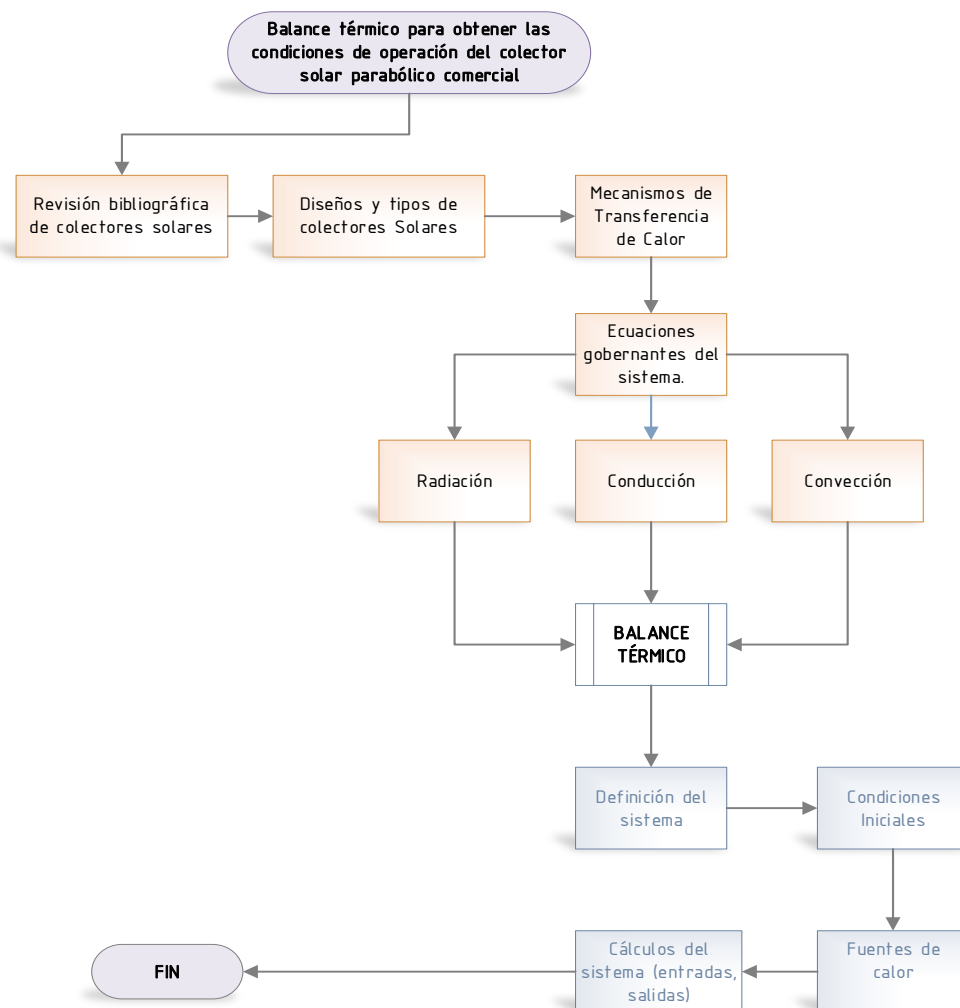
**Simulaciones numéricas:** se empleó el software ANSYS Fluent 2022 R1 con el propósito de modelar y simular el comportamiento del fluido en el colector solar bajo diversas condiciones, con el fin de obtener datos cuantitativos de relevancia.

**Validación y verificación:** se llevó a cabo una comparación entre los resultados numéricos obtenidos a través del software y los datos medidos con herramientas de medición de forma manual, así como con otros estudios existentes, con el objetivo de evaluar la coherencia y precisión de los resultados.

### 5.3.1 Balance térmico.

Para iniciar el estudio, se recopiló información relevante sobre los mecanismos de transferencia de calor en un colector solar parabólico, como la radiación, conducción y convección. Asimismo, se determinaron las condiciones de operación del colector y se llevó a cabo un balance energético.

El proceso de balance energético se inicia definiendo el sistema, las condiciones iniciales y las fuentes de calor. A continuación, se realizan los cálculos del sistema con las ecuaciones correspondientes que están descritas en el documento. En la **Figura 23** se muestra de manera gráfica el proceso del primer objetivo mediante un flujograma.



**Figura 23.** Flujograma de desarrollo del primer objetivo.

### 5.3.2 *Modelo numérico simplificado*

En este objetivo, se presenta el estudio de caso junto con el procedimiento para establecer los parámetros de la simulación, que abarca aspectos de diseño asistido por computadora (CAD), generación de malla y dinámica de fluidos computacional (CFD).

Los módulos empleados fueron SpaceClaim, Workbench Fluid Flow (Fluent) que permiten realizar los procesos de creación de una geometría, generación del mallado, modelado físico y post procesamiento.

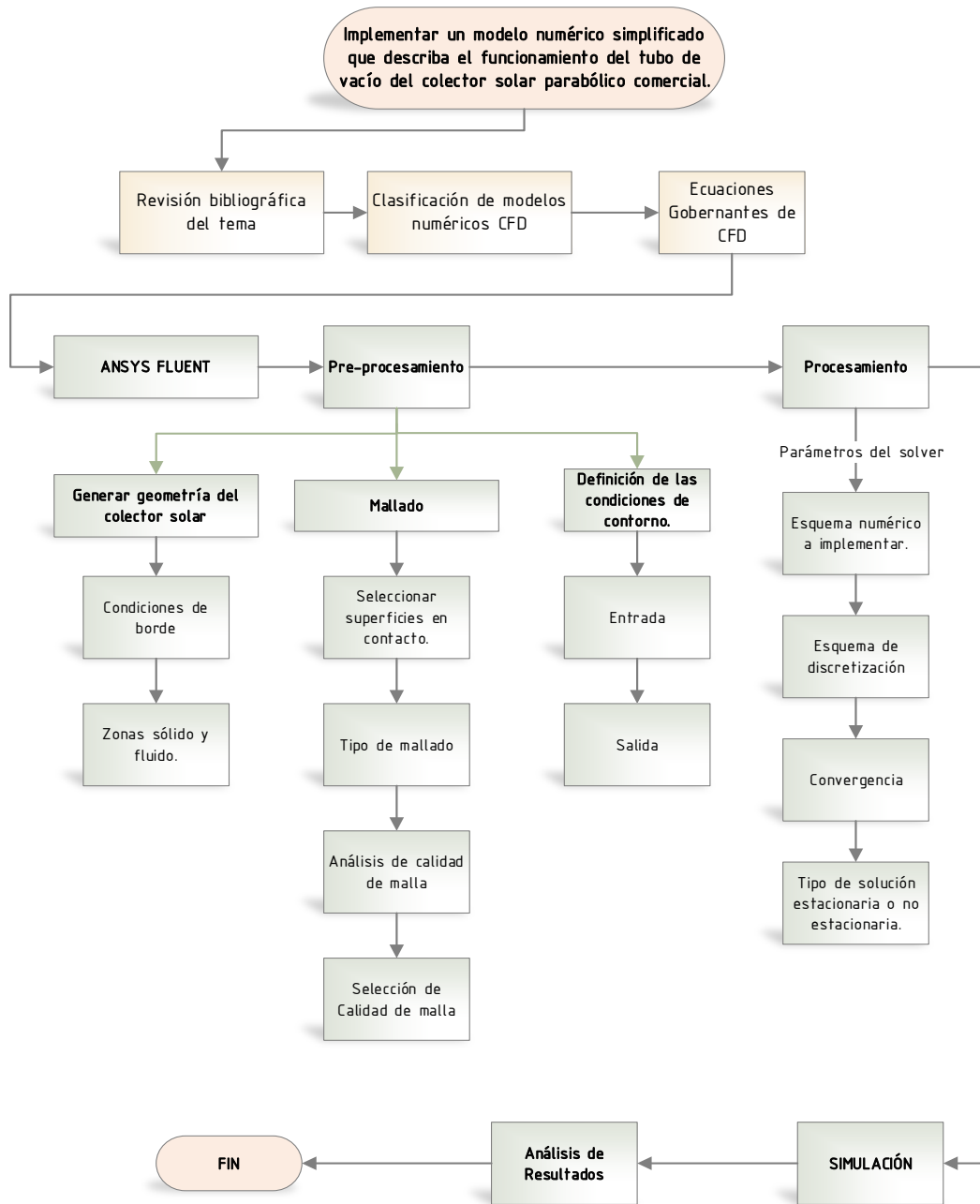
#### **Objetivo de la simulación**

Desarrollar un modelo numérico simplificado utilizando el software ANSYS FLUENT que describa el funcionamiento del tubo de vacío del colector solar parabólico comercial.

Para lograr este objetivo, se analizaron los fenómenos de transferencia de calor por radiación y convección, así como el comportamiento del flujo del fluido de agua desde su ingreso hasta la salida del tubo de vacío.

El flujograma presentado en la **Figura 24**, ilustra el proceso para desarrollar el modelo numérico simplificado que describe el funcionamiento del tubo de vacío en el software ANSYS FLUENT®. Este software permite diseñar la geometría del colector solar, establecer las condiciones de borde y definir las zonas de fluido y sólido.

Además, se lleva a cabo un estudio para determinar la dependencia de la malla que se utilizará en la simulación. Por último, se ejecuta la simulación y se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

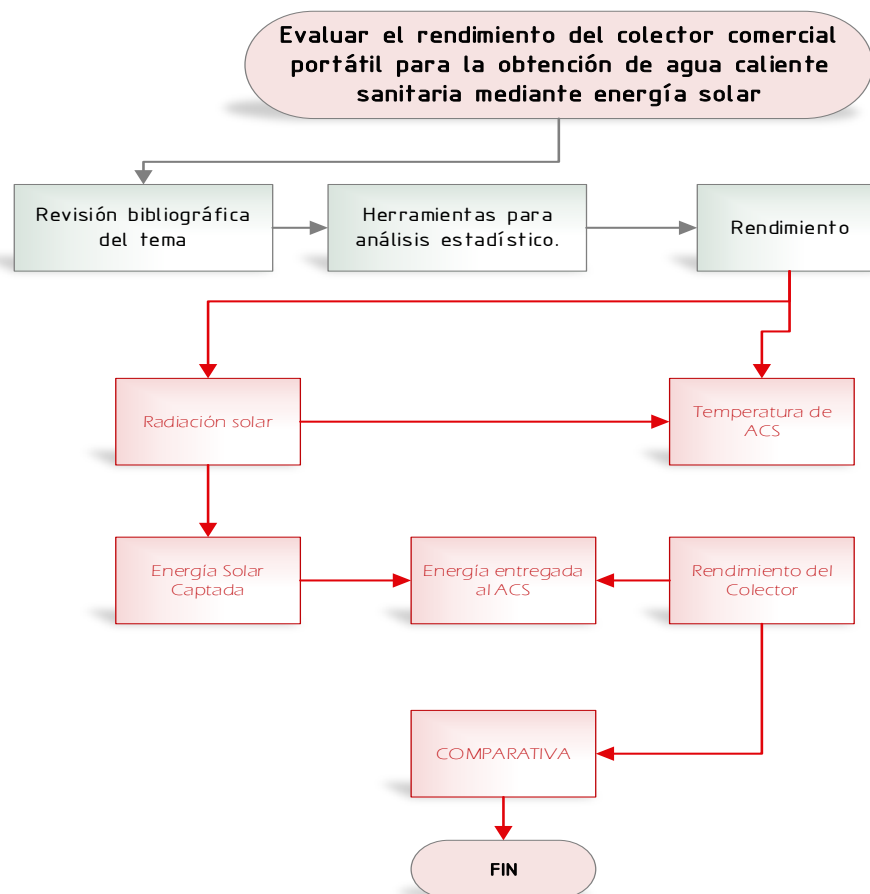


**Figura 24.** Flujo de desarrollo del segundo objetivo.

### 5.3.3 Evaluación del rendimiento en el colector solar.

En la **Figura 25**, se muestra el procedimiento para llevar a cabo la evaluación térmica del colector. Durante este proceso, se identifican los parámetros clave del sistema, tales como la eficiencia del colector, la temperatura del agua caliente obtenida y el volumen de agua caliente generada. Además, se registran datos relevantes, como la radiación solar incidente y la temperatura del agua de entrada al colector.

Posteriormente, se realiza una evaluación exhaustiva de los datos recopilados y se analiza la eficiencia del colector en relación con la radiación solar, la temperatura ambiente y otros factores de relevancia. Asimismo, se lleva a cabo una comparación de los resultados obtenidos con las especificaciones proporcionadas por el fabricante y con otros colectores similares disponibles en el mercado.



**Figura 25.** Flujograma de desarrollo del tercer objetivo.

## **5.4 Procesamiento y análisis de datos**

### **5.4.1 Condiciones de operación óptimas del colector solar.**

Con el objetivo de obtener las condiciones de operación óptimas del colector solar parabólico comercial, se lleva a cabo un balance térmico que permite determinar la cantidad de energía térmica captada por el colector y cómo se distribuye en el sistema. En el desarrollo de este balance, se consideran diversos aspectos generales que desempeñan un papel crucial en el funcionamiento del colector solar.

Para dar cumplimiento al primer objetivo se realizan los siguientes pasos:

#### **1) Definición del sistema.**

En este estudio, se utiliza un colector solar parabólico fabricado con material plástico ABS. En su interior, cuenta con vidrio templado y paneles reflectivos de aluminio que captan directamente la radiación solar para generar calor. Además, el colector tiene una capacidad de 0,5 litros.

#### **2) Condiciones iniciales del sistema.**

Es crucial considerar las condiciones iniciales al analizar el rendimiento del colector solar, especialmente la temperatura de su superficie antes de exponerse a la radiación solar. Esta temperatura inicial está determinada por factores como el nivel de radiación y la ubicación del colector. En el contexto de este estudio, realizado en la ciudad de Loja, se registra una temperatura ambiental promedio de 19 °C. Consecuentemente, se puede inferir que la temperatura del agua al ingresar al colector será cercana a los 19 °C, reflejando las condiciones ambientales locales.

En la **Tabla 4** se presenta la radiación solar promedio en Loja, medida con un piranómetro a intervalos de 5 minutos durante 12 días de ensayo, con un valor promedio de 700 W/(m<sup>2</sup>).

**Tabla 4.** Resultados de radiación obtenidos por cada ensayo.

Ensayo	Ambiente	Hora		Radiación Promedio (W/m <sup>2</sup> )
		Inicio	Fin	
1	Nublado	10:30	12:30	400
2	P. Nublado	13:30	15:30	500
3	Nublado	10:30	12:30	350
4	Nublado	13:30	15:30	250
5	Nublado	10:30	12:30	150
6	Nublado/Lluvia	14:00	16:00	180
7	Nublado	10:30	12:30	210
8	Nublado	14:00	16:00	450
9	Soleado	10:30	12:30	800
10	Soleado	14:00	16:00	1200
11	Soleado	10:30	12:30	850
12	Soleado	14:00	16:00	1000
<b>Promedio</b>				<b>700</b>

#### 5.4.2 Normativa ASAE S580

La normativa ASAE S580 establece un marco riguroso para la evaluación del rendimiento de cocinas solares, proporcionando directrices específicas para la realización de ensayos y la presentación de resultados. Esta norma exige que la potencia de cocción se exprese en vatios, normalizada según las condiciones ambientales y en relación con la diferencia de temperatura entre el contenido de la cocina y el aire circundante. Para garantizar la fiabilidad y reproducibilidad de los resultados, la norma requiere un mínimo de 30 observaciones distribuidas en tres días distintos, bajo condiciones ambientales controladas. La temperatura ambiente debe mantenerse entre 20 y 35 °C, mientras que la insolación está sujeta a criterios estrictos: cualquier variación superior a 100 W/m<sup>2</sup> durante un intervalo de diez minutos invalidará el ensayo, así como lecturas inferiores a 450 W/m<sup>2</sup> o superiores a 1100 W/m<sup>2</sup>. Estas directrices aseguran una evaluación estandarizada y precisa del rendimiento de las cocinas solares, facilitando comparaciones objetivas entre diferentes modelos y diseños, al tiempo que se controlan rigurosamente las condiciones de radiación solar durante las pruebas.



Por lo tanto, se consideran los días con condiciones ambientales adecuados para que el colector opere en óptimas condiciones como se muestra en la **Tabla 5**, generando una radiación con un valor promedio de 962,5 W/(m<sup>2</sup>).

**Tabla 5.** Datos de operación del colector solar.

Ensayo	Ambiente	Tiempo (h)		Radiación Promedio (W/m <sup>2</sup> )
		Inicio	Fin	
1	Soleado	10:30	12:30	800
2	Soleado	14:00	16:00	1200
3	Soleado	10:30	12:30	850
4	Soleado	14:00	16:00	1000
<b>Promedio</b>				<b>962.5</b>

### **Cálculo de la potencia de cocción según normativa**

La norma indica que, la variación de la temperatura del agua cada intervalo de diez minutos se multiplicará por la masa y la capacidad calorífica específica del agua contenida en el recipiente o recipientes de cocción. Este producto se dividirá por los 600 segundos contenidos en un intervalo de diez minutos, como:

$$P_i = \frac{(T_2 - T_1)MC_v}{600} \quad (25)$$

Donde:

$P_i$  = potencia de cocción (W)

$T_2$  = temperatura final del agua

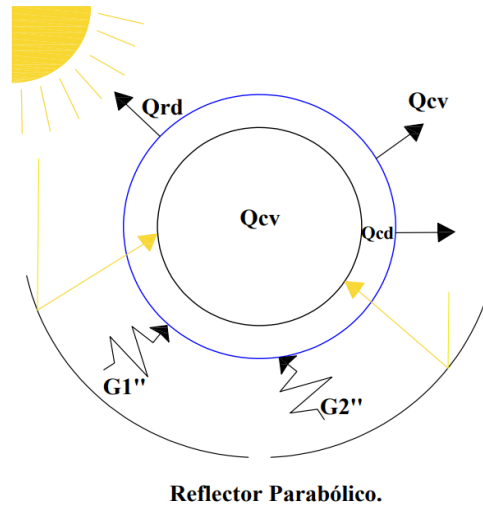
$T_1$  = temperatura inicial del agua

$M$  = masa de agua (kg)

$C_v$  = capacidad calorífica (4186 J/[kg·K])

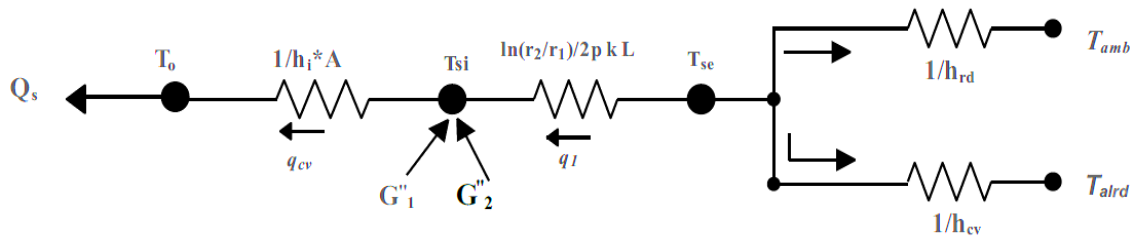
### **3) Determinación de las fuentes de calor.**

En la **Figura 26** se muestra el modelo de transferencia de calor del colector solar parabólico, donde se presentan distintos flujos de calor que permiten comprender su funcionamiento. Estos flujos incluyen radiación, conducción y convección.



**Figura 26.** Modelo de transferencia de calor del colector solar parabólico.

En la **Figura 27** se presenta el sistema representado mediante un modelo de resistencias de transferencia de calor, utilizado para realizar el balance de flujo de energía.



**Figura 27.** Esquema de resistencias del sistema.

#### 4) Cálculos de entradas o ganancia de calor.

Para determinar el flujo de calor por radiación incidente en el colector solar, se emplea la **Ecuación**  $Q_{ent} = A_s G$ , la cual toma en cuenta el área del colector, y la radiación solar. Para el análisis de las pérdidas de calor por radiación, se considera una emisividad de aluminio de 0.02 a una temperatura de 25 °C (ver **Anexo 1**). Además, se tomaron en cuenta una temperatura ambiente de 19 °C y una temperatura del colector de 30 °C, medida con una pistola infrarroja en un día soleado y sin nubes, durante un periodo de 5 min.

**Datos conocidos:**


---

	* $V = 0,5L = 500 \text{ mL}$	* $C_p = 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$
	* $m = \rho V = \left(1 \frac{\text{g}}{\text{mL}}\right) (500 \text{ mL}) = 500 \text{ g}$	
	* $T_c = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	* $T_o = 90 \text{ }^\circ\text{C}$
	$T_c = \text{temperatura del colector}$	

---

Cobre	* $\alpha = 0,8$	* $\varepsilon = 0,02$	* $T_{Si} = 84,96^\circ\text{C}$	* $k = 385 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$
	* $D_{\text{int}} = 45 \text{ mm} = 0,045 \text{ m}$		* $D_{\text{ext}} = 58 \text{ mm} = 0,058 \text{ m}$	
Colector	* $L = 247 \text{ mm} = 0,247 \text{ m}$			
	* $A_s = \pi D_{\text{ext}} L = \pi \times 0,058 \text{ m} \times 0,247 \text{ m} = 0,045 \text{ m}^2$			
Otros datos	* $T_{\text{amb}} = 19 \text{ }^\circ\text{C}$	* $h_{\text{ext}} = 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	$G = 700 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	

---

$$Q_{\text{ent}} = A_s G$$

$$Q_{\text{ent}} = 0.045 \text{ m}^2 \cdot 700 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 31,5 \text{ W}$$

**5) Cálculos de salidas o pérdidas de calor.**

En el colector solar existen tres pérdidas de calor por conducción, convección y radiación.

**- Pérdida de Calor por Conducción.**

De acuerdo con Cetina-Quiñones et al., (2017), se considera que las pérdidas por conducción son despreciables en el sistema del colector solar parabólico debido a un adecuado aislamiento del tubo receptor. Esto implica que la transferencia de calor a través de la conducción en el tubo receptor se encuentra minimizada, lo cual favorece la eficiencia y rendimiento del colector solar parabólico.

**- Pérdida por radiación.**

Para calcular las pérdidas de calor externas del termo colector solar se utiliza las Ecuaciones (7 y (8 respectivamente, las cuales toman en cuenta la temperatura ambiente y del colector. De acuerdo con Barnes et al., (1947), se considera una emisividad del vidrio de  $0.82 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$ .

$$Q_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s (T_c^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{\text{rad}} = \left(0.82 \frac{\text{W}}{\text{mK}}\right) \left(5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}\right) (0.045 \text{ m}^2) ((30 + 273)\text{K}^4 - (19 + 273)\text{K}^4)$$

$$Q_{\text{rad}} = 2,424 \text{ W}$$

### - Pérdida por convección

Se impuso un coeficiente de transferencia de calor de  $5 \frac{W}{m^2K}$  en el aire, ya que según Incropera (1999), el coeficiente de convección para una convección natural va de  $2 - 25 \frac{W}{m^2K}$ .

Establecido el coeficiente convectivo, se calcula las pérdidas de calor por radiación externa mediante la Ecuación.

$$Q_{conv ext} = A_s \cdot h_{ext} (T_{stubo} - T_{\infty})$$
$$Q_{conv ext} = 0.045 m^2 \left( 5 \frac{W}{m^2K} \right) ((30 + 273)K - (19 + 273)K)$$
$$Q_{conv ext} = 2,475 W$$

Después de obtener las pérdidas del sistema, se obtuvo el calor útil  $Q_u$ :

$$Q_u = Q_{sal} = Q_{ent} - Q_{rad} - Q_{conv ext}$$
$$Q_u = 31.5 W - 2.424 W - 2.475 W$$
$$Q_u = 26,601 W$$

Para finalizar, una vez que todas las variables relevantes en el proceso de transferencia de calor han sido determinadas, se procede a realizar la eficiencia del sistema:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{ent}} = \frac{26,601 W}{31,5 W} = 0,84$$
$$\eta = 84 \%$$

De acuerdo a los cálculos realizados, se obtiene una eficiencia del 84%, indicando un buen funcionamiento del colector solar. Este valor de eficiencia del 84% representa la relación entre la energía útil generada por el colector y la energía solar incidente sobre su superficie. Este resultado demuestra que el diseño y operación del colector solar permiten aprovechar eficientemente la radiación solar captada, cumpliendo con las expectativas de desempeño esperadas. La determinación de esta eficiencia global del sistema es clave para evaluar su viabilidad técnica y potencial de generación de energía a partir de la energía solar incidente.

### 5.4.3 Dinámica de fluidos computacional CDF

El software ANSYS Fluent es una herramienta numérica que simula el comportamiento de fluidos y la transferencia de calor resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes. Para la transferencia de calor, utiliza principalmente el **método de volúmenes finitos**, que discretiza el dominio en pequeñas celdas para resolver las ecuaciones de conservación de energía y otras propiedades físicas.

Los solucionadores CDF de ANSYS utilizan la siguiente ecuación, misma que se basa en el método de volumen finito.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi dV \cdot dA = \oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot dA + \int_V S_\phi dV \quad (26)$$

#### 5.4.3.1 Ecuaciones gobernantes de la dinámica computacional de fluidos.

CFD se basa fundamentalmente en las ecuaciones rectoras de la dinámica de fluidos que representan enunciados matemáticos de las leyes de conservación de la física.

##### 5.4.3.1.1 Ecuaciones de Navier-Stokes

Se utiliza las ecuaciones de Navier-Stokes para describir el movimiento de fluidos sin las complicaciones adicionales de la turbulencia. Estas ecuaciones se basan en los principios de conservación de masa, momento y energía. A continuación, se describen las ecuaciones principales:

##### 5.4.3.1.2 Ecuación de Continuidad.

Según Bruce R. et all, esta ecuación establece que la masa de un fluido es constante en un flujo incompresible. En otras palabras, la cantidad de fluido que entra en una región debe ser igual a la cantidad de fluido que sale de esa región. La ecuación de continuidad se expresa matemáticamente como:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (27)$$

Para el flujo estacionario de fluidos compresibles

$$\nabla \cdot \rho \mathbf{V} = 0 \quad (28)$$

Para fluidos incompresibles la densidad del fluido, es una constante en todo el campo de flujo de modo que

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (29)$$

Donde:

$\frac{\partial \rho}{\partial t}$  = derivada parcial de la densidad con respecto al tiempo.

$\nabla \cdot (\rho \mathbf{v})$  = divergencia del producto de la densidad ( $\rho$ ) y la velocidad ( $\mathbf{v}$ ) del fluido.

##### 5.4.3.1.3 Ecuación del momento

Describe la conservación del momento en el fluido y tienen la siguiente forma:

$$\rho \left( \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{V} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{V} + \mathbf{f} \quad (30)$$

Donde:

- $\rho$  es la densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\mathbf{V}$  es el vector velocidad.
- $-\nabla p$  gradiente de presión.
- $\mu$  es la viscosidad dinámica del fluido.
- $\mathbf{g}$  es el vector de la gravedad.
- $\mathbf{f}$  representa otras fuerzas externas aplicadas.

#### 5.4.3.1.4 Ecuación de la Energía

En situaciones donde se considera el intercambio de calor o la transferencia de energía, se utiliza la ecuación de energía:

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla T \right) = k \nabla^2 T + \Phi \quad (31)$$

Donde:

- $C_p$  es el calor específico a presión constante,
- $T$  es la temperatura,
- $k$  es la conductividad térmica,
- $\Phi$  representa la disipación viscosa.

#### 5.4.3.2 Modelo de radiación

El modelo de radiación superficie-superficie de ANSYS es una solución eficiente para incluir los efectos de la radiación en diversas aplicaciones. Este modelo emplea factores de forma, o factores de vista, calculados para las superficies de los objetos.

##### 5.4.3.2.1 Surface-to-Surface Radiation Model

Según ANSYS (2018), el modelo de radiación Surface-to-Surface indica que el flujo de energía que sale de una superficie dada se compone de energía directamente emitida y energía reflejada. El flujo de energía reflejada depende del flujo de energía incidente procedente del entorno, que puede expresarse en términos del flujo de energía que sale de todas las demás superficies. La energía reflejada de la superficie  $k$  es

$$q_{\text{out},k} = \epsilon_k \sigma T_k^4 + \rho_k q_{\text{in},k} \quad (32)$$

Donde:

- $q_{\text{out},k}$  es el flujo de energía que sale de la superficie.

- $\epsilon_k$  es la emisividad.
- $\sigma$  es la constante de Boltzmann.
- $q_{in,k}$  es el flujo de energía que incide en la superficie desde los alrededores.

La cantidad de energía incidente sobre una superficie desde otra superficie es una función directa del «factor de visión» de superficie a superficie,  $F_{jk}$ . El factor de visión  $F_{jk}$  es la fracción de energía que sale de la superficie  $k$  y que incide sobre la superficie  $j$ . El flujo de energía incidente  $q_{in,k}$  puede expresarse en términos del flujo de energía que sale de todas las demás superficies como:

$$A_k q_{in,k} = \sum_{j=1}^N A_j q_{out,k} F_{jk} \quad (33)$$

Donde:

$A_k$  es el área de la superficie  $k$  y  $F_{jk}$  es el factor de vista entre la superficie  $k$  y la superficie  $j$ . Para  $N$  superficies, utilizando la relación de reciprocidad del factor de vista se obtiene:

$$A_j F_{jk} = A_k F_{kj} \text{ para } j=1,2,3\dots N \quad (34)$$

$$q_{in,k} = \sum_{j=1}^N F_{kj} q_{out,j} \quad (35)$$

Por lo tanto

$$J_k = E_k + \rho_k \sum_{j=1}^N F_{kj} J_j \quad (36)$$

Donde  $J_k$  representa la energía que se desprende (o radiosidad) de la superficie  $k$  y  $E_k$  representa la potencia emisiva de la superficie  $k$ . Esto representa  $N$  ecuaciones, que pueden refundirse en forma matricial como:

$$KJ = E \quad (37)$$

Donde  $K$  es una matriz  $N \times N$ ,  $J$  es el vector de radiosidad y  $E$  es el vector de potencia emisiva.

### 5.4.3.3 ANSYS Fluent 2022 R1

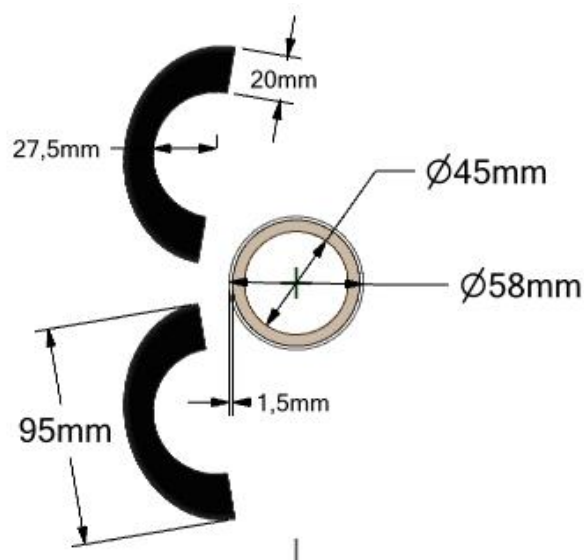
#### 5.4.3.3.1 Preprocesamiento

Con el uso SpaceClaim de ANSYS se realizó el levantamiento del colector solar parabólico, teniendo en cuenta una serie de procesos que se detallan a continuación:

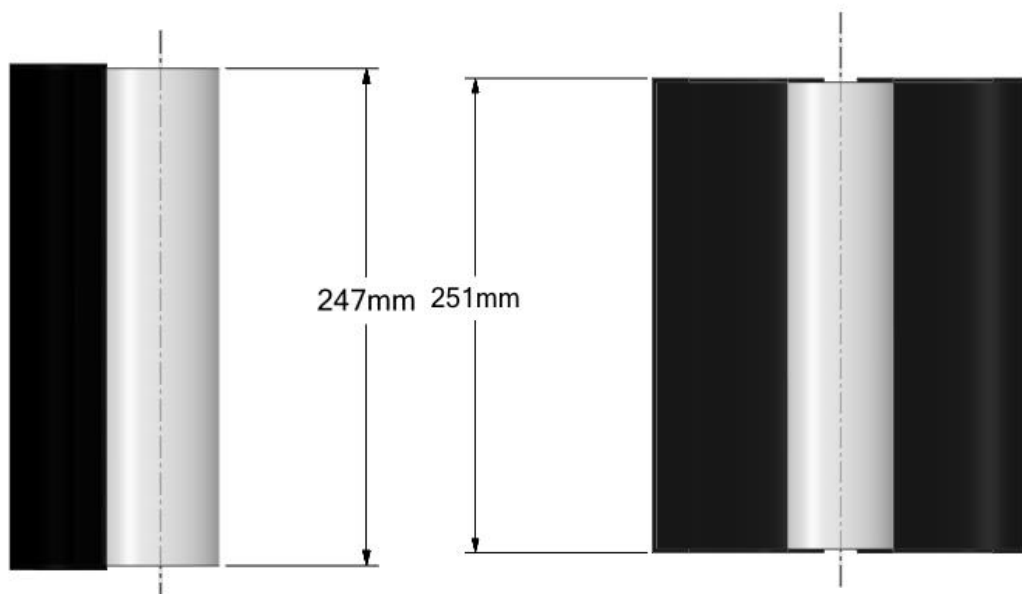
#### Preparación del modelo geométrico.

Inicialmente se dibuja la geometría correspondiente del sistema utilizando SpaceClaim 2022 R1 como se muestra en la **Figura 28** y

**Figura 29** respectivamente.



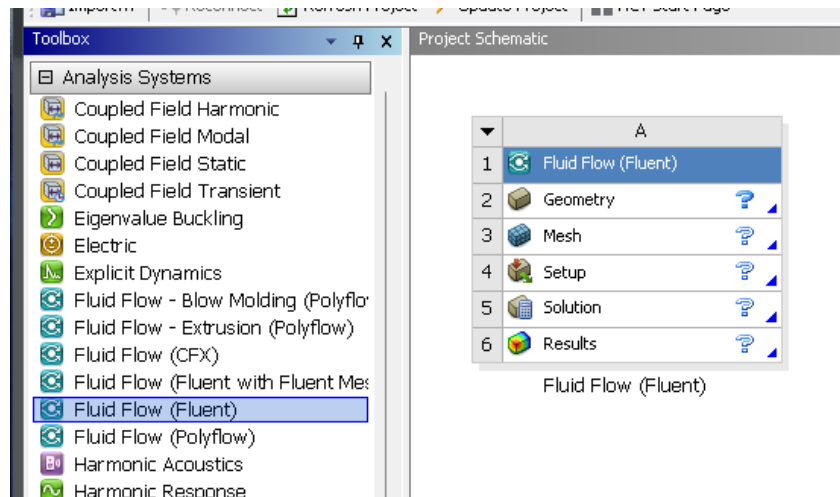
**Figura 28.** Geometría del colector solar mediante SpaceClaim



**Figura 29.** Tubo de vacío y paneles.



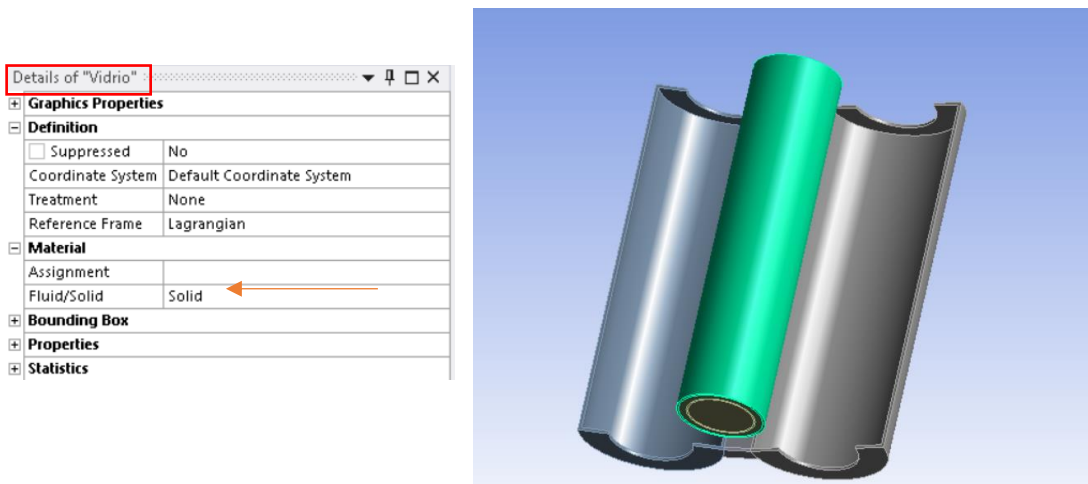
A continuación, se utilizó Workbench 2022 R1 y se seleccionó el módulo "Analysis System" de Fluid Flow (Fluent). En este paso, se procedió a importar la geometría del sistema bajo estudio como se muestra en la **Figura 30**.



**Figura 30.** Selección de sistema de análisis y parámetros previos a simulación.

### Definir propiedades de materiales

Se asignó los materiales correspondientes a las diferentes partes del colector solar, fluidos y sólidos como se observa en la **Fig. 31**.



**Figura 31.** Propiedades de materiales del termo.

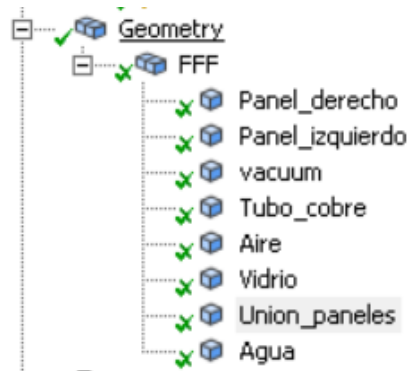
### Generación de la malla (meshing).

El proceso de mallado o "meshing" en ANSYS es una etapa crucial en la simulación numérica que implica la discretización del dominio computacional en elementos finitos. Este procedimiento transforma la geometría continua del modelo en una representación discreta,

permitiendo la aplicación de métodos numéricos para resolver las ecuaciones gobernantes del problema.

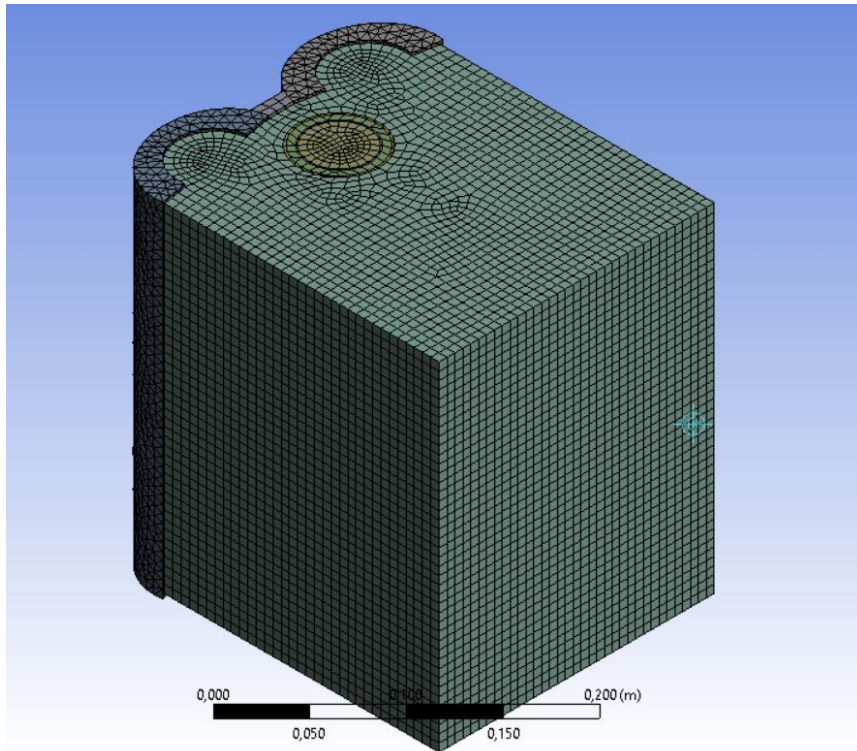
Para iniciar la descripción del proceso de mallado en ANSYS, es fundamental abordar los siguientes aspectos:

1. **Preparación de la geometría:** antes de comenzar el mallado, se debe asegurar que la geometría esté correctamente definida y libre de errores.



**Figura 32.**Revisión de la geometría antes del mallado.

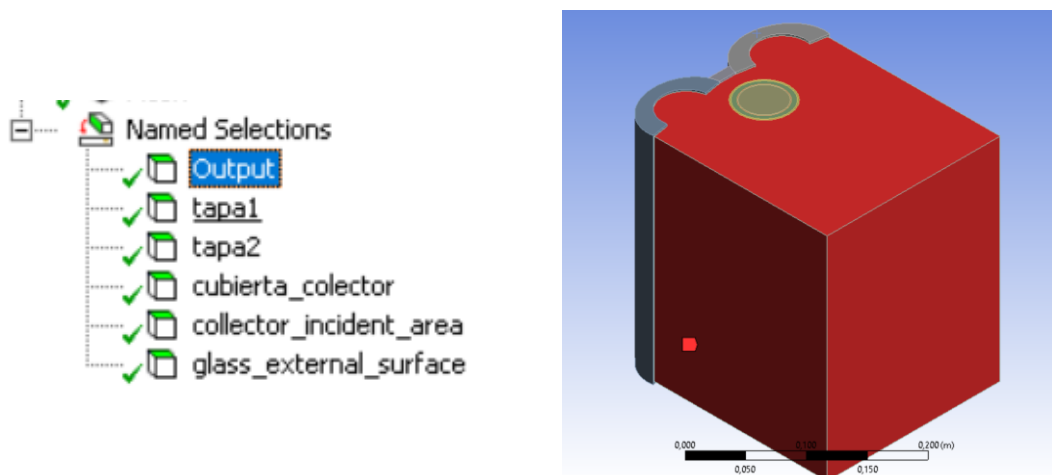
Para esta simulación, se utilizó un mallado conformado por elementos cúbicos como se muestra en la **Figura 33**, lo que permite una representación precisa de la geometría del colector, optimizando el tiempo de cálculo sin sacrificar la calidad de los resultados. Se observa que las áreas de mayor interés, como las ubicadas en la parte superior del modelo, correspondientes a los componentes del sistema de recolección y transferencia térmica, cuentan con un refinamiento mayor. Este nivel de detalle es esencial para capturar los fenómenos de transferencia de calor y los gradientes de temperatura dentro del sistema, factores determinantes para la evaluación del rendimiento térmico del colector. El mallado empleado equilibra la precisión y el costo computacional, facilitando el análisis de las condiciones operativas bajo diferentes escenarios de radiación solar y climatología, contribuyendo al objetivo de simular el comportamiento térmico del colector para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS).



**Figura 33.** Definición del mallado en el termo colector solar.

### Condiciones de contorno

Se crearon diversas 'Named Selections' en ANSYS Fluent para especificar entradas, salidas y zonas de interés en el análisis de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Esta técnica permitió organizar y gestionar eficientemente las geometrías del modelo. Las 'Named Selections' son fundamentales para definir áreas donde se aplican condiciones de contorno e identificar regiones específicas para el post-procesamiento. Su implementación no solo simplifica la configuración del modelo, sino que también facilita el análisis posterior de los resultados como se muestra en la **Figura 34**.



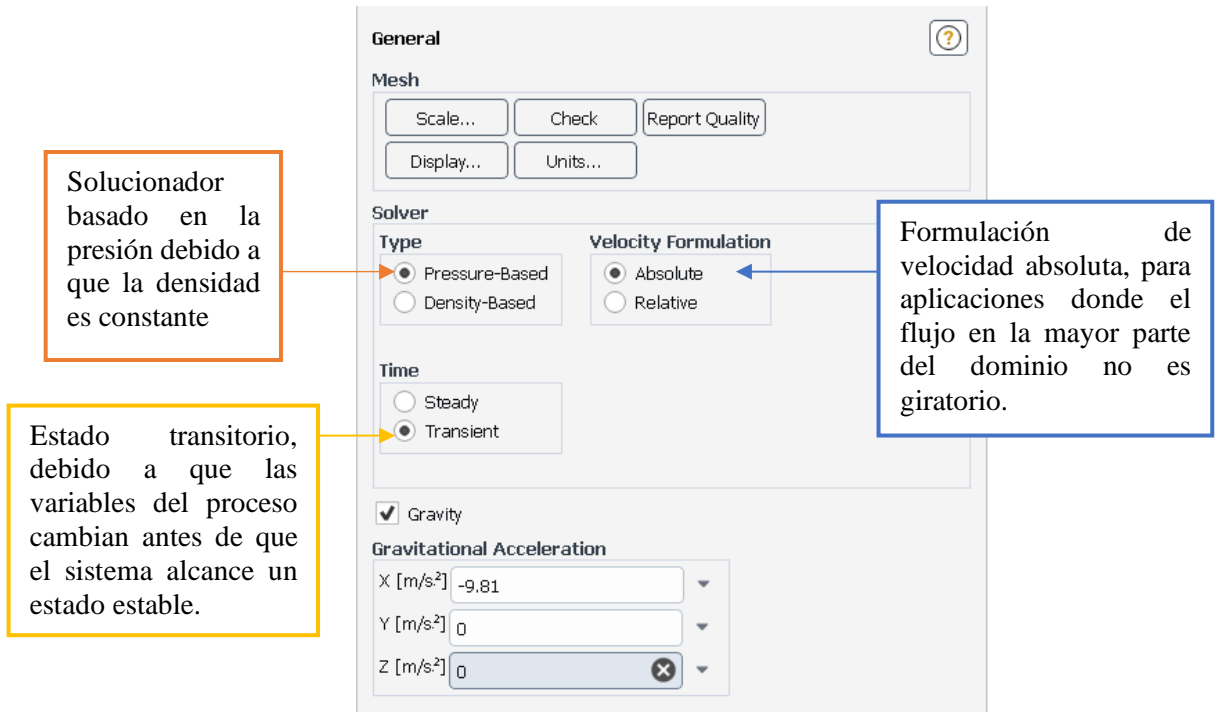
**Figura 34.** Creación de named selections en la geometría del colector.

#### 5.4.3.3.2 *Procesamiento*

Para iniciar el proceso se deben especificar los parámetros del solver, como el esquema de discretización, los criterios de convergencia, el tipo de solución deseada (transitoria o estacionaria) y el esquema numérico a implementar.

#### **Configuración general**

Tipo de solución, en este caso se seleccionó el caso de tipo transitorio, es decir, que varía en el tiempo como se muestra en la **Figura 35**.



**Figura 35.** Configuración general del solver.

#### **Configuración del setup.**

En la configuración del solver en ANSYS, se realizaron los siguientes ajustes:

**Configuración del modelo de radiación:** Se activó y configuró el modelo de radiación. Este paso es crucial para simular con precisión la transferencia de calor por radiación, especialmente importante en aplicaciones que involucran altas temperaturas o transferencia de calor significativa entre superficies.

Se habilitó la opción de energía, estableciéndola en modo activo (ON). Esta selección permite al solver considerar los efectos térmicos y la transferencia de calor en la simulación y la selección del modelo de radiación que se utilizó. En este caso se seleccionó el modelo de radiación Surface-to-Surface como se muestra en la

**Figura 36.**

Setup → Models → Radiation Model → Surface to Surface (S2S)

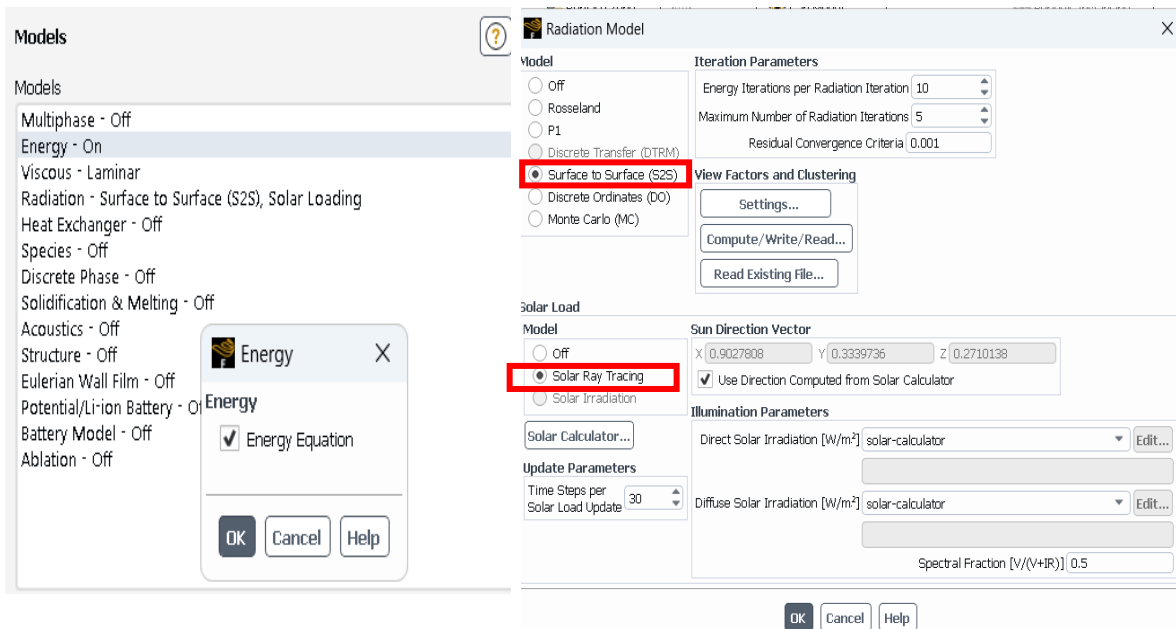


Figura 36. Modelo de radiación: Surface to Surface (S2S).

**Selección del modelo de flujo:** Se optó por el modelo Laminar. Esta elección es apropiada para flujos con bajo número de Reynolds, donde el movimiento del fluido es ordenado y las capas se desplazan de forma paralela sin mezclarse significativamente.

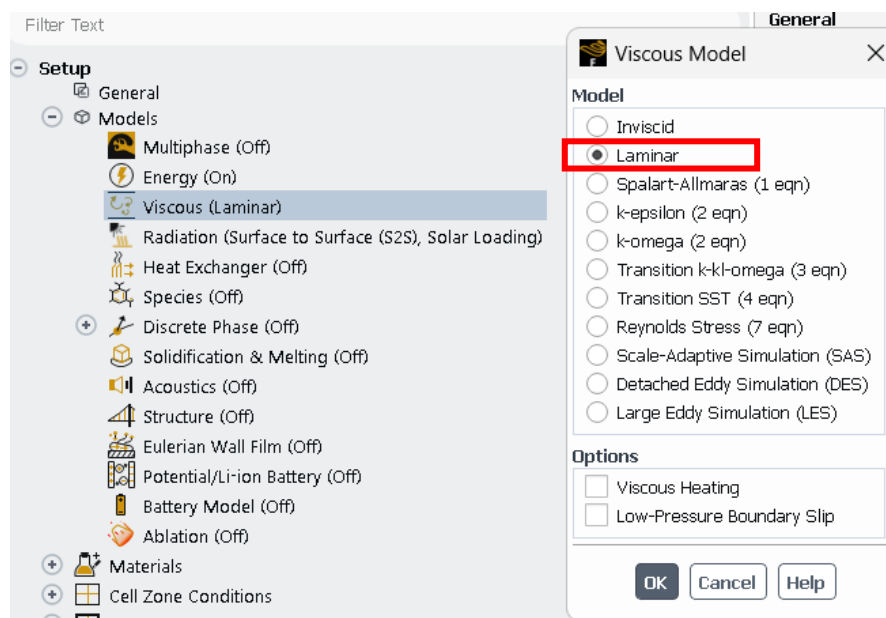


Figura 37. Configuración del modelo en estudio.

## Configuración de las condiciones de borde o Boundary conditions

En la sección de Condiciones de Contorno (Boundary Conditions), se establecieron los parámetros límite para las distintas superficies y áreas del dominio, como se ilustra en las figuras correspondientes. Estas condiciones son cruciales, ya que determinan la interacción entre el fluido y los límites del sistema. Entre los parámetros que pueden definirse se incluyen velocidades, temperaturas y presiones, entre otras variables relevantes para el análisis

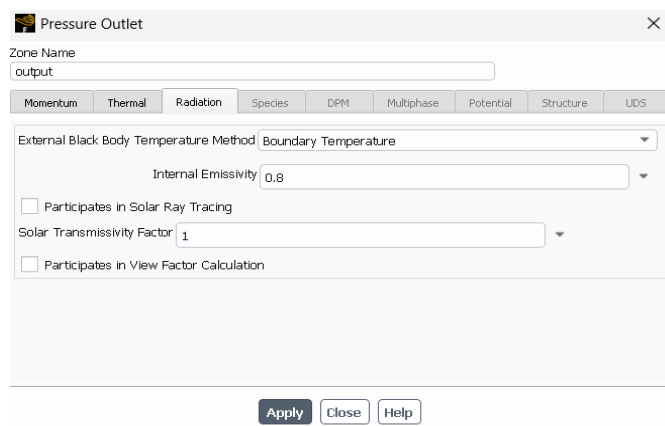
### Condiciones iniciales (inlet):

Es estado estacionario, no requiere condiciones iniciales.

### Salida del fluido (Outlet):

- Se configuró como una condición de presión de salida (pressure outlet) y en el modelo de radiación con una emisividad interna de 0.8 como se muestra en la

**Figura 38.**

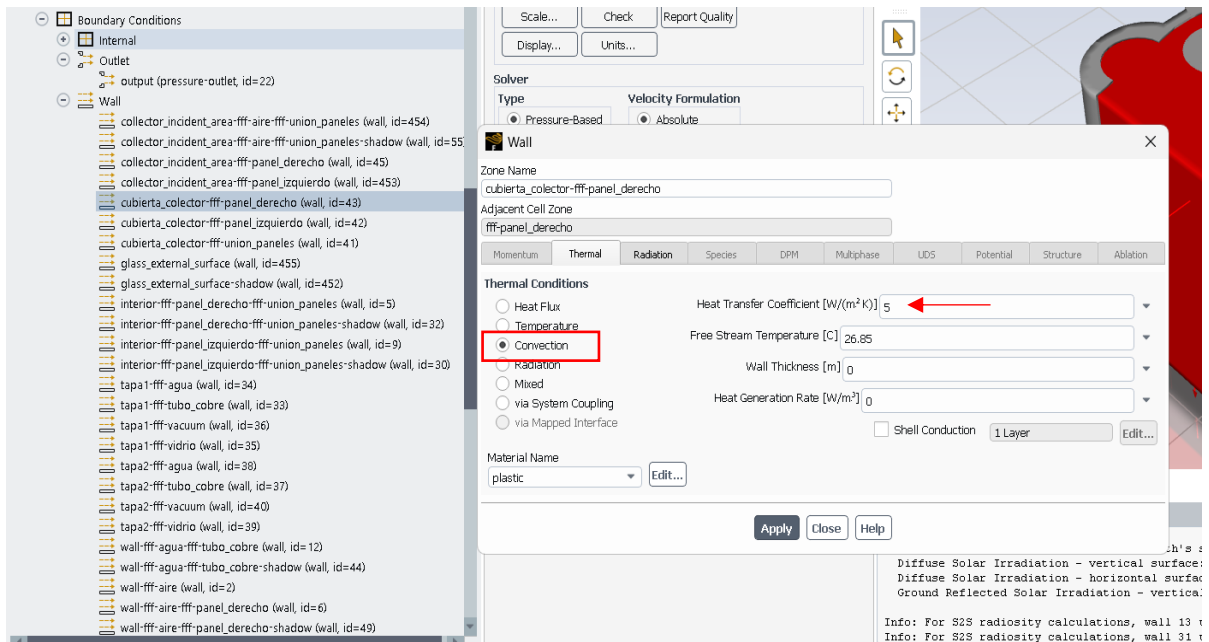


**Figura 38.** Presión de salida.

### Paredes y superficies del colector

En el menú de condiciones de contorno, se eligió la opción 'Convection' para las superficies de los paneles del colector.

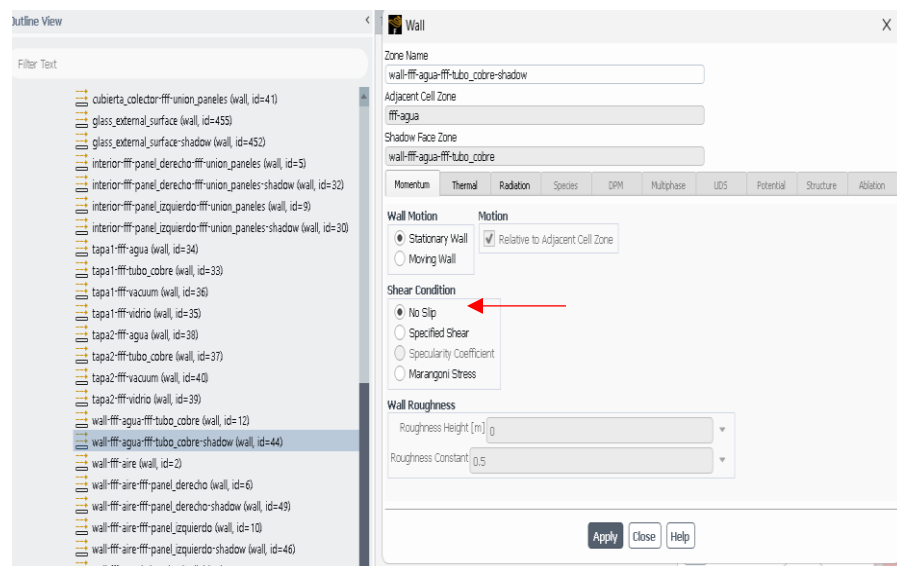
Se introdujo un valor de  $5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  para el coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h$ ). Este valor se estimó considerando las condiciones ambientales típicas y la geometría del colector, utilizando correlaciones empíricas para convección natural en superficies inclinadas ya que según Incropera (1999) el coeficiente de convección para una convección natural va de  $2\text{--}25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .



**Figura 39.** Configuración de las condiciones de borde en las paredes del colector.

Se aplicó la condición de no deslizamiento (no-slip) en todas las paredes sólidas.

Se definieron paredes como adiabáticas, asumiendo que no hay transferencia de calor a través de ellas.

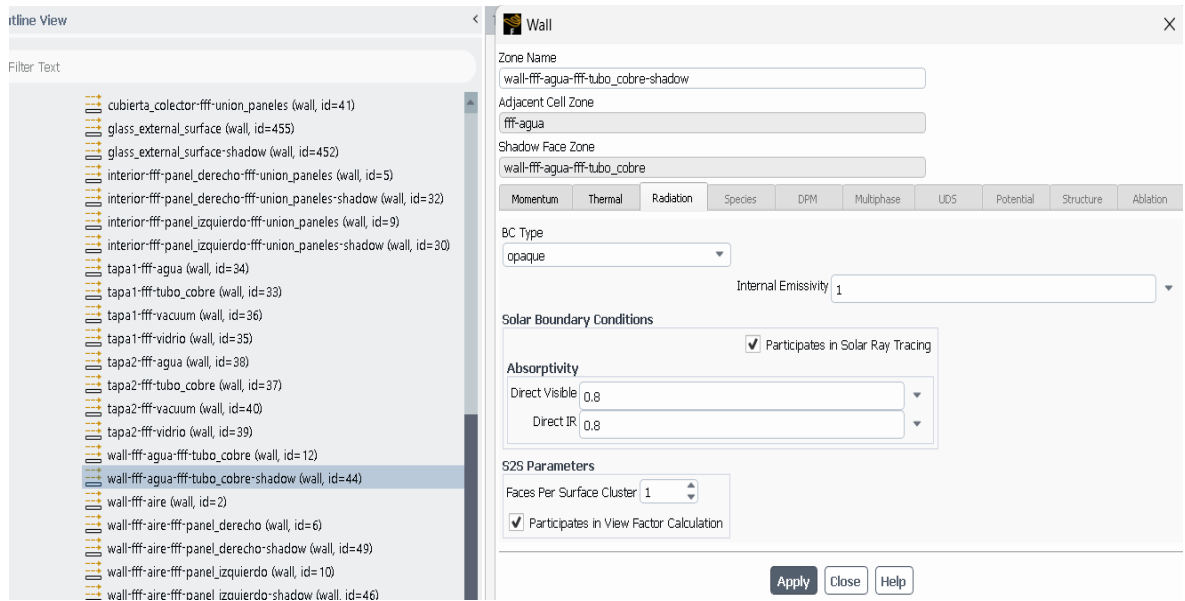


**Figura 40.** Configuración de no deslizamiento.

### Interfaz fluido-sólido:

Se estableció un acoplamiento térmico entre el fluido y las superficies sólidas para permitir la transferencia de calor.

En las zonas relevantes, se especificaron fuentes de calor volumétricas o superficiales según corresponda.

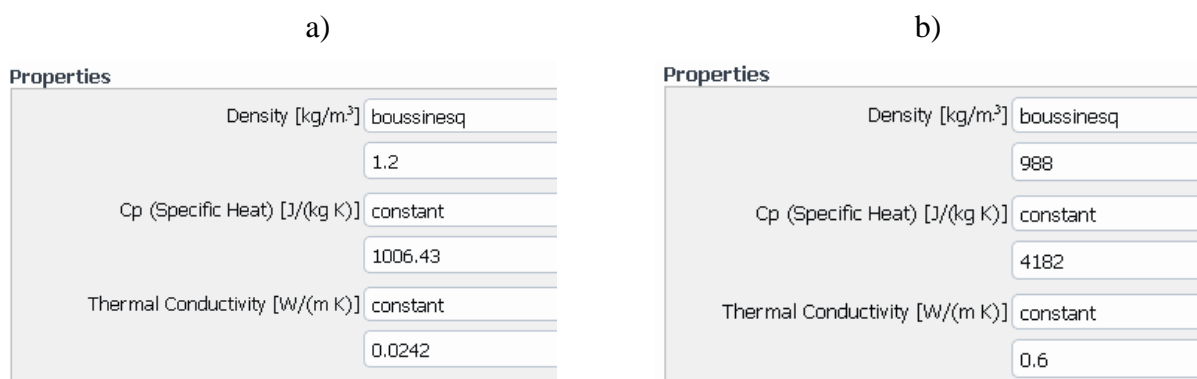


**Figura 41.** Configuración fluido-sólido

## Materiales

A continuación, se procedió a configurar las propiedades de los materiales, tanto del fluido como de los sólidos, en la sección 'Materials' dentro del menú 'Set up'. Cabe destacar que ANSYS calcula con gran precisión los parámetros físicos y térmicos del aire.

Esta configuración es crucial para que la simulación refleje con exactitud el comportamiento de los materiales involucrados en el sistema del colector solar. La definición precisa de estas propiedades contribuye significativamente a la fiabilidad de los resultados obtenidos en el análisis. La **Figura 42** y **Figura 43** muestran en detalle los valores específicos asignados a cada elemento del modelo, tanto para sólidos como fluidos.



**Figura 42.** Propiedades de los fluidos. (a) Aire. (b) Agua.

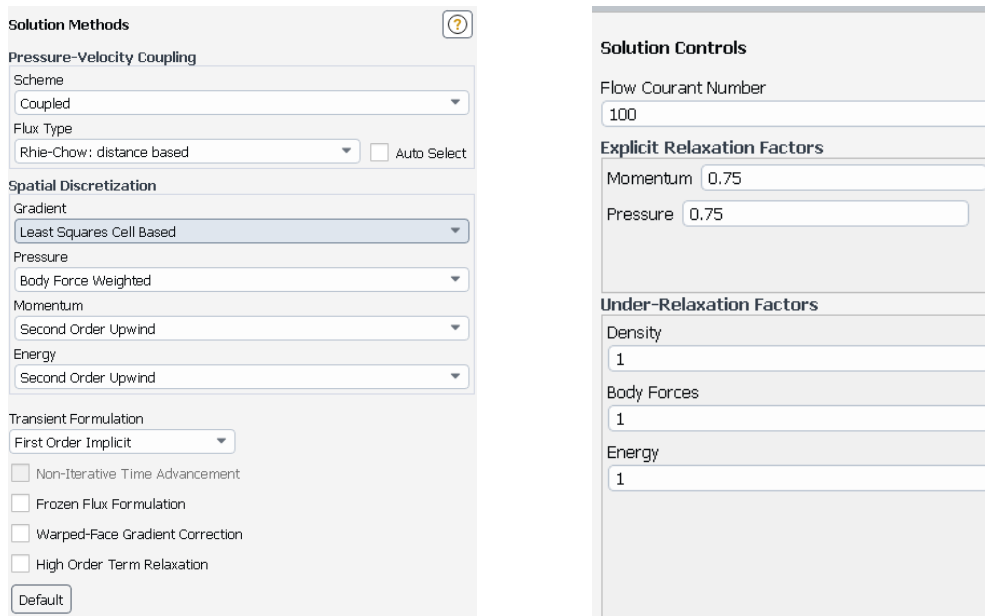




**Figura 43.** Propiedades físicas y térmicas de los sólidos. (a) Aluminio. (b) Cobre. (c) Plástico. (d) Vidrio.

Posteriormente, en la sección 'Models', se procedió a la elección del modelo de turbulencia apropiado. Es importante destacar que ANSYS Fluent proporciona un extenso catálogo de modelos físicos, permitiendo la simulación de diversos fenómenos con gran precisión.

En el apartado 'Methods', se llevaron a cabo configuraciones fundamentales. Se seleccionó el método 'Coupled' en el campo 'Scheme', mientras que en el tipo de flujo se eligió Rhie-Chow: distance based. Además, se optó por Pressure: Body Force Weighted, una opción que permite un cálculo más preciso de la presión en el flujo al considerar las fuerzas corporales que afectan al fluido. Estas elecciones son esenciales para definir la estrategia que el software empleará en la resolución numérica del problema.

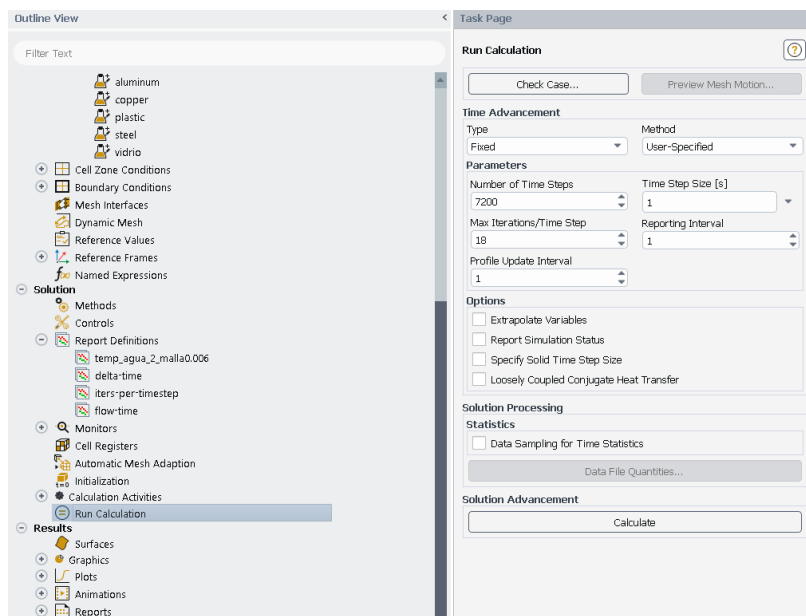


**Figura 44.** Configuración de controles y métodos de solución

Finalmente, se establecieron los "report definitions" para almacenar los resultados cuantitativos necesarios para el análisis posterior, y la simulación se configuró para 18 iteraciones. Se determinó el tiempo de simulación para que coincidiera con el período de recolección de datos, 2 horas diarias, asegurando una representación precisa de las condiciones reales y permitiendo la comparación directa con los datos experimentales. Esta alineación temporal es fundamental para validar la precisión de la simulación y obtener resultados significativos que puedan contrastarse con las observaciones experimentales.

a)

b)

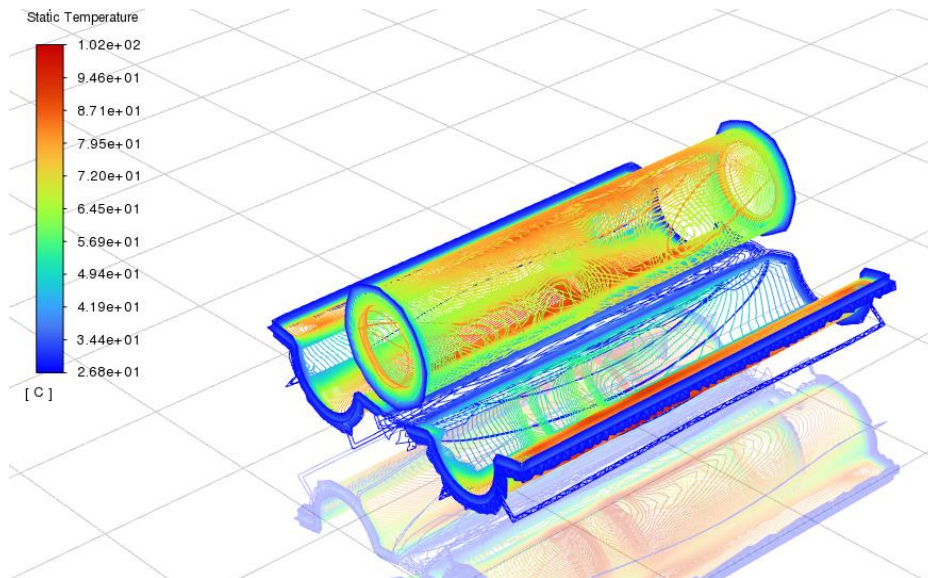


**Figura 45.** Iniciación de la simulación. a) Report Definitions. b) Selección del número de iteraciones.

### 5.4.3.3.3 *Post procesamiento*

#### **Análisis de resultados en ANSYS**

Una vez que la simulación ha finalizado, se pueden analizar los resultados obtenidos utilizando las herramientas de post-procesamiento de ANSYS FLUENT. Esto implica la visualización de los resultados en forma de gráficos, mapas de contorno de temperatura y campos vectoriales de variables de interés, así como la extracción de datos para su posterior análisis como se observa en la **Figura 46**.



**Figura 46.** Presentación de resultados.

El colector representado en un gráfico tridimensional, presenta un contorno de colores que indican diferentes niveles de temperatura, variando del azul para temperaturas más bajas al rojo para temperaturas más altas. La parte central del colector alcanza una temperatura máxima de 81,6 grados Celsius (354.56 Fahrenheit) , evidenciada por la tonalidad naranja en el contorno de la superficie del tubo principal. Las líneas que rodean el colector indican la distribución y flujo del calor a través de la estructura, proporcionando una visualización clara de la transferencia de calor en el sistema.

#### **Análisis Comparativo de Datos en termocupla tipo K y de Datos de Simulación ANSYS.**

Para obtener datos de temperatura del agua se recolectaron datos a través de una termocupla tipo K programada en Arduino, por un periodo de 2 h aproximadamente durante 6 días y se realizaron simulaciones en ANSYS utilizando los parámetros mencionados en el procesamiento y análisis de datos.

Los datos obtenidos mediante la termocupla se pueden observar en el **Anexo 5**, del cual se extraen las temperaturas iniciales y finales en su periodo de tiempo correspondiente como se muestra en la **Tabla 6**.

**Tabla 6.** Datos de temperatura mediante termocupla tipo K.

<b>Día</b>	<b>Tiempo del experimento (s)</b>	<b>Temperatura Inicial (°C)</b>	<b>Temperatura Final (°C)</b>
1	10:54-12:54	21.75	90.5
2	10:54-12:51	21.75	90
3	10:54-12:54	20.75	63.5
4	10:54-12:55	22.25	62.75
5	10:53-12:55	22	80.5
6	10:53-12:56	28	103

Por otro lado, la **Tabla 7** presenta información de tres diferentes configuraciones de malla. La Malla 1 (0.008 m) se identifica como obsoleta, con una temperatura máxima anormalmente alta. Las Mallas 2 (0.006 m) y 3 (0.005 m) muestran resultados más consistentes y precisos, con temperaturas máximas idénticas y un mayor número de elementos y nodos. Esto sugiere que las Mallas 2 y 3 proporcionan un refinamiento adecuado para capturar con precisión el comportamiento térmico del colector solar en la simulación.

**Tabla 7.** Independencia de malla para el colector solar.

<b>Descripción</b>	<b>Malla 1 0.008 m</b>	<b>Malla 2 0.006 m</b>	<b>Malla 3 0.005 m</b>
<b>Número de Elementos</b>	37928	79727	120209
<b>Nodos</b>	34949	74362	127468
<b>Temperatura Inicial (°C)</b>	27.000	27.000	27.000
<b>Temperatura Máxima (°C)</b>	231.993	80	81.5

#### **5.4.4** *Evaluar el rendimiento de un colector comercial portátil para la obtención de agua caliente sanitaria mediante energía solar.*

Para evaluar el rendimiento de un colector comercial portátil para la obtención de agua caliente sanitaria mediante energía solar, se menciona algunos pasos a seguir:

- **Medir la radiación solar**

Para lograr una medición precisa, es imprescindible emplear un piranómetro (ver **Figura 47**), ya que este dispositivo considera las condiciones climáticas específicas del lugar, el

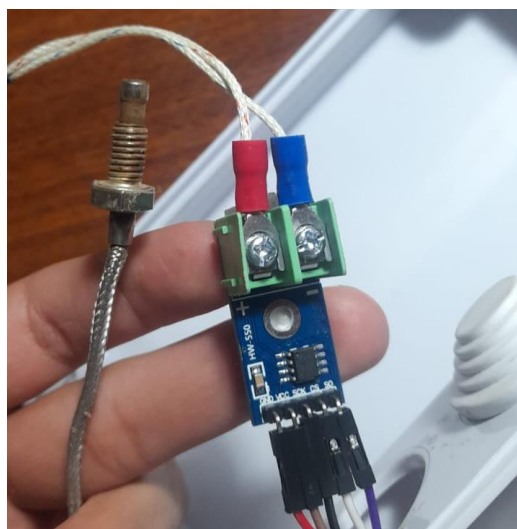
contenido de humedad en el ambiente y la presencia de polución en el aire. Estos elementos desempeñan un papel fundamental en la cantidad de radiación solar directa registrada.



**Figura 47.** Medición de radiación.

- **Medir la temperatura del agua caliente sanitaria**

La medición de la temperatura del agua caliente sanitaria a la salida del colector solar se realiza mediante una termocupla tipo K acondicionada, cuya adquisición de datos se gestiona a través de un sistema Arduino programado (ver **Anexo 3**). Este dispositivo registra los valores térmicos de forma continua, permitiendo analizar la variación de temperatura en función de la radiación solar incidente a lo largo del tiempo. Estos datos son fundamentales para evaluar la eficiencia y el rendimiento del colector solar en diferentes condiciones de radiación.



**Figura 48.** Termocupla tipo K.

- **Calcular la energía solar captada**

Utilizando los datos de radiación solar incidente y el área del colector, se puede calcular la energía solar captada por el sistema en un período de tiempo determinado, mediante la expresión: Energía solar captada = Radiación solar incidente · Área del colector · Absortividad, donde se considera un valor de absortividad de 0.8 al tratarse de una lámina de cobre como material de recubrimiento; de esta manera, a partir de los datos disponibles, se puede determinar la cantidad de energía solar que es efectivamente captada por el colector, lo cual constituye el primer paso para realizar el balance energético del sistema.

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \alpha_{\text{cu}} \cdot G_{\text{prom}} \cdot A_s = (0,8) \left( 700 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) (0,045 \text{ m}^2) = \mathbf{25,2 \text{ W}}$$

- **Calcular la energía entregada al agua caliente sanitaria**

A partir de las mediciones de temperatura del agua caliente sanitaria y el caudal, se calcula la energía entregada al agua caliente sanitaria mediante:

$$\text{Energía entregada} = Q \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{\text{sal}} - T_{\text{ent}})$$

Donde la densidad y la capacidad calorífica del agua son propiedades conocidas.

$$Q_{\text{agua}} = m \cdot C_p (T_o - T_i) = (500 \text{ g}) \left( 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (90 - 19)^\circ\text{C} = \mathbf{148390 \text{ J}}$$

- **Calcular el rendimiento del colector solar**

El rendimiento del colector solar se calcula dividiendo la energía entregada al agua caliente sanitaria por la energía solar captada por el colector. Esto se expresa como un porcentaje y proporciona una medida de la eficiencia del colector en la conversión de la radiación solar en energía térmica utilizable. La ecuación general para el rendimiento del colector solar es:

$$\text{Rendimiento del colector} = \left( \frac{\text{Energía entregada}}{\text{Energía solar captada}} \right) * 100 \quad (38)$$

El calor útil es:

$$\dot{Q}_{\text{util}} = E_{\text{entra}} - E_{\text{sale}} = E_{\text{almacena}} = \frac{Q_{\text{agua}}}{t} = \frac{148390 \text{ J}}{2 \text{ h} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}} = \mathbf{20,60 \text{ W}}$$

Eficiencia térmica:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{\text{util}}}{\dot{Q}_{\text{rad}}} \times 100 = \frac{20,60 \text{ W}}{25,2 \text{ W}} \times 100 = \mathbf{81,7 \%}$$


## 6. Resultados

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos tras la evaluación del comportamiento térmico de un colector parabólico comercial portátil destinado a la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) mediante energía solar. Para cumplir con este objetivo, se llevó a cabo un balance térmico detallado que permitió determinar las condiciones de operación óptimas del colector. Además, se desarrolló un modelo numérico simplificado que describe con precisión el funcionamiento del tubo de vacío del colector. Finalmente, se evaluó el rendimiento del dispositivo en términos de eficiencia energética y capacidad de calentamiento, considerando distintas condiciones de operación. Los resultados obtenidos proporcionan una visión integral sobre la viabilidad y eficacia del uso de este tipo de colectores en aplicaciones de ACS.

### 6.1 Realizar un balance térmico.

Para cumplir con el objetivo de realizar un balance térmico, se llevó a cabo un análisis exhaustivo del comportamiento energético del colector solar parabólico comercial. Este análisis permitió identificar las condiciones de operación óptimas al cuantificar la energía absorbida por el colector y las pérdidas térmicas durante el proceso de obtención de agua caliente sanitaria (ACS). Los resultados del balance térmico, presentados en la **Tabla 8**, revelan la eficiencia energética del colector bajo diversas condiciones operativas, proporcionando una comprensión clara de su rendimiento en la conversión de energía solar en calor útil. Estos datos son fundamentales para optimizar el uso del colector en aplicaciones reales, asegurando una mayor eficiencia y sostenibilidad en la producción de ACS.

**Tabla 8.** Resultado de las pérdidas y ganancias de colector solar parabólico.

RESULTADO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS DEL COLECTOR SOLAR PARABÓLICO		
		
BALANCE TÉRMICO		
GANANCIA	PÉRDIDAS	
Qradiación (W)	Qconv (W)	Qradiación (W)
31.5	2.475	2.424
Calor útil ( $Q_u$ )	<b>26.601 W</b>	

El análisis de los datos presentados en la **Tabla 8** muestra la información sobre el balance térmico del sistema, indicando:

1. Ganancia de calor: Durante un día promedio, el sistema experimenta una ganancia de calor por radiación de 31,5 W. Esta es la energía ganada por el colector debido a la radiación solar absorbida.
2. Pérdidas térmicas: Las pérdidas combinadas por convección (pérdidas de energía debido a la transferencia de calor por convección desde el colector al entorno) y radiación (pérdidas de energía debido a la emisión de radiación térmica del colector hacia el entorno) ascienden a 4,89 W.
3. Balance neto: La diferencia entre la ganancia y las pérdidas resulta en un calor útil disponible de 26.601 W para el uso en el sistema del colector solar parabólico.

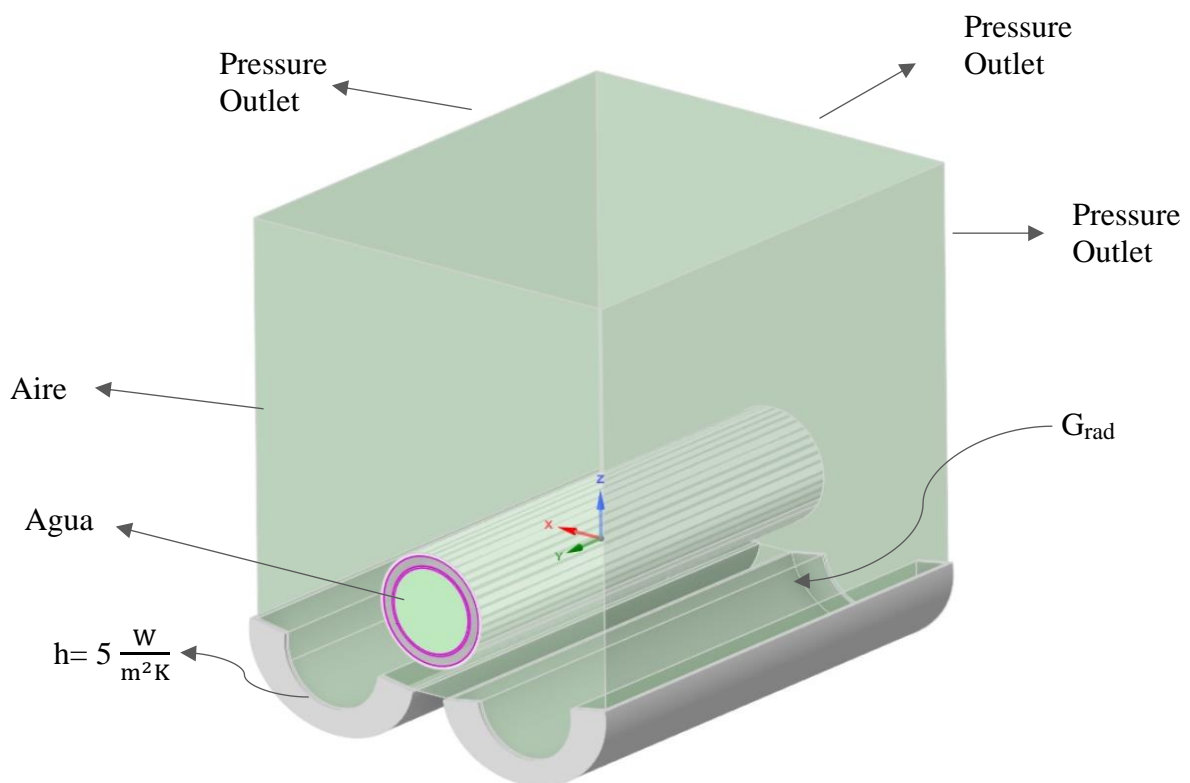
Este balance térmico indica que, a pesar de la ganancia por radiación, el sistema experimenta una ligera pérdida de energía neta de 4,89 W. Estos resultados sugieren que podrían explorarse estrategias para mejorar la retención de calor y optimizar la eficiencia energética del sistema.



## 6.2 Implementar un modelo numérico simplificado que describa el funcionamiento del tubo de vacío del colector solar parabólico comercial.

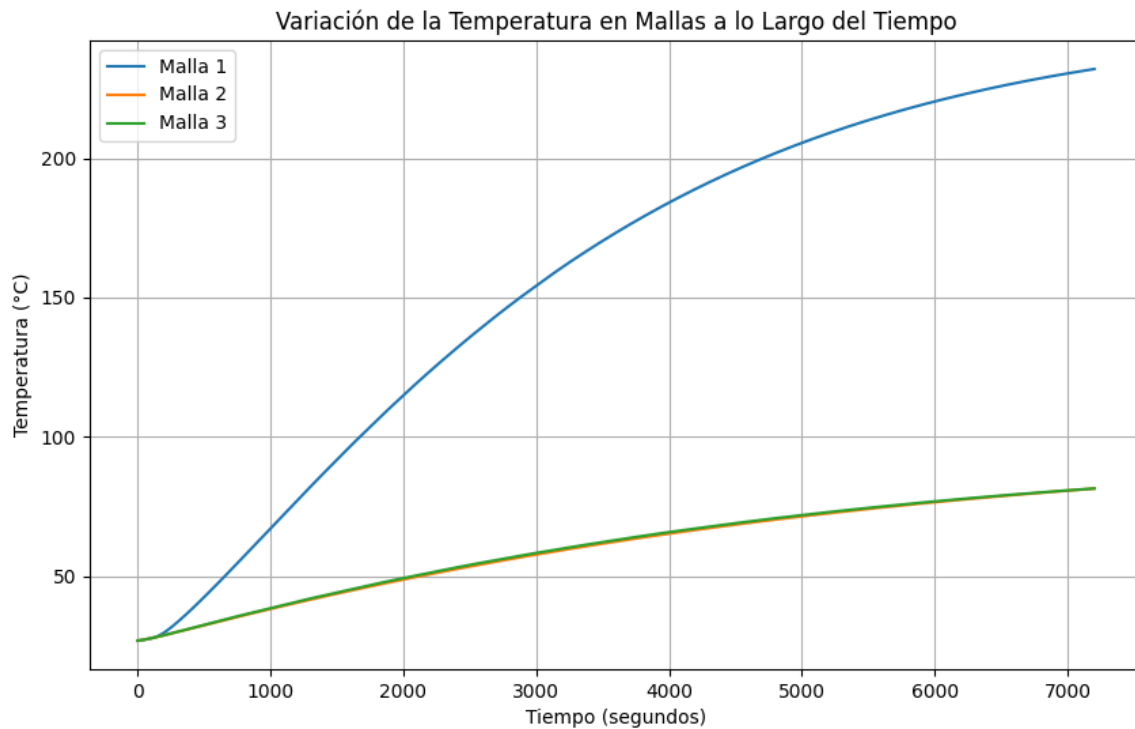
Como parte del desarrollo del segundo objetivo específico, se implementó un modelo numérico simplificado para describir el comportamiento térmico del tubo de vacío en un colector solar parabólico comercial. Para el análisis, se utilizó un enfoque basado en la convección natural, complementado por el modelo de radiación S2S (Surface to Surface), seleccionado por su capacidad para simular de manera precisa las interacciones radiativas entre superficies dentro del sistema.

La **Figura 49** muestra la configuración del modelo, donde se analizan las interacciones térmicas entre el aire exterior, el agua en el interior del tubo, y el propio tubo de vacío. El modelo incluye varias salidas de presión (Pressure Outlet), permitiendo estudiar el comportamiento del flujo y la transferencia de calor en distintos puntos clave del sistema. Con un coeficiente de transferencia de calor por convección de  $h = 5 \frac{W}{m^2K}$  el modelo numérico permitió cuantificar las pérdidas térmicas y evaluar la eficiencia del colector en condiciones operativas simuladas. Los resultados obtenidos a partir de esta simulación son fundamentales para optimizar el diseño y la operación del colector en la aplicación de agua caliente sanitaria.



**Figura 49.** Representación esquemática del termo colector solar parabólico y sus condiciones de borde.

### 6.2.1 Temperaturas del agua mediante Software ANSYS



**Figura 50.** Gráfica de datos de ANSYS Fluent: Azul) Malla 1.  
Naranja) Malla 2. Verde) Malla 3

La **Figura 50** muestra la simulación térmica del colector solar portátil en ANSYS Fluent durante 7200 segundos y se comparan tres mallas:

#### **Malla 1 (azul):**

Exhibe el aumento de temperatura más pronunciado. Inicia alrededor de 25 °C y alcanza aproximadamente 230 °C al final del período. Además, muestra una curva logarítmica, con un rápido aumento inicial que se desacelera gradualmente.

#### **Mallas 2 y 3 (naranja y verde):**

Presentan comportamientos casi idénticos, con curvas superpuestas, comienzan cerca de 25 °C y alcanzan alrededor de 80 °C al final del período.

Muestran un aumento más gradual y lineal en comparación con la Malla 1.

#### **Convergencia de malla:**

La notable diferencia entre la Malla 1 y las Mallas 2 y 3 sugiere que existen problemas de convergencia de malla.

Las Mallas 2 y 3, al ser casi idénticas, indican que la simulación ha alcanzado convergencia en estos niveles de refinamiento.

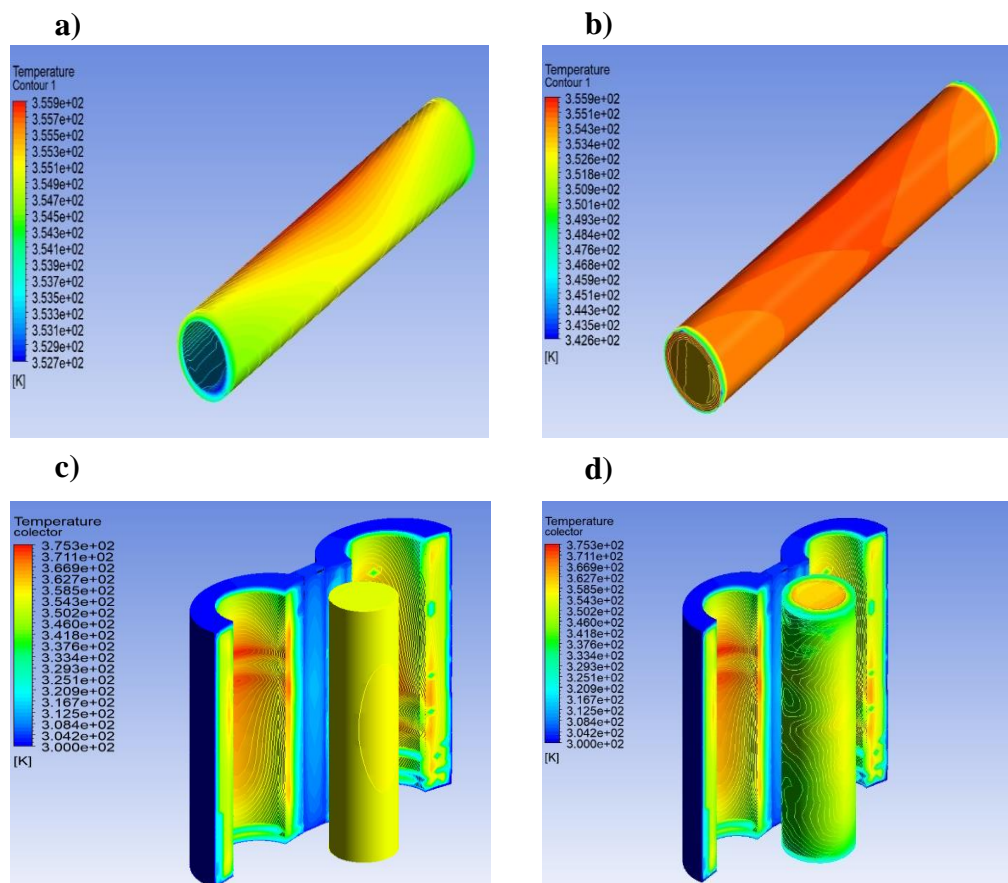
#### **Comportamiento térmico:**

Todas las mallas muestran un calentamiento continuo sin alcanzar un estado estacionario en el período simulado.

La Malla 1 podría estar sobrestimando la captación de calor, mientras que las Mallas 2 y 3 representan una simulación más realista del comportamiento térmico del colector solar.

### 6.2.2 Resultados de temperatura del agua con Malla 3 (0.005 m)

La implementación de la malla 3, caracterizada por un tamaño de elemento de 0.005 m, demostró ser óptima para la representación precisa de las características térmicas del colector solar. Esta configuración generó un modelo con 120,209 elementos y 127,468 nodos, lo cual permitió capturar con alta fidelidad tanto las propiedades geométricas como las físicas del colector. La densidad y distribución de estos elementos facilitaron una simulación más detallada de los gradientes térmicos y los patrones de flujo de calor a lo largo de la estructura del colector, mejorando significativamente la confiabilidad de los resultados obtenidos en comparación con mallas menos refinadas, ver **Anexo 4**.

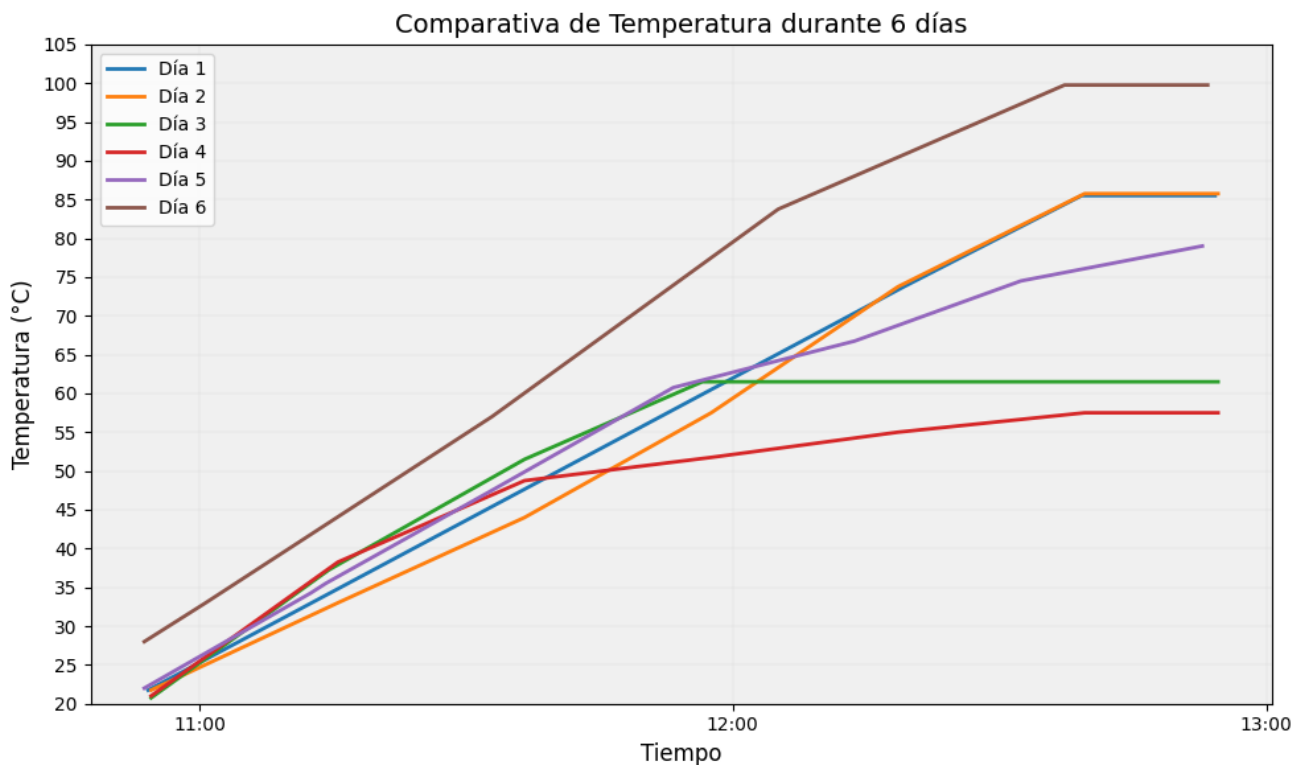


**Figura 51.** Comportamiento térmico de un sistema de colector parabólico portátil.

La **Figura 51** muestra el comportamiento térmico del colector parabólico portátil, representando diferentes componentes y sus temperaturas. En la primera imagen (a), la

temperatura del agua dentro del tubo alcanza valores máximos cercanos a 355.5 K, (82.35 °C), lo que indica una distribución de calor relativamente uniforme a lo largo del fluido. En la segunda imagen (b), se observa la interacción entre el agua y el tubo de cobre, donde la temperatura del cobre varía desde aproximadamente 342.6 K (69.45 °C) hasta 355.9 K (82.75 °C), mostrando un gradiente térmico que indica la transferencia de calor desde el cobre al agua. La tercera imagen (c) combina la temperatura del agua con la presencia de los paneles del colector, con temperaturas que oscilan entre 300 K (26.85 °C) y 375.3 K (102.15 °C) reflejando la eficiencia en la captación y retención de calor por parte del sistema. Finalmente, la cuarta imagen (d) representa la temperatura global del sistema, donde se destaca que el sistema completo mantiene un rango de temperatura que varía desde 26 °C a 100 °C, sugiriendo una adecuada transferencia y distribución térmica en todo el colector, lo que es crucial para su eficiencia en la obtención de agua caliente sanitaria.

### 6.2.3 Temperaturas del agua mediante método experimental.



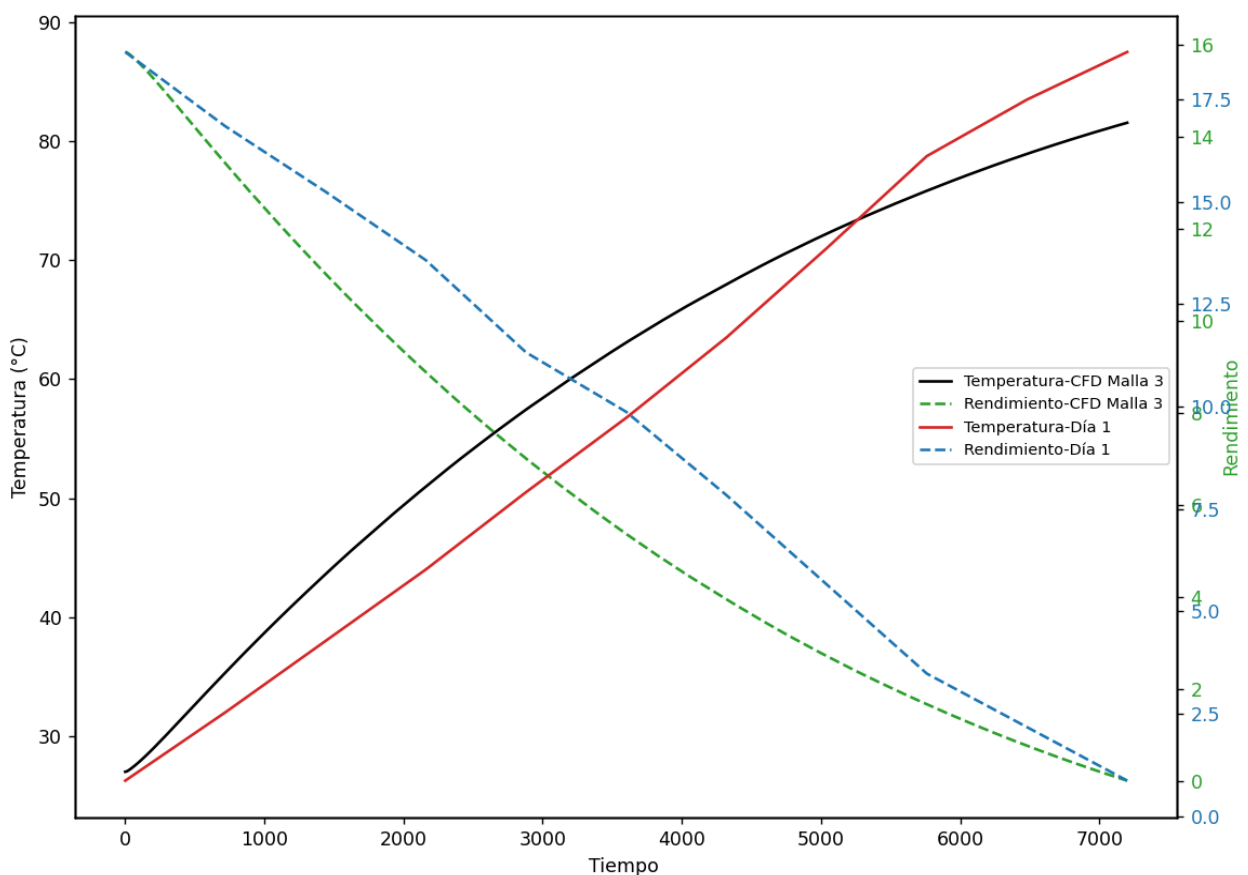
**Figura 52.** Curva de temperatura día 5.

La **Figura 52** presenta un análisis comparativo de la variación de temperatura del colector solar portátil durante seis días, abarcando un período de dos horas (11:00 a 13:00) cada día. El rango de temperatura observado va de 20 °C a 105 °C. Las curvas muestran diversas tendencias de calentamiento, reflejando la influencia de las condiciones climáticas en la

eficiencia del colector. El Día 6 alcanzó la temperatura más alta, superando los 100 °C, indicando condiciones óptimas de radiación solar. En contraste, el Día 3 mostró una estabilización temprana alrededor de 55 °C, sugiriendo una menor captación de energía solar. Los demás días exhibieron incrementos constantes pero variados en temperatura, posiblemente debido a diferentes niveles de nubosidad. Esta variabilidad destaca la sensibilidad del colector solar a las condiciones ambientales y su eficacia en diversos escenarios climáticos.

Esta representación es típica de un proceso de calentamiento controlado en un entorno experimental, demostrando un monitoreo preciso de la temperatura a lo largo del tiempo.

#### 6.2.4 Comparativa entre método experimental y Software ANSYS



**Figura 53.** Temperatura de agua, rendimiento vs Tiempo.

La **Figura 53** muestra una comparación entre la temperatura y el rendimiento del colector solar a lo largo del tiempo, considerando tanto los datos experimentales del Día 1 como los obtenidos mediante simulación. Se observa que, la temperatura en el Día 1 aumenta rápidamente al inicio, comenzando en 30 °C aproximadamente y alcanzando valores cercanos a 80 °C alrededor de los 6000 segundos, para luego estabilizarse cerca de los 90 °C. Mientras

tanto, en la simulación CFD Malla 3, la temperatura también inicia en 30 °C, pero se eleva de manera más gradual, estabilizándose cerca de 80 °C después de 7000 s. Por otro lado, el rendimiento en el Día 1 disminuye significativamente, comenzando en ~17.5 %, y descendiendo rápidamente hasta aproximadamente 5 % a los 7000 segundos, llegando casi a 0% al finalizar el análisis. En la malla 3, la caída del rendimiento es menos pronunciada, comenzando en ~10% y estabilizándose en ~2 % hacia los 7000 segundos, sugiriendo una eficiencia térmica más sostenida en el tiempo. Esto indica que la malla 3 proporciona una estimación más conservadora y más precisa del comportamiento térmico del sistema, en comparación con los datos experimentales

### 6.3 Evaluación del rendimiento del colector solar

#### 6.3.1 Rendimiento del colector.

Para la evaluación del rendimiento del colector solar parabólico se planteó analizar el calor útil del agua durante 12 ensayos (ver Anexo 7). Debido a las variaciones del clima y aplicando la normativa ASAE S580 se consideran 4 días soleados, es decir sin presencia de nubes. En los cuales se registró datos de temperatura inicial  $T_i$ , salida  $T_o$  y ambiente  $T_a$ , así como también la radiación solar como se indica en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.** Datos del calor útil durante experimentación.

Ensayo	Ambiente	Tiempo (h)		Radiación Promedio (W/m <sup>2</sup> )	Temperatura del Agua			Qu (W)
		Inicio	Fin		Ta (°C)	Ti(°C)	To(°C)	
1	Soleado	10:30	12:30	800	20	21	60	11.32
2	Soleado	14:00	16:00	1200	20	21	80	17.13
3	Soleado	10:30	12:30	850	21	20	75	15.97
4	Soleado	14:00	16:00	1000	21	21	90	20.03
<b>Promedio</b>				<b>962.5</b>	<b>20.5</b>	<b>20.75</b>	<b>76.25</b>	<b>16.11</b>

Para el cálculo del rendimiento del colector se tiene en cuenta los datos presentados en la **Tabla 9**, además se tiene presente algunas constantes como la masa del termo  $m=0.5g$ , calor específico del agua  $C_p=4.18 J/g °C$ , el área del colector solar  $A_c=0.045m^2$  las temperaturas del ingreso y salida del agua, la absorptividad del cobre  $\alpha = 0.8$ , y el calor absorbido; todos estos valores son utilizados para la obtención de la eficiencia del termo colector solar.

**Tabla 10.** Datos de ensayos: Rendimiento(  $\eta$ ) del colector.

Ensayo	Ambiente	Tiempo (h)		Radiación Promedio (W/m <sup>2</sup> )	Temperatura del Agua			Qu (W)	Rendimiento
		Inicio	Fin		Ta (°C)	Ti(°C)	To(°C)		
1	Soleado	10:30	12:30	800	20	21	60	11.32	39.31
2	Soleado	14:00	16:00	1200	20	21	80	17.13	39.64
3	Soleado	10:30	12:30	850	21	20	75	15.97	52.17
4	Soleado	14:00	16:00	1000	21	21	90	20.03	55.64
<b>Promedio</b>				<b>962.5</b>	<b>20.5</b>	<b>20.75</b>	<b>76.25</b>	<b>16.11</b>	<b>46.5</b>

En la **Tabla 10**, se obtuvo un calor útil promedio de 16, 11W, un máximo de 20,03 W y un mínimo 11,32 W, así mismo el rendimiento durante los ensayos un mínimo de 39,31 % y un máximo de 55,64 %. El rendimiento total del termo colector solar durante los ensayos es de 46,5 %.

Se realizó el cálculo de la potencia según la normativa ASAE S580, con la Ecuación (25) considerando las temperaturas de uno de los días soleados y teniendo en cuenta que la medición fue durante 5 min, por tanto:

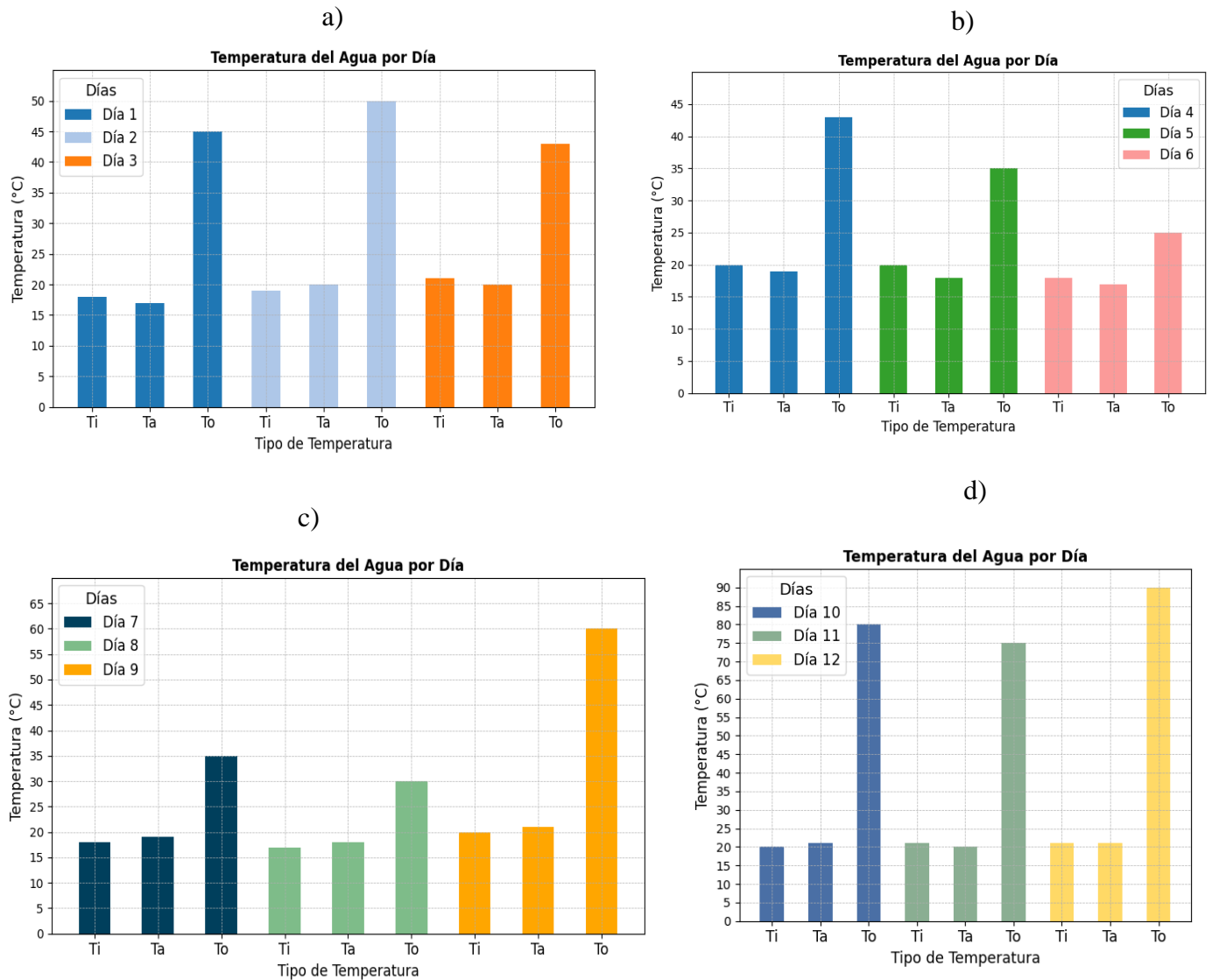
$$P_i = \frac{(90 - 21) \text{ °C} (500 \text{ g}) \cdot 4,18 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}{300}$$

$$P_i = 481.39 \text{ W}$$

La potencia obtenida de 481,39 W es considerablemente alta, lo que indica que el colector solar parabólico portátil tiene una capacidad significativa para transferir energía térmica al fluido (en este caso, agua). Este valor es consistente con la temperatura alcanzada de 90°C, lo que sugiere que el colector es eficiente para concentrar y aprovechar la energía solar, especialmente en condiciones de días soleados.

### 6.3.2 Gráficas de Temperaturas del sistema

La Figura 54 presenta la evolución de las temperaturas del agua durante un experimento de 12 días, mostrando las temperaturas iniciales (Ti), de salida (To) y ambiente (Ta).



**Figura 54.** Variación de temperatura por día: a) Día 1,2,3. b) Día 4,5,6. c) Día 7,8,9. d) Día 10,11,12

Las gráficas de barra representan los resultados de las temperaturas del sistema, los cuales son:

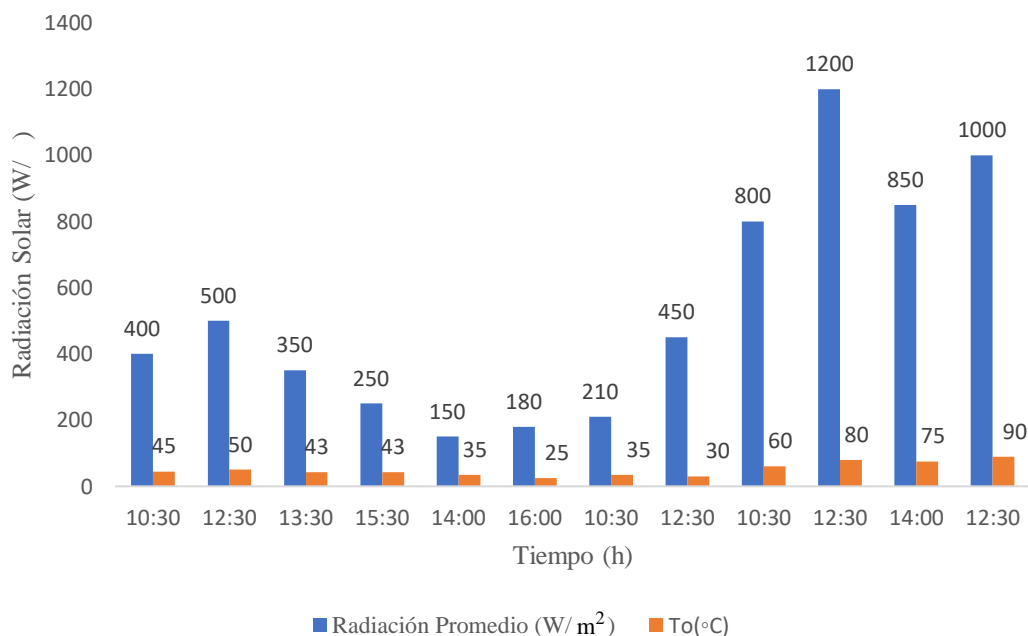
- Temperatura inicial (Ti) y ambiente (Ta) se mantuvieron relativamente estables entre 17 °C y 21 °C durante todo el experimento.
- La temperatura de salida (To) mostró variaciones significativas:  
 Días 1-3: Entre 43 °C y 50 °C  
 Días 4-6: Tendencia decreciente hasta 25 °C



- Días 7-12: Aumento dramático, alcanzando un máximo de 90 °C en el día 12
- El diferencial térmico ( $T_o - T_i$ ) osciló entre 7°C (día 6) y 65 °C (día 12), indicando una eficaz transferencia de calor al agua.
  - La influencia ambiental en  $T_i$  fue limitada, sugiriendo un buen aislamiento del sistema.
  - Las fluctuaciones en  $T_o$  indican variaciones en la eficiencia del sistema o cambios en las condiciones operativas, con una notable mejora en los últimos días del experimento.

Estos resultados sugieren una optimización progresiva del proceso de calentamiento del agua, con un rendimiento térmico particularmente elevado hacia el final del período experimental.

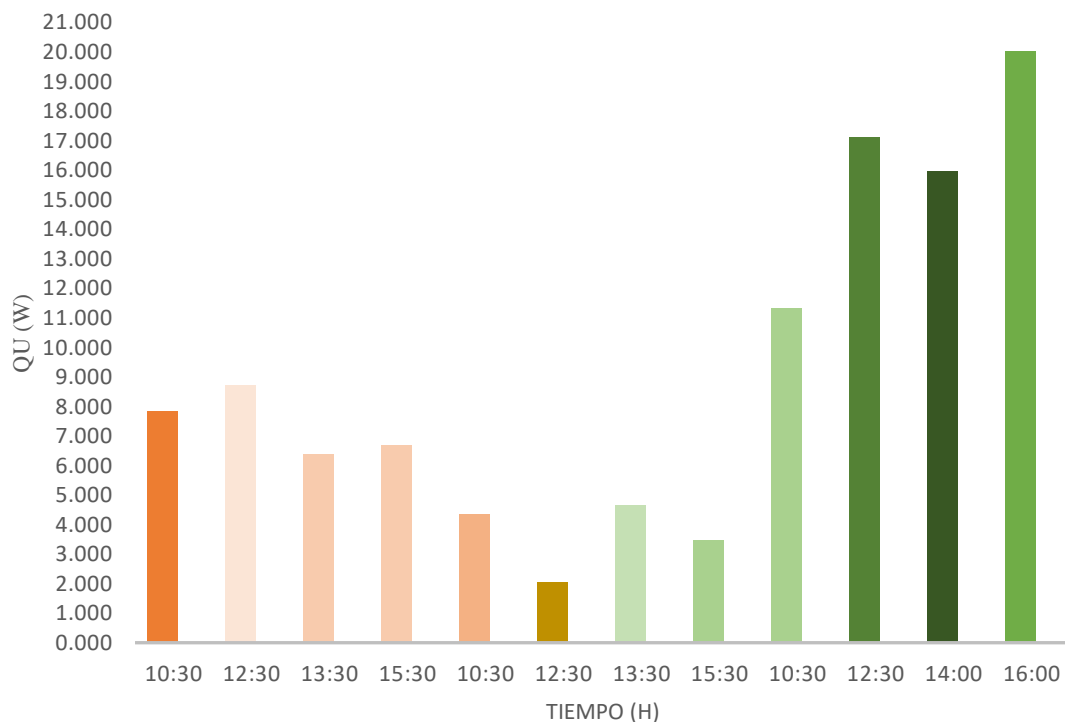
En la **Figura 55**, se observa la evolución de la temperatura de salida en función del tiempo y su relación con la radiación solar. La figura muestra que la temperatura de salida alcanza un máximo de 90 °C con una irradiancia de aproximadamente 1000 W/m<sup>2</sup>, alrededor de las 14:00 horas en un día soleado. Por otro lado, se registra un mínimo de 25 °C con una radiación de 180 W/m<sup>2</sup> en condiciones de lluvia o nubosidad.



**Figura 55.** Temperatura de salida vs radiación Solar.

### Grafica del calor útil durante 12 ensayos

El gráfico de barras de la **Figura 56**, ilustra el calor útil generado por el colector parabólico comercial portátil durante una serie de 12 ensayos diarios, realizados a lo largo de diferentes días. Cada barra representa el resultado específico de calor obtenido en un ensayo en particular, reflejando la variabilidad en la captación de energía solar en distintos momentos del día. Se observa que, aunque la generación de calor varía de un día a otro, hay una tendencia a un rendimiento térmico más elevado en los ensayos realizados en horas cercanas al mediodía, lo que sugiere que el colector aprovecha de manera más eficiente la radiación solar durante este período. Estos datos son cruciales para evaluar y optimizar el rendimiento del colector en la obtención de agua caliente sanitaria mediante energía solar.

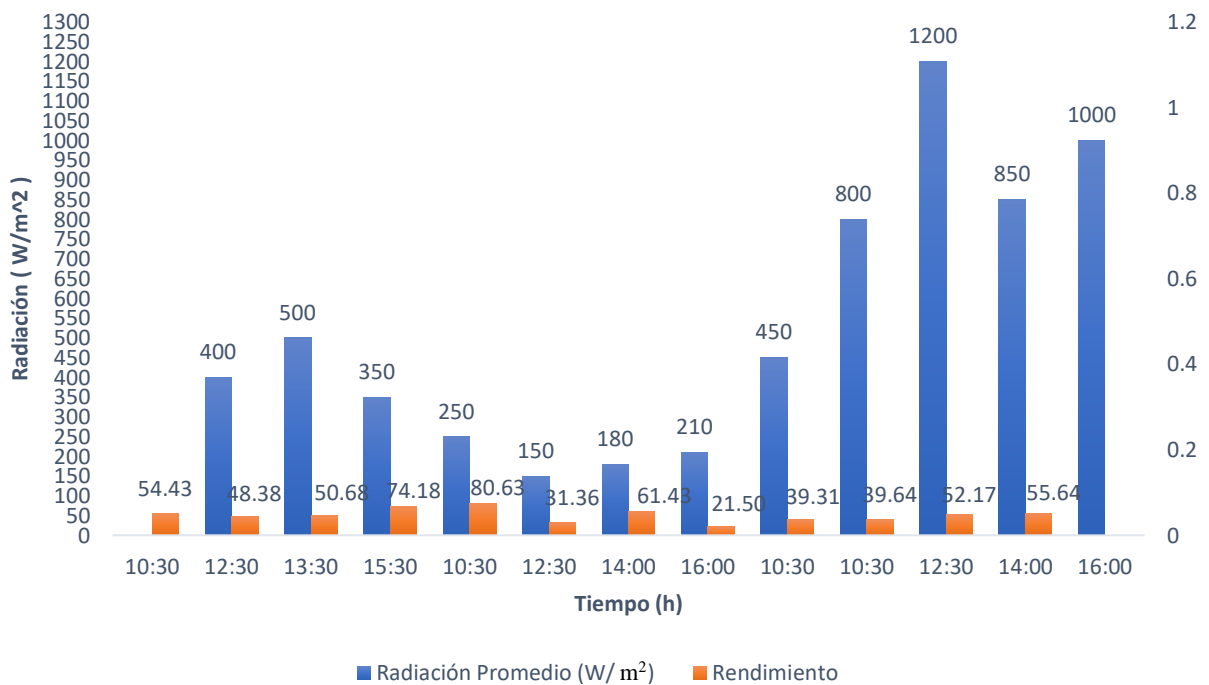


**Figura 56.** Representación de calor útil diariamente durante 12 ensayos.

### Grafica del rendimiento durante 12 ensayos

La **Figura 57** muestra la comparación de la radiación solar incidente con el rendimiento térmico de un colector parabólico comercial portátil durante una serie de ensayos diarios. Los resultados muestran que, en general, el rendimiento térmico es mayor durante los ensayos con radiación solar más intensa, los rendimientos más altos (80,63% y 74,18%) ocurren con radiaciones bajas (150 W/m<sup>2</sup> y 250 W/m<sup>2</sup> respectivamente), mientras que con radiaciones altas (1000-1200 W/m<sup>2</sup>) los rendimientos son menores (alrededor del 39-55%) como se observa

entre las 12:30 y las 16:00. Esto puede deberse a la inercia térmica del sistema, donde el colector acumula calor y continúa transfiriéndolo de manera eficiente incluso cuando la radiación disminuye, o a las condiciones ambientales específicas, como la temperatura ambiente o la eficiencia del colector en distintas condiciones operativas. Este comportamiento subraya la importancia de considerar no solo la radiación solar directa, sino también otros factores que influyen en el rendimiento global del colector para la obtención de agua caliente sanitaria.



**Figura 57.** Radiación vs Rendimiento durante 12 ensayos.

### 6.3.3 Métrica de error entre CFD y experimento.

Para comparar los resultados de un modelo CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) con datos experimentales, es común utilizar métricas de error que cuantifiquen la discrepancia entre las predicciones del modelo y las mediciones experimentales. En este caso se utiliza la métrica raíz del error cuadrático medio (RMSE).

La Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE, por sus siglas en inglés: Root Mean Squared Error) es una métrica común para evaluar el rendimiento de un modelo comparando los valores predichos o simulados con los valores observados (reales). Mide el promedio de las diferencias cuadráticas entre los valores reales y los valores predichos. Se calcula mediante:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

$y_i$  = son los valores experimentales.

$\hat{y}_i$  = son los valores predichos por el modelo CFD.

$\bar{y}$  = es la media de los valores experimentales.

$n$  = es el número de observaciones.

Se realizó utilizando Excel, obteniendo:

**Tabla 11.** Resultado de métrica de error entre CFD y experimento.

Métrica de Error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$
<b>1</b>	

La **Tabla 11** indica resultado de un RMSE de 1 en las simulaciones de temperatura indica que el modelo tiene un error promedio de 1 grado °C respecto a los valores reales. Esto significa que las predicciones realizadas por el modelo son razonablemente precisas, ya que la diferencia promedio entre las temperaturas simuladas y las observadas es pequeña, lo que sugiere un buen desempeño del modelo en términos de predicción de la temperatura.

## 7. Discusión

El análisis de colectores solares parabólicos en diversas investigaciones permitió comprender el principio básico del calentamiento del agua y calcular las energías involucradas en el sistema, incluyendo radiación, convección y conducción. Se logró cumplir el objetivo de obtener un balance energético para determinar las condiciones de operación del agua en el termo colector, el cual demostró ser un buen conductor de radiación, manteniendo una eficiencia considerable incluso en días nublados. No obstante, en estas condiciones, la temperatura de salida del agua fue baja, evidenciando la dependencia del sistema en la radiación solar directa.

Los resultados del balance térmico mostraron que, aunque el sistema gana calor por radiación, esto es contrarrestado por pérdidas térmicas a través de convección y radiación, resultando en una ligera pérdida neta de energía de 4,89 W. Este hallazgo subraya la necesidad de mejorar la retención de calor para aumentar la eficiencia del sistema, especialmente en días con baja radiación solar.

Para cumplir con la normativa ASAE S580 se usaron los días soleados porque de esta manera al no haber nubes, no hay cambio de radiación. El rendimiento térmico promedio del colector solar portátil fue del 46, 5% durante 4 días consecutivos, con 2 horas de operación diaria. Como se mencionó en los primeros 8 días, el clima nublado afectó el rendimiento, mientras que, en los últimos 4 días, con cielo despejado, se alcanzaron temperaturas de hasta 90 °C. Estos resultados confirman la eficiencia del colector, con variaciones según las condiciones climáticas. Al comparar con otros estudios, se observó que los modelos numéricos más precisos para colectores solares de placa plana presentaron errores del 4,3% al 4,7% frente a datos experimentales. Además, un estudio sobre colectores solares de polímero mostró una eficiencia 30% menor que los convencionales en condiciones normales de verano, alcanzando temperaturas superiores a 100 °C cuando la temperatura ambiente superó los 25 °C y la radiación solar excedió los 800 W/m<sup>2</sup>. Aunque estos estudios se centran en colectores diferentes, los datos experimentales proporcionan una base para evaluar la eficiencia de los colectores en diversas condiciones, destacando la importancia de la radiación solar, las pérdidas térmicas y la selección de materiales adecuados para el diseño de colectores solares eficientes.

Las gráficas de barra y de línea muestran que el colector solar parabólico mantuvo una temperatura ambiente estable entre 17 °C y 21 °C, mientras que la temperatura de salida varió significativamente: días 1-3 entre 43 °C y 50 °C, días 4-6 con tendencia decreciente hasta 25 °C, y días 7-12 alcanzando un máximo de 90°C en el día 12. El diferencial térmico ( $T_o - T_i$ ) osciló entre 7 °C (día 6) y 65 °C (día 12), indicando una eficaz transferencia de calor al

agua hacia el final del experimento. Estos resultados sugieren que el colector es eficiente, pero hay margen para optimizar su rendimiento bajo diferentes condiciones operativas.

El trabajo de Solano (2018) ofrece un punto de comparación interesante, ya que evaluó colectores de placa plana de cobre y aluminio, encontrando que el colector de cobre acanalado superaba consistentemente al de aluminio, con diferencias de temperatura de 4-5 °C y un 8-10% más de eficiencia en días soleados. En contraste, este estudio sobre un colector solar parabólico reveló una variación de temperatura más amplia, alcanzando hasta 90 °C en condiciones óptimas, con diferenciales térmicos de hasta 65 °C. Ambos estudios notaron fluctuaciones en el rendimiento según las condiciones climáticas, pero el colector parabólico mostró mayor sensibilidad y potencial para alcanzar temperaturas más altas.

Un hallazgo interesante fue que este colector mostró rendimientos térmicos más altos (hasta 80,63%) con radiaciones solares bajas, probablemente debido a la inercia térmica del sistema, lo que contrasta con los resultados de Solano, que mostraron un rendimiento más consistente a lo largo del día para los colectores de placa plana.

Estos resultados, junto con los de Solano, destacan la necesidad de un enfoque integral en la evaluación y optimización de colectores solares para la producción de agua caliente sanitaria. Futuros estudios podrían explorar más a fondo la interacción entre la geometría del colector, los materiales utilizados y las condiciones ambientales para desarrollar sistemas más eficientes y adaptables a diversas situaciones climáticas.

En el presente estudio, así como en el de Guzmán Shakay & Ramírez Criollo (2012), se evidenció que las condiciones climáticas, particularmente la radiación solar y los vientos, juegan un papel determinante en la eficiencia de los colectores solares. En el primer caso, el colector solar, aunque estructuralmente robusto, presentó limitaciones debido a la nubosidad, afectando la precisión de los sensores y el rendimiento térmico del sistema, que promedió una eficiencia de 14,76%. Por otro lado, en los ensayos realizados sobre el colector solar portátil, se observó una variabilidad significativa en el rendimiento, con un promedio de eficiencia de 55,29% y un máximo de 80,63%. Estos resultados son consistentes con la naturaleza de los sistemas solares, cuya eficiencia depende directamente de la radiación solar disponible y otros factores climáticos.

## 8. Conclusiones

En conclusión, el primer objetivo, que consiste en obtener las condiciones de operación óptimas del colector solar parabólico comercial, se logró mediante un balance térmico exhaustivo que identificó y cuantificó los flujos de calor dentro del sistema. Este análisis permitió determinar que el colector mantiene una alta eficiencia térmica, con pérdidas mínimas por conducción gracias a un adecuado aislamiento. Además, se encontró que la convección interna y externa, así como la radiación, juegan un papel significativo en el comportamiento térmico del sistema.

Se implementó un modelo numérico simplificado que describe el funcionamiento del tubo de vacío del colector solar parabólico comercial.

El modelo numérico simplificado se ha implementado con éxito utilizando ANSYS Fluent, lo cual se refleja en varios aspectos del proceso de simulación. La simulación incluyó la modelización de la transferencia de calor por radiación entre las superficies del colector, empleando el modelo de radiación Surface-to-Surface para capturar la interacción energética entre el tubo de vacío y las demás partes del sistema. La configuración del modelo consideró adecuadamente las propiedades térmicas del tubo de vacío y su interacción con el flujo de aire, así como las condiciones de contorno relevantes.

Además, se validaron los resultados del modelo con datos experimentales, mostrando una alta concordancia entre las temperaturas simuladas y las medidas reales. La evaluación de diferentes configuraciones de malla también contribuyó a confirmar la precisión del modelo. Estas acciones aseguraron que el modelo numérico simplificado proporciona una representación precisa y efectiva del funcionamiento del tubo de vacío del colector solar, cumpliendo así el objetivo de la tesis.

Se evaluó el rendimiento del colector comercial portátil para la obtención de agua caliente sanitaria mediante energía solar se logró de manera efectiva. La evaluación del rendimiento del colector solar se realizó con éxito mediante mediciones de radiación solar y temperaturas del agua, así como cálculos precisos de la energía solar captada y la energía entregada al agua caliente sanitaria. Los resultados muestran que el colector tiene una eficiencia promedio del 55,29% en 12 ensayos, y un 46,5% en 4 días basados en la normativa ASAE S580, con un rendimiento térmico específico de 72,58% en un caso particular. Estos resultados evidencian que el colector convierte de manera efectiva la energía solar en calor útil, aunque el rendimiento puede variar debido a factores ambientales. Esta evaluación proporciona una medida clara de la eficiencia del colector, cumpliendo con el objetivo de analizar su capacidad para calentar agua mediante energía solar.

## 9. Recomendaciones

Este estudio de tesis, abre un campo de oportunidades para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos.

Al realizar un balance térmico detallado, se generan conocimientos valiosos sobre las condiciones de operación óptimas del colector solar parabólico. Este enfoque puede motivar estudios adicionales que exploren la mejora en los materiales del colector, la optimización del diseño para diversas condiciones climáticas, y la integración de sistemas de almacenamiento de energía térmica. Además, la comprensión de las pérdidas térmicas y las ganancias de energía puede conducir a investigaciones en la eficiencia energética de otros dispositivos solares y su aplicación en diferentes sectores industriales.

La implementación de un modelo numérico simplificado para describir el funcionamiento del tubo de vacío abre la puerta a oportunidades de estudio en la mejora de modelos predictivos más complejos. Investigaciones futuras podrían centrarse en la integración de este modelo con otras tecnologías de simulación, como la dinámica de fluidos computacional (CFD) para optimizar el rendimiento del colector en diferentes escenarios. Además, la adaptabilidad de este modelo a otras configuraciones de colectores solares podría ser un tema interesante para estudios comparativos y el desarrollo de nuevas tecnologías solares.

La evaluación del rendimiento del colector portátil no solo proporciona una medida de su eficiencia, sino que también abre oportunidades para explorar su aplicación en diferentes contextos, como áreas rurales o regiones con acceso limitado a la red eléctrica. Este estudio puede inspirar investigaciones sobre la adaptación de la tecnología a distintos tamaños y configuraciones de colectores, su integración en sistemas híbridos que combinan energía solar con otras fuentes de energía renovable, y su potencial para escalar en soluciones comerciales más grandes.



## 10. Bibliografía

- ASAE, (2003)., The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems  
2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659, USA ph. 269-429-0300, fax 269-429-3852,  
hq@asae.org.
- Álvarez, O., Maldonado, J., Montaña, T., & Tenechagua . (Julio de 2014). Análisis Climático  
de la Velocidad del Viento en la Región Sur del Ecuador. *Análisis Climático de la  
Velocidad del Viento en la Región Sur del Ecuador*, 35(3). Loja, Loja, Ecuador: Revista  
Politécnica.
- Arguello Bravo, D. A., & Velasco Villavicencio, F. D. (2015). *ESPE*. Obtenido de  
<http://repositorio.espe.edu.ec>
- Badran, A., Yousef, I., Noureddine, J., Al Hamad, R., Halawa, H., & Hassouneh, H. (2010).  
Portable solar cooker and water heater. *ELSEVIER*, 51, 1605-1609.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.09.038>
- Begazo, J. B. (2010). *PIRHUA*. Obtenido de  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1401/IME\\_151.pdf;sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1401/IME_151.pdf;sequence=1)
- Boxler, M. (2009). *INTERIOR*. Obtenido de Infusiones de plantas aromáticas y medicinales:  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-  
inta\\_infusiones\\_de\\_plantas\\_aromticas\\_y\\_medicinales.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_infusiones_de_plantas_aromticas_y_medicinales.pdf)
- Cañar Yaguana , D. A. (5 de septiembre de 2023). *Repositorio Gigital-Universidad Nacional  
de Loja*. Obtenido de Trabajos de Titulación AEIRNNR:  
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/9271?offset=60>
- Ceen. (7 de Junio de 2015). *Eficiencia Energética*. Obtenido de  
<https://certificacionenergetica.info/tipos-de-colectores-solares/>
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Tranferencia de calor y masa*. México, D.F.: y The McGraw-  
Hill Companies, Inc.
- Chipugsi Calero, F. J. (Agosto de 2014). *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido  
de “Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de energía producida por un  
colector solar plano”:  
[file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Downloads/Articulo\\_Cientifico\\_Disenio\\_e\\_implemen  
tac.pdf](file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Downloads/Articulo_Cientifico_Disenio_e_implementacion.pdf)
- Connor, N. (27 de 09 de 2019). *Thermal Engineering*. Obtenido de ¿Qué es la termodinámica?:  
<https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-termodinamica-definicion/>
- Contreras, M. d. (14 de mayo de 2021). *Modelado de un colector termo solar mediante BGNN*.  
Obtenido de

file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Desktop/DOCUMENTOS%20PARA%20ANTEPROYECTO/Art%C3%ADculos/ETM-MJBC-2021.pdf

- Cora, P., Saravia, L., & Cadena, C. (s.f). *INENCO, UNSa –CONICET*. Obtenido de COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/lahv/soft/opte/htdocs/modules/descargas/archivos/COLECTORES%20SOLARES%20PARA%20AGUA%20CALIENTE.pdf>
- Cuadra, V. (19 de octubre de 2018). Construcción y análisis de un concentrador solar parabólico. *Ciencia, Tecnología e Innovación*. Mendoza, Cuyo, Argentina.
- Duffie, J., & Beckman, W. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: Clearance.
- Figueroa, F. (31 de julio de 2021). *Termómetro Infrarrojo*. Obtenido de SENSORICX.: <https://sensoricx.com/mediciones/termometro-infrarrojo/>
- Guanoluisa, S. R. (2015). *Repositorio UTA*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10353/1/Tesis%20I.M.%20259%20-%20Guanoluisa%20Tenorio%20Santiago%20Rub%c3%a9n.pdf>
- Guzmán Shakay, A. N., & Ramírez Criollo, J. M. (Septiembre de 2012). *Repositorio Digital-Universidad Nacional de Loja*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/9271?offset=60>
- Guzmán Shakay, A., & Ramírez Criollo, J. (2012). *Universidad Nacional de Loja*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/>
- IEA, T. R. (2012). Obtenido de <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-solar-heating-and-cooling>
- Incropera, F. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor (4ª ed.)*. Pearson Educación.
- Islam, Hasanuzzaman, & Rahim. (2015). *Universidad Nacional de la Plata*. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Desktop/DOCUMENTOS%20PARA%20ANTEPROYECTO/Art%C3%ADculos/ETM-MJBC-2021.pdf
- Luisyep. (4 de diciembre de 2021). *Ingeniería Básica*. Obtenido de Las Ecuaciones de Navier-Stokes: <https://ingenieriabasica.es/las-ecuaciones-de-navier-stokes/>
- Mentado Islas, Diana; Elizalde Carrizo, Sandra; Jiménez Islas, Donaji; Azuara Jiménez, Jorge. (Diciembre de 2016). Simulación de un Concentrador Solar de Canal Parabólico mediante el Software. *Revista de Prototipos Tecnológicos*, 2(6), 68-75. Recuperado el 2023, de [https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Prototipos\\_Tecnologicos/vol2num6/Revista\\_de\\_Prototipos\\_Tecnologicos\\_V2\\_N6.pdf#page=75](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Prototipos_Tecnologicos/vol2num6/Revista_de_Prototipos_Tecnologicos_V2_N6.pdf#page=75)

- Misael, S. (2015). *Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE INFUSIONES Y BEBIDAS DE HORCHATA AGROECOLÓGICA A ESTABLECERSE EN EL CANTÓN NABÓN: <file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Desktop/DOCUMENTOS%20PARA%20ANTEPROYECTO/Art%C3%ADculos/UPS-CT004682%20INFUISIONES.pdf>
- RAMÍREZ CRIOLLO., J. M., & NAYANTS GUZMÁN, S. A. (2012). *Universidad Nacional de Loja*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12282>
- Saini, M. &. (2022). *Solar Thermal Receivers—A Review*. doi:311-325. 10.1007/978-981-16-8341-1\_25.
- Salcedo, V. (2011). *INFLUENCIA DEL ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA DE VACIO EN TUBOS SOBRE LA EFICIENCIA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA USANDO LA ENERGIA SOLAR*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1168/1/Tesis%20I.%20M.%20133%20-%20Salcedo%20Cobo%20Victor%20Manuel.pdf>
- Sharma, A. (2017). *Introduction to Computational Fluid Dynamics*. London: Athena Academic Ltd.
- Solano, H. E. (2018). *Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/16969>
- Solano, H. E. (2018). *Repositorio Universidad Nacional de Loja*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/20391>
- Thermal Engineering*. (01 de enero de 2020). Obtenido de ¿Qué es la resistencia térmica? Resistividad térmica: definición: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-resistencia-termica-resistividad-termica-definicion/>
- Toapanta, E. P. (11 de noviembre de 2021). *Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi*. Obtenido de Análisis comparativo del rendimiento térmico de un colector solar de placa plana con la variación de altura en la superficie colectora.: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8197/1/MUTC-001095.pdf>
- Urquiza Acosta, G. I., Ortega Abril, F. X., & Soriano Idrovo, G. E. (23 de Agosto de 2017). *Semantic Scholar*. Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/Dise%C3%B1o-de-dos-bancos-de-prueba-para-colectores-de-Acosta-Abril/5e558ea52c430aa221fda10b3d2cad33a4136128/figure/0>

- Xuejing , Z., Rui , S., Yaran , W., Shijun , Y., Huan , Z., Junbao , X., & Shen , W. (2019). Mathematical modeling and performance analysis of an integrated solar heating and cooling system driven by parabolic trough collector and double-effect absorption chiller. *ELSEVIER*, 1-14.
- Badran, A. A., Yousef, I. A., Joudeh, N. K., Hamad, R. A., Halawa, H., & Hassouneh, H. K. (2010). Portable solar cooker and water heater. *Energy Conversion and Management*, 51(8), 1605-1609. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.09.038>
- Barnes, B. T., Forsythe, W. E., & Adams, E. Q. (1947). The Total Emissivity of Various Materials at 100–500°C. *JOSA*, 37(10), 804-807. <https://doi.org/10.1364/JOSA.37.000804>
- Cetina-Quiñones, A. J., Bassam, A., Hernández-Chan, G., Benítez, J. H., Reyes, I. H., & Chávez, D. L. (2017). Modelación térmica de un colector solar de canal parabólico mediante el método de elementos finitos. *Ingeniería*, 21(1), 1-12.
- Jiyuan, T., Yeoh, G. H., & Chaoqun, L. (2018). *Computational Fluid Dynamics*. (Third Edition). Elsevier Ltd.;  
file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Downloads/Documents/BIBLIOGRAFIA%20NUEVA%20EVALUACION%20T%20C%20RMICA/2018\_Computational%20fluid%20dynamics%20\_%20a%20practical%20approach%20(%20PDFDrive%20)\_Jiyuan%20y%20otros.pdf.  
<https://www.elsevier.com/books-and-journals>
- Payback, S. (2017). Calor solar para la industria: México. Sudáfrica: Debbie Smit (Quba Design and Motion).
- Prieto, R. (2013, enero 4). ¿Cómo funciona un equipo compacto de energía solar térmica con sistema de funcionamiento por termosifón? - Energías renovables y limpias: solar, eólica, geotérmica, hidráulica, mareomotriz,... *¿Cómo funciona un equipo compacto de energía solar térmica con sistema de funcionamiento por termosifón? - Energías renovables y limpias.* <https://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2013/01/funcionamiento-equipo-solar-termico-con-termosifon.html>
- Ramos, J., & Remírez, R. (2020). *Fórmulas, tablas y figuras de transferencia de calor*.
- Tao, Y. B., & He, Y. L. (2010). Numerical study on coupled fluid flow and heat transfer process in parabolic trough solar collector tube. *Solar Energy*, 84(10), 1863-1872. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.07.012>
- Tecnologías – Calor Solar*. (s. f.). Recuperado 25 de mayo de 2023, de <https://calorsolar.mx/tecnologias/>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Propiedades el aluminio a 25 °C

Nombre	Vidrio
Fase en STP	sólido
Densidad	2500 kg / m <sup>3</sup>
Resistencia a la tracción	7 MPa
Límite de elasticidad	N / A
Módulo de Young	80 GPa
Dureza Brinell	1550 BHN
Punto de fusión	1700 ° C
Conductividad térmica	1,05 W / mK
Capacidad calorífica	840 J / g K
Precio	5 \$ / kg

## Anexo 2. Propiedades termo físicas del agua

Colección de tablas, gráficas y ecuaciones de Transmisión de Calor

Tabla 4.6: Propiedades termofísicas del agua saturada

T (°C)	P <sub>sat</sub> (kPa)	Δh <sub>lg</sub> (kJ/kg)	ρ <sub>l</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	v <sub>g</sub> (m <sup>3</sup> /kg)	c <sub>p,l</sub> (kJ/kg·K)	c <sub>p,g</sub> (kJ/kg·K)	μ <sub>l</sub> · 10 <sup>6</sup> (N·s/m <sup>2</sup> )	μ <sub>g</sub> · 10 <sup>6</sup> (N·s/m <sup>2</sup> )	k <sub>l</sub> · 10 <sup>3</sup> (W/m·K)	k <sub>g</sub> · 10 <sup>3</sup> (W/m·K)	Pr <sub>l</sub>	Pr <sub>g</sub>	β <sub>l</sub> · 10 <sup>3</sup> (1/k)
0.001	0.611	2501	1000.0	206.1	4.229	1.868	1793	9.216	561	17.07	13.52	1.008	-0.08063
5	0.873	2489	1000.0	147.0	4.200	1.871	1519	9.336	570.5	17.34	11.18	1.007	0.01103
10	1.228	2477	999.7	106.3	4.188	1.874	1307	9.461	580.0	17.62	9.435	1.006	0.08719
15	1.706	2465	999.1	77.90	4.184	1.878	1138	9.592	589.3	17.92	8.081	1.005	0.1522
20	2.339	2453	998.2	57.78	4.183	1.882	1002	9.727	598.4	18.23	7.006	1.004	0.2089
25	3.169	2442	997.0	43.36	4.183	1.887	890.5	9.867	607.1	18.55	6.136	1.004	0.2593
30	4.246	2430	995.6	32.90	4.183	1.892	797.7	10.01	615.4	18.88	5.422	1.003	0.3050
35	5.627	2418	994.0	25.22	4.183	1.898	719.6	10.16	623.3	19.23	4.830	1.002	0.3469
40	7.381	2406	992.2	19.53	4.182	1.904	653.3	10.31	630.6	19.60	4.333	1.002	0.3859
45	9.590	2394	990.2	15.26	4.182	1.912	596.3	10.46	637.3	19.97	3.913	1.001	0.4225
50	12.34	2382	988.0	12.04	4.182	1.919	547.1	10.62	643.5	20.36	3.555	1.001	0.4572
55	15.75	2370	985.7	9.573	4.182	1.928	504.2	10.77	649.2	20.77	3.248	1.000	0.4903
60	19.93	2358	983.2	7.674	4.183	1.937	466.6	10.93	654.3	21.18	2.983	0.9998	0.5222
65	25.02	2345	980.5	6.200	4.184	1.947	433.4	11.10	659.0	21.62	2.752	0.9995	0.5529
70	31.18	2333	977.7	5.045	4.187	1.958	404.0	11.26	663.1	22.07	2.551	0.9992	0.5827
75	38.56	2321	974.8	4.133	4.190	1.970	377.9	11.43	666.8	22.53	2.375	0.9990	0.6118
80	47.37	2308	971.8	3.409	4.194	1.983	354.5	11.59	670.0	23.01	2.219	0.9989	0.6403
85	57.81	2295	968.6	2.829	4.199	1.996	333.5	11.76	672.8	23.50	2.081	0.9988	0.6682
90	70.12	2283	965.3	2.362	4.204	2.011	314.5	11.93	675.3	24.02	1.958	0.9989	0.6958
95	84.53	2270	961.9	1.983	4.210	2.027	297.4	12.10	677.4	24.55	1.849	0.9990	0.7230
100	101.3	2257	958.4	1.674	4.217	2.044	281.9	12.27	679.1	25.09	1.750	0.9993	0.7501
110	143.2	2230	951.0	1.211	4.232	2.082	254.8	12.61	681.7	26.24	1.582	1.001	0.8038
120	198.5	2202	943.2	0.8922	4.249	2.125	232.1	12.96	683.2	27.46	1.444	1.003	0.8576
130	270.0	2174	934.9	0.6687	4.267	2.175	213.0	13.30	683.7	28.76	1.329	1.006	0.9122
140	361.2	2145	926.2	0.5090	4.288	2.233	196.6	13.65	683.3	30.13	1.234	1.011	0.9683
150	475.7	2114	917.1	0.3929	4.312	2.298	182.5	13.99	682.1	31.58	1.154	1.018	1.026
160	617.7	2082	907.5	0.3071	4.338	2.373	170.3	14.34	680.0	33.11	1.086	1.028	1.087
170	791.5	2049	897.5	0.2428	4.368	2.459	159.6	14.68	677.1	34.72	1.030	1.040	1.152
180	1002	2015	887.1	0.1940	4.403	2.557	150.2	15.03	673.4	36.41	0.9820	1.055	1.221
190	1254	1978	876.1	0.1565	4.443	2.669	141.8	15.37	668.8	38.18	0.9421	1.074	1.296
200	1554	1940	864.7	0.1273	4.489	2.796	134.4	15.71	663.4	40.03	0.9092	1.097	1.377
220	2318	1858	840.3	0.08616	4.604	3.107	121.6	16.41	649.8	43.99	0.8613	1.159	1.567
240	3345	1766	813.5	0.05974	4.759	3.516	110.9	17.12	632.0	48.31	0.8351	1.246	1.807
260	4689	1662	783.8	0.04219	4.973	4.064	101.7	17.88	609.2	53.10	0.8304	1.368	2.126
280	6413	1543	750.5	0.03016	5.278	4.828	93.56	18.70	580.3	58.53	0.8511	1.542	2.576
300	8584	1405	712.4	0.02167	5.744	5.967	85.95	19.65	543.6	64.98	0.9083	1.804	3.266
320	11279	1238	667.4	0.01548	6.542	7.870	78.46	20.84	496.7	73.25	1.033	2.240	4.470
340	14594	1028	610.8	0.01079	8.237	11.79	70.45	22.55	435.6	85.24	1.332	3.118	7.116
360	18655	721	528.1	0.00696	14.680	25.28	60.39	25.71	351.0	107.5	2.525	6.046	17.110

Fuente: S.A. Klein y F.L. Alvarado, "Engineering Equation Solver Software (EES)", Academia Versión 6.271 (20-07-2001).

### Anexo 3. Programación mediante Arduino. termocupla tipo K.

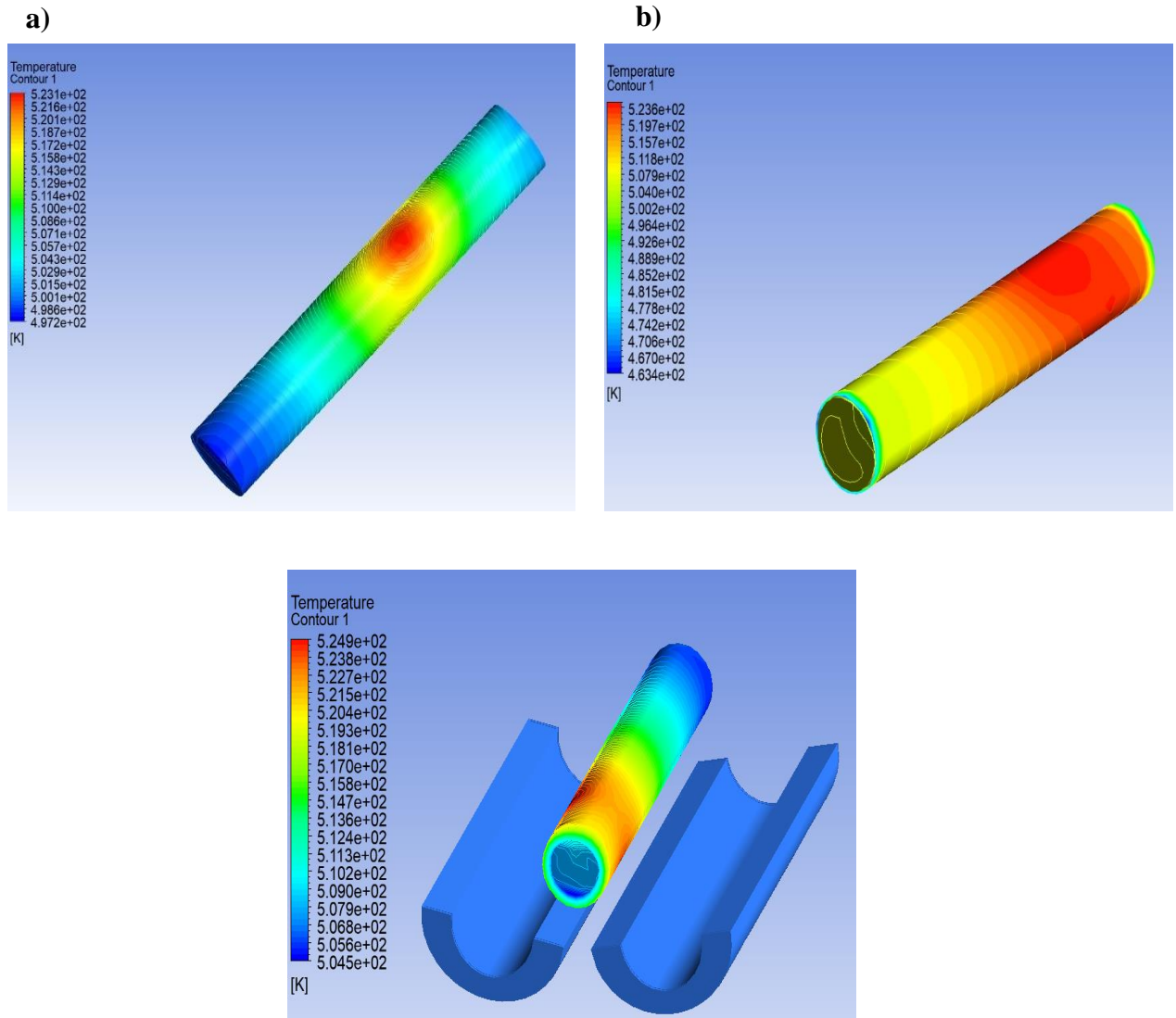
```
#include <virtuabotixRTC.h>
#include<SD.h>
#include<max6675.h>
MAX6675 temp(7,6,5);
File archivo;
virtuabotixRTC reloj(8,9,10);
float temperatura=0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Iniciando SD...");
  if (!SD.begin(4)){
    Serial.println("No se puede iniciar");
  }
  Serial.println("Inicio correcto");

  //second, minute, hour, dayOfMonth,
month, year//
  // put your setup code here, to run
once:
//reloj.setDS1302Time(0,21,10,4,9,8,2024);
  }

void loop() {
  reloj.updateTime();
  temperatura=temp.readCelsius();
  archivo=SD.open("datos.txt",FILE_WR
ITE);
  Serial.print(reloj.dayofmonth);
  Serial.print("-");
  Serial.print(reloj.month);
  Serial.print("-");
  Serial.print(reloj.year);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(reloj.hours);
  Serial.print(":");
  Serial.print(reloj.minutes);
  Serial.print(":");
  Serial.print(reloj.seconds);
  Serial.print(" temp:");
  Serial.println(temperatura);
  if(archivo) {
```

```
archivo.print(reloj.dayofmonth);
  archivo.print("-");
  archivo.print(reloj.month);
  archivo.print("-");
  archivo.print(reloj.year);
  archivo.print(" ");
  archivo.print(reloj.hours);
  archivo.print(":");
  archivo.print(reloj.minutes);
  archivo.print(":");
  archivo.print(reloj.seconds);
  archivo.print(" temp:");
  archivo.println(temperatura );
  archivo.close();
  delay(10000);
}
```

**Anexo 4. Temperaturas del colector con mallas diferentes.  
Temperatura del agua con malla 1 (0.008 m)**



**Figura 58.** Comportamiento térmico de un sistema de colector parabólico portátil con malla 0.008 m



## Temperatura de agua con malla 2 (0.006 m)

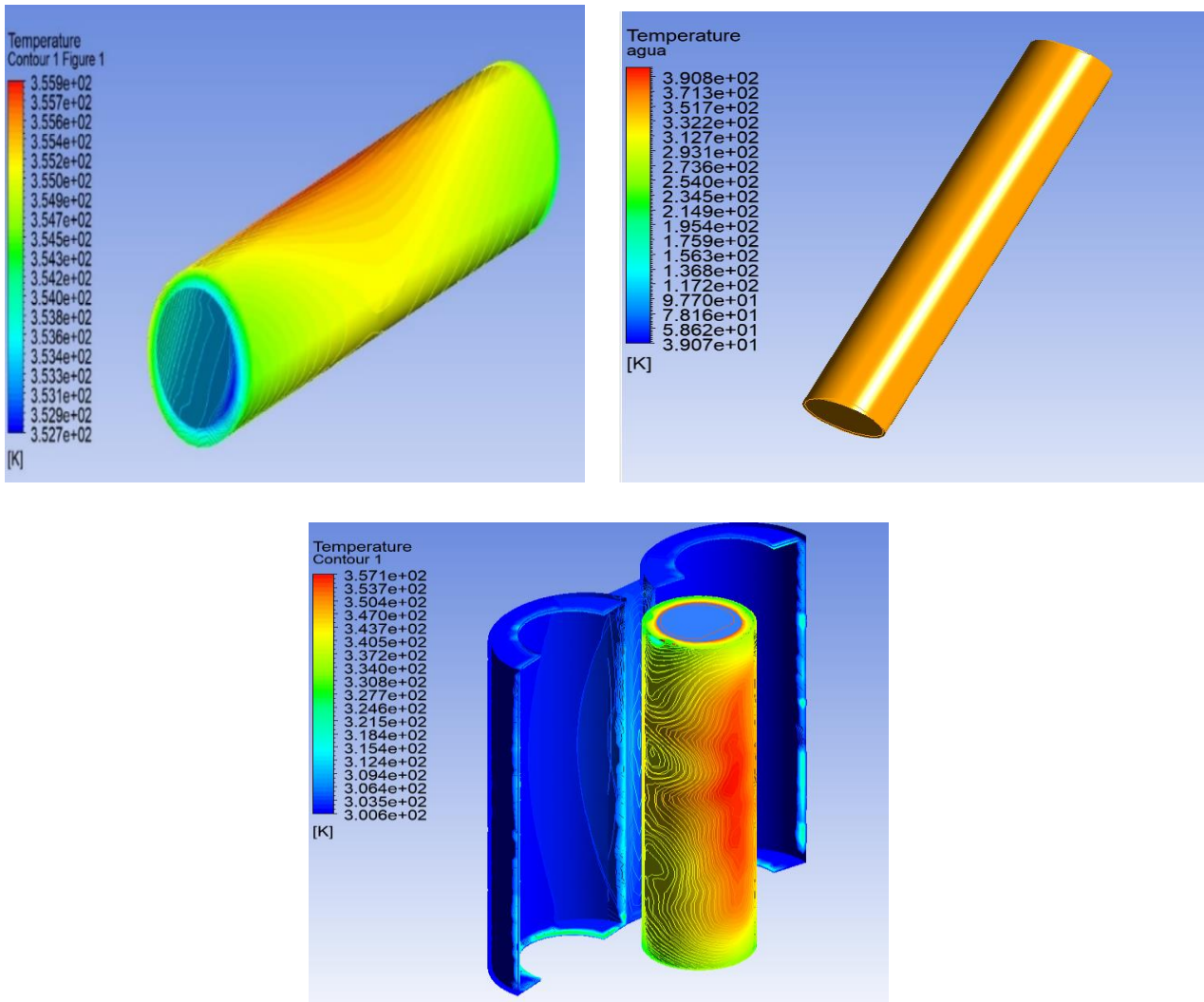


Figura 59. Comportamiento térmico de un sistema de colector parabólico portátil con malla 0.006 m

## Anexo 5. Datos de termocupla

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Datos Mediante Termocupla tipo K							
Día	AM			Día	AM		
	Tiempo	Temperatura (°C)	Temperatura (K)		Tiempo	Temperatura (°C)	Temperatura (K)
1	10:54:15	21.75	294.75	2	10:54:35	21.75	294.75
	10:54:25	21.75	294.75		10:54:45	21.75	294.75
	10:54:35	21.75	294.75		10:54:55	22	295
	10:54:45	21.75	294.75		10:55:05	21.75	294.75
	10:54:55	22	295		10:55:15	21.25	294.25
	10:55:05	21.75	294.75		10:55:26	21.5	294.5
	10:55:15	21.25	294.25		10:55:36	21.75	294.75
	10:55:26	21.5	294.5		10:55:46	21.75	294.75
	10:55:36	21.75	294.75		10:55:56	22	295
	10:55:46	21.75	294.75		10:56:06	21.75	294.75
	10:55:56	22	295		10:56:16	22	295
	10:56:06	21.75	294.75		10:56:26	21.75	294.75
	10:56:16	22	295		10:56:36	22	295
	10:56:26	21.75	294.75		10:56:46	21.5	294.5
	10:56:36	22	295		10:56:56	22.25	295.25
	10:56:46	21.5	294.5		10:57:06	22.25	295.25
	10:56:56	22.25	295.25		10:57:16	22.25	295.25
	10:57:06	22.25	295.25		10:57:26	22.25	295.25
	10:57:16	22.25	295.25		10:57:37	22.5	295.5
	10:57:26	22.25	295.25		10:57:47	22.5	295.5
	10:57:37	22.5	295.5		10:57:57	22.5	295.5
	10:57:47	22.5	295.5		10:58:07	22.75	295.75
	10:57:57	22.5	295.5		10:58:17	23	296
	10:58:07	22.75	295.75		10:58:27	23	296
	10:58:17	23	296		10:58:37	22.5	295.5
	10:58:27	23	296		10:58:47	23.25	296.25
10:58:37	22.5	295.5	10:58:57	23.75	296.75		
10:58:47	23.25	296.25	10:59:07	23.5	296.5		
10:58:57	23.75	296.75	10:59:17	23.5	296.5		
10:59:07	23.5	296.5	10:59:27	23.75	296.75		

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

10:59:17	23.5	296.5
10:59:27	23.75	296.75
10:59:38	24	297
10:59:48	23.5	296.5
10:59:58	23.5	296.5
11:00:08	23.75	296.75
11:00:18	24	297
11:00:28	23.75	296.75
11:00:38	24.25	297.25
11:00:48	24	297
11:00:58	24.5	297.5
11:01:08	24.5	297.5
11:01:18	24.5	297.5
11:01:28	24.25	297.25
11:01:38	24.75	297.75
11:01:49	24.75	297.75
11:01:59	25	298
11:02:09	24.75	297.75
11:02:19	25	298
11:02:29	25	298
11:02:39	25.25	298.25
11:02:49	25.25	298.25
11:02:59	25.25	298.25
11:03:09	25	298
11:03:19	25.25	298.25
11:03:29	25.25	298.25
11:03:39	25.75	298.75
11:03:50	25.25	298.25
11:04:00	26	299
11:04:10	26.25	299.25
11:04:20	26.25	299.25
11:04:30	26	299
11:04:40	26.25	299.25
11:04:50	26.5	299.5
11:05:00	26.25	299.25

10:59:38	24	297
10:59:48	23.5	296.5
10:59:58	23.5	296.5
11:00:08	23.75	296.75
11:00:18	24	297
11:00:28	23.75	296.75
11:00:38	24.25	297.25
11:00:48	24	297
11:00:58	24.5	297.5
11:01:08	24.5	297.5
11:01:18	24.5	297.5
11:01:28	24.25	297.25
11:01:38	24.75	297.75
11:01:49	24.75	297.75
11:01:59	25	298
11:02:09	24.75	297.75
11:02:19	25	298
11:02:29	25	298
11:02:39	25.25	298.25
11:02:49	25.25	298.25
11:02:59	25.25	298.25
11:03:09	25	298
11:03:19	25.25	298.25
11:03:29	25.25	298.25
11:03:39	25.75	298.75
11:03:50	25.25	298.25
11:04:00	26	299
11:04:10	26.25	299.25
11:04:20	26.25	299.25
11:04:30	26	299
11:04:40	26.25	299.25
11:04:50	26.5	299.5
11:05:00	26.25	299.25
11:05:10	26	299
11:05:20	26.25	299.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:05:10	26	299
11:05:20	26.25	299.25
11:05:30	26.75	299.75
11:05:40	26.75	299.75
11:05:50	27	300
11:06:01	26.75	299.75
11:06:11	26.75	299.75
11:06:21	27	300
11:06:31	27.25	300.25
11:06:41	27.5	300.5
11:06:51	27.75	300.75
11:07:01	27.75	300.75
11:07:11	27.75	300.75
11:07:21	27.75	300.75
11:07:31	28	301
11:07:41	27.75	300.75
11:07:51	28	301
11:08:02	27.75	300.75
11:08:12	28	301
11:08:22	28.25	301.25
11:08:32	28.5	301.5
11:08:42	28.5	301.5
11:08:52	28.25	301.25
11:09:02	28.5	301.5
11:09:12	28.25	301.25
11:09:22	28.75	301.75
11:09:32	28.75	301.75
11:09:42	29	302
11:09:52	29	302
11:10:02	29	302
11:10:13	29.25	302.25
11:10:23	29.5	302.5
11:10:33	29.25	302.25
11:10:43	29.75	302.75
11:10:53	29.75	302.75

11:05:30	26.75	299.75
11:05:40	26.75	299.75
11:05:50	27	300
11:06:01	26.75	299.75
11:06:11	26.75	299.75
11:06:21	27	300
11:06:31	27.25	300.25
11:06:41	27.5	300.5
11:06:51	27.75	300.75
11:07:01	27.75	300.75
11:07:11	27.75	300.75
11:07:21	27.75	300.75
11:07:31	28	301
11:07:41	27.75	300.75
11:07:51	28	301
11:08:02	27.75	300.75
11:08:12	28	301
11:08:22	28.25	301.25
11:08:32	28.5	301.5
11:08:42	28.5	301.5
11:08:52	28.25	301.25
11:09:02	28.5	301.5
11:09:12	28.25	301.25
11:09:22	28.75	301.75
11:09:32	28.75	301.75
11:09:42	29	302
11:09:52	29	302
11:10:02	29	302
11:10:13	29.25	302.25
11:10:23	29.5	302.5
11:10:33	29.25	302.25
11:10:43	29.75	302.75
11:10:53	29.75	302.75
11:11:03	29.75	302.75
11:11:13	30	303

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:11:03	29.75	302.75
11:11:13	30	303
11:11:23	29.75	302.75
11:11:33	30.25	303.25
11:11:43	30.25	303.25
11:11:53	30.5	303.5
11:12:03	30.75	303.75
11:12:13	30.75	303.75
11:12:24	30.75	303.75
11:12:34	30.75	303.75
11:12:44	30.75	303.75
11:12:54	31	304
11:13:04	31	304
11:13:14	31.5	304.5
11:13:24	31.25	304.25
11:13:34	31.75	304.75
11:13:44	32	305
11:13:54	31.75	304.75
11:14:04	31.5	304.5
11:14:14	32	305
11:14:25	32.5	305.5
11:14:35	32.5	305.5
11:14:45	32	305
11:14:55	33	306
11:15:05	32.75	305.75
11:15:15	32.5	305.5
11:15:25	33.25	306.25
11:15:35	33	306
11:15:45	32.75	305.75
11:15:55	33.25	306.25
11:16:05	32.75	305.75
11:16:15	33.5	306.5
11:16:25	33	306
11:16:36	33.5	306.5
11:16:46	33.75	306.75

11:11:23	29.75	302.75
11:11:33	30.25	303.25
11:11:43	30.25	303.25
11:11:53	30.5	303.5
11:12:03	30.75	303.75
11:12:13	30.75	303.75
11:12:24	30.75	303.75
11:12:34	30.75	303.75
11:12:44	30.75	303.75
11:12:54	31	304
11:13:04	31	304
11:13:14	31.5	304.5
11:13:24	31.25	304.25
11:13:34	31.75	304.75
11:13:44	32	305
11:13:54	31.75	304.75
11:14:04	31.5	304.5
11:14:14	32	305
11:14:25	32.5	305.5
11:14:35	32.5	305.5
11:14:45	32	305
11:14:55	33	306
11:15:05	32.75	305.75
11:15:15	32.5	305.5
11:15:25	33.25	306.25
11:15:35	33	306
11:15:45	32.75	305.75
11:15:55	33.25	306.25
11:16:05	32.75	305.75
11:16:15	33.5	306.5
11:16:25	33	306
11:16:36	33.5	306.5
11:16:46	33.75	306.75
11:17:06	33.25	306.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:16:56	33.75	306.75
11:17:06	33.25	306.25
11:17:16	33.75	306.75
11:17:26	34	307
11:17:36	33.5	306.5
11:17:46	34.5	307.5
11:17:56	34.25	307.25
11:18:06	34.25	307.25
11:18:16	34.5	307.5
11:18:26	35	308
11:18:37	34.75	307.75
11:18:47	35	308
11:18:57	35.25	308.25
11:19:07	35.25	308.25
11:19:17	35.25	308.25
11:19:27	35.25	308.25
11:19:37	36	309
11:19:47	35.75	308.75
11:19:57	36	309
11:20:07	35.5	308.5
11:20:17	36.75	309.75
11:20:27	36.25	309.25
11:20:37	36.5	309.5
11:20:48	36.5	309.5
11:20:58	36.5	309.5
11:21:08	37.25	310.25
11:21:18	37.25	310.25
11:21:28	37	310
11:21:38	37.5	310.5
11:21:48	37	310
11:21:58	37.5	310.5
11:22:08	37.5	310.5
11:22:18	37	310
11:22:28	37.25	310.25
11:22:38	37.25	310.25

11:17:16	33.75	306.75
11:17:26	34	307
11:17:36	33.5	306.5
11:17:46	34.5	307.5
11:17:56	34.25	307.25
11:18:06	34.25	307.25
11:18:16	34.5	307.5
11:18:26	35	308
11:18:37	34.75	307.75
11:18:47	35	308
11:18:57	35.25	308.25
11:19:07	35.25	308.25
11:19:17	35.25	308.25
11:19:27	35.25	308.25
11:19:37	36	309
11:19:47	35.75	308.75
11:19:57	36	309
11:20:07	35.5	308.5
11:20:17	36.75	309.75
11:20:27	36.25	309.25
11:20:37	36.5	309.5
11:20:48	36.5	309.5
11:20:58	36.5	309.5
11:21:08	37.25	310.25
11:21:18	37.25	310.25
11:21:28	37	310
11:21:38	37.5	310.5
11:21:48	37	310
11:21:58	37.5	310.5
11:22:08	37.5	310.5
11:22:18	37	310
11:22:28	37.25	310.25
11:22:38	37.25	310.25
11:22:49	37.5	310.5
11:22:59	37.25	310.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:22:49	37.5	310.5
11:22:59	37.25	310.25
11:23:09	37.5	310.5
11:23:19	37.75	310.75
11:23:29	37.25	310.25
11:23:39	37.75	310.75
11:23:49	37.75	310.75
11:23:59	37.5	310.5
11:24:09	37.5	310.5
11:24:19	38	311
11:24:29	38	311
11:24:39	37.75	310.75
11:24:49	38.5	311.5
11:25:00	38	311
11:25:10	38.5	311.5
11:25:20	38.75	311.75
11:25:30	38.5	311.5
11:25:40	39	312
11:25:50	39	312
11:26:00	39.25	312.25
11:26:10	39.75	312.75
11:26:20	39.75	312.75
11:26:30	39.5	312.5
11:26:40	39.25	312.25
11:26:50	39.75	312.75
11:27:01	40	313
11:27:11	39.75	312.75
11:27:21	39.75	312.75
11:27:31	39.5	312.5
11:27:41	40	313
11:27:51	40.25	313.25
11:28:01	40	313
11:28:11	40.5	313.5
11:28:21	40.25	313.25
11:28:31	40.75	313.75

11:23:09	37.5	310.5
11:23:19	37.75	310.75
11:23:29	37.25	310.25
11:23:39	37.75	310.75
11:23:49	37.75	310.75
11:23:59	37.5	310.5
11:24:09	37.5	310.5
11:24:19	38	311
11:24:29	38	311
11:24:39	37.75	310.75
11:24:49	38.5	311.5
11:25:00	38	311
11:25:10	38.5	311.5
11:25:20	38.75	311.75
11:25:30	38.5	311.5
11:25:40	39	312
11:25:50	39	312
11:26:00	39.25	312.25
11:26:10	39.75	312.75
11:26:20	39.75	312.75
11:26:30	39.5	312.5
11:26:40	39.25	312.25
11:26:50	39.75	312.75
11:27:01	40	313
11:27:11	39.75	312.75
11:27:21	39.75	312.75
11:27:31	39.5	312.5
11:27:41	40	313
11:27:51	40.25	313.25
11:28:01	40	313
11:28:11	40.5	313.5
11:28:21	40.25	313.25
11:28:31	40.75	313.75
11:28:41	40	313
11:28:51	40.5	313.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:28:41	40	313
11:28:51	40.5	313.5
11:29:01	40.75	313.75
11:29:12	40.5	313.5
11:29:22	40.75	313.75
11:29:32	40.75	313.75
11:29:42	40.75	313.75
11:29:52	40.75	313.75
11:30:02	40.75	313.75
11:30:12	41.5	314.5
11:30:22	41.5	314.5
11:30:32	41.5	314.5
11:30:42	41.5	314.5
11:30:52	41.25	314.25
11:31:02	41.5	314.5
11:31:13	41.25	314.25
11:31:23	41.75	314.75
11:31:33	41.5	314.5
11:31:43	42	315
11:31:53	41.75	314.75
11:32:03	41.75	314.75
11:32:13	41.75	314.75
11:32:23	42	315
11:32:33	42.25	315.25
11:32:43	42.5	315.5
11:32:53	42	315
11:33:03	42.75	315.75
11:33:13	42.5	315.5
11:33:24	43	316
11:33:34	43	316
11:33:44	43.25	316.25
11:33:54	43.5	316.5
11:34:04	43.5	316.5
11:34:14	43.25	316.25
11:34:24	44	317

11:29:01	40.75	313.75
11:29:12	40.5	313.5
11:29:22	40.75	313.75
11:29:32	40.75	313.75
11:29:42	40.75	313.75
11:29:52	40.75	313.75
11:30:02	40.75	313.75
11:30:12	41.5	314.5
11:30:22	41.5	314.5
11:30:32	41.5	314.5
11:30:42	41.5	314.5
11:30:52	41.25	314.25
11:31:02	41.5	314.5
11:31:13	41.25	314.25
11:31:23	41.75	314.75
11:31:33	41.5	314.5
11:31:43	42	315
11:31:53	41.75	314.75
11:32:03	41.75	314.75
11:32:13	41.75	314.75
11:32:23	42	315
11:32:33	42.25	315.25
11:32:43	42.5	315.5
11:32:53	42	315
11:33:03	42.75	315.75
11:33:13	42.5	315.5
11:33:24	43	316
11:33:34	43	316
11:33:44	43.25	316.25
11:33:54	43.5	316.5
11:34:04	43.5	316.5
11:34:14	43.25	316.25
11:34:24	44	317
11:34:34	43.75	316.75
11:34:44	43.75	316.75



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:34:34	43.75	316.75
11:34:44	43.75	316.75
11:34:54	44.25	317.25
11:35:04	44.25	317.25
11:35:14	44.5	317.5
11:35:25	44.25	317.25
11:35:35	44	317
11:35:45	44	317
11:35:55	44.5	317.5
11:36:05	44.25	317.25
11:36:15	44.5	317.5
11:36:25	44.25	317.25
11:36:35	44	317
11:36:45	44.75	317.75
11:36:55	44.5	317.5
11:37:05	44.75	317.75
11:37:15	45.25	318.25
11:37:25	45.5	318.5
11:37:36	45.5	318.5
11:37:46	45.75	318.75
11:37:56	45.75	318.75
11:38:06	46.25	319.25
11:38:16	45.75	318.75
11:38:26	45.75	318.75
11:38:36	46.5	319.5
11:38:46	46.5	319.5
11:38:56	47	320
11:39:06	46.5	319.5
11:39:16	47	320
11:39:26	46.75	319.75
11:39:37	47.5	320.5
11:39:47	47.25	320.25
11:39:57	47.75	320.75
11:40:07	47.5	320.5
11:40:17	47.75	320.75

11:34:54	44.25	317.25
11:35:04	44.25	317.25
11:35:14	44.5	317.5
11:35:25	44.25	317.25
11:35:35	44	317
11:35:45	44	317
11:35:55	44.5	317.5
11:36:05	44.25	317.25
11:36:15	44.5	317.5
11:36:25	44.25	317.25
11:36:35	44	317
11:36:45	44.75	317.75
11:36:55	44.5	317.5
11:37:05	44.75	317.75
11:37:15	45.25	318.25
11:37:25	45.5	318.5
11:37:36	45.5	318.5
11:37:46	45.75	318.75
11:37:56	45.75	318.75
11:38:06	46.25	319.25
11:38:16	45.75	318.75
11:38:26	45.75	318.75
11:38:36	46.5	319.5
11:38:46	46.5	319.5
11:38:56	47	320
11:39:06	46.5	319.5
11:39:16	47	320
11:39:26	46.75	319.75
11:39:37	47.5	320.5
11:39:47	47.25	320.25
11:39:57	47.75	320.75
11:40:07	47.5	320.5
11:40:17	47.75	320.75
11:40:27	47.5	320.5
11:40:37	47.75	320.75

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:40:27	47.5	320.5
11:40:37	47.75	320.75
11:40:47	48	321
11:40:57	48.25	321.25
11:41:07	48.75	321.75
11:41:17	48.25	321.25
11:41:27	49	322
11:41:37	49.25	322.25
11:41:48	48.5	321.5
11:41:58	49	322
11:42:08	49.25	322.25
11:42:18	49.5	322.5
11:42:28	49.25	322.25
11:42:38	49.5	322.5
11:42:48	49.5	322.5
11:42:58	49.75	322.75
11:43:08	50	323
11:43:18	50	323
11:43:28	50.75	323.75
11:43:38	50.75	323.75
11:43:49	50.75	323.75
11:43:59	50.5	323.5
11:44:09	50.25	323.25
11:44:19	50.75	323.75
11:44:29	50.5	323.5
11:44:39	51.5	324.5
11:44:49	51.75	324.75
11:44:59	51.75	324.75
11:45:09	52	325
11:45:19	52.25	325.25
11:45:29	52.25	325.25
11:45:39	52	325
11:45:49	52	325
11:46:00	52.25	325.25
11:46:10	52.25	325.25

11:40:47	48	321
11:40:57	48.25	321.25
11:41:07	48.75	321.75
11:41:17	48.25	321.25
11:41:27	49	322
11:41:37	49.25	322.25
11:41:48	48.5	321.5
11:41:58	49	322
11:42:08	49.25	322.25
11:42:18	49.5	322.5
11:42:28	49.25	322.25
11:42:38	49.5	322.5
11:42:48	49.5	322.5
11:42:58	49.75	322.75
11:43:08	50	323
11:43:18	50	323
11:43:28	50.75	323.75
11:43:38	50.75	323.75
11:43:49	50.75	323.75
11:43:59	50.5	323.5
11:44:09	50.25	323.25
11:44:19	50.75	323.75
11:44:29	50.5	323.5
11:44:39	51.5	324.5
11:44:49	51.75	324.75
11:44:59	51.75	324.75
11:45:09	52	325
11:45:19	52.25	325.25
11:45:29	52.25	325.25
11:45:39	52	325
11:45:49	52	325
11:46:00	52.25	325.25
11:46:10	52.25	325.25
11:46:20	52.5	325.5
11:46:30	52.25	325.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:46:20	52.5	325.5
11:46:30	52.25	325.25
11:46:40	52.75	325.75
11:46:50	53	326
11:47:00	53	326
11:47:10	53	326
11:47:20	53.25	326.25
11:47:30	53.25	326.25
11:47:40	53	326
11:47:50	53.5	326.5
11:48:01	53.5	326.5
11:48:11	53.75	326.75
11:48:21	53.25	326.25
11:48:31	53.5	326.5
11:48:41	53.75	326.75
11:48:51	54	327
11:49:01	53.5	326.5
11:49:11	54.25	327.25
11:49:21	54	327
11:49:31	54.5	327.5
11:49:41	54.5	327.5
11:49:51	54.5	327.5
11:50:01	54.25	327.25
11:50:12	55	328
11:50:22	55	328
11:50:32	55	328
11:50:42	55.25	328.25
11:50:52	55.5	328.5
11:51:02	55.5	328.5
11:51:12	55.75	328.75
11:51:22	55.25	328.25
11:51:32	55.5	328.5
11:51:42	56	329
11:51:52	56	329
11:52:02	56	329

11:46:40	52.75	325.75
11:46:50	53	326
11:47:00	53	326
11:47:10	53	326
11:47:20	53.25	326.25
11:47:30	53.25	326.25
11:47:40	53	326
11:47:50	53.5	326.5
11:48:01	53.5	326.5
11:48:11	53.75	326.75
11:48:21	53.25	326.25
11:48:31	53.5	326.5
11:48:41	53.75	326.75
11:48:51	54	327
11:49:01	53.5	326.5
11:49:11	54.25	327.25
11:49:21	54	327
11:49:31	54.5	327.5
11:49:41	54.5	327.5
11:49:51	54.5	327.5
11:50:01	54.25	327.25
11:50:12	55	328
11:50:22	55	328
11:50:32	55	328
11:50:42	55.25	328.25
11:50:52	55.5	328.5
11:51:02	55.5	328.5
11:51:12	55.75	328.75
11:51:22	55.25	328.25
11:51:32	55.5	328.5
11:51:42	56	329
11:51:52	56	329
11:52:02	56	329
11:52:13	56.5	329.5
11:52:23	56.25	329.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:52:13	56.5	329.5
11:52:23	56.25	329.25
11:52:33	56.5	329.5
11:52:43	56	329
11:52:53	56.5	329.5
11:53:03	56.5	329.5
11:53:13	56.75	329.75
11:53:23	56.25	329.25
11:53:33	56	329
11:53:43	56.75	329.75
11:53:53	56.5	329.5
11:54:03	56.25	329.25
11:54:13	56.75	329.75
11:54:24	56.5	329.5
11:54:34	56.75	329.75
11:54:44	56.5	329.5
11:54:54	56.5	329.5
11:55:04	56.5	329.5
11:55:14	56.75	329.75
11:55:24	56.5	329.5
11:55:34	56.75	329.75
11:55:44	57	330
11:55:54	56.25	329.25
11:56:04	56	329
11:56:14	56.25	329.25
11:56:25	57	330
11:56:35	56.75	329.75
11:56:45	57.25	330.25
11:56:55	56.75	329.75
11:57:05	57.25	330.25
11:57:15	57.5	330.5
11:57:25	57.25	330.25
11:57:35	57.5	330.5
11:57:45	57.75	330.75
11:57:55	58	331

11:52:33	56.5	329.5
11:52:43	56	329
11:52:53	56.5	329.5
11:53:03	56.5	329.5
11:53:13	56.75	329.75
11:53:23	56.25	329.25
11:53:33	56	329
11:53:43	56.75	329.75
11:53:53	56.5	329.5
11:54:03	56.25	329.25
11:54:13	56.75	329.75
11:54:24	56.5	329.5
11:54:34	56.75	329.75
11:54:44	56.5	329.5
11:54:54	56.5	329.5
11:55:04	56.5	329.5
11:55:14	56.75	329.75
11:55:24	56.5	329.5
11:55:34	56.75	329.75
11:55:44	57	330
11:55:54	56.25	329.25
11:56:04	56	329
11:56:14	56.25	329.25
11:56:25	57	330
11:56:35	56.75	329.75
11:56:45	57.25	330.25
11:56:55	56.75	329.75
11:57:05	57.25	330.25
11:57:15	57.5	330.5
11:57:25	57.25	330.25
11:57:35	57.5	330.5
11:57:45	57.75	330.75
11:57:55	58	331
11:58:05	58.25	331.25
11:58:15	58.75	331.75

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:58:05	58.25	331.25
11:58:15	58.75	331.75
11:58:25	59	332
11:58:36	58.75	331.75
11:58:46	59	332
11:58:56	59.75	332.75
11:59:06	59.25	332.25
11:59:16	59.5	332.5
11:59:26	59.5	332.5
11:59:36	60	333
11:59:46	59.75	332.75
11:59:56	60	333
12:00:06	59.75	332.75
12:00:16	60	333
12:00:26	60.25	333.25
12:00:37	60.5	333.5
12:00:47	60.75	333.75
12:00:57	61.25	334.25
12:01:07	61	334
12:01:17	61.25	334.25
12:01:27	61.75	334.75
12:01:37	61.75	334.75
12:01:47	62.25	335.25
12:01:57	62.5	335.5
12:02:07	62.25	335.25
12:02:17	62.5	335.5
12:02:27	62.5	335.5
12:02:38	62.75	335.75
12:02:48	62.75	335.75
12:02:58	62.75	335.75
12:03:08	62.75	335.75
12:03:18	63	336
12:03:28	62.75	335.75
12:03:38	63.5	336.5
12:03:48	63.5	336.5

11:58:25	59	332
11:58:36	58.75	331.75
11:58:46	59	332
11:58:56	59.75	332.75
11:59:06	59.25	332.25
11:59:16	59.5	332.5
11:59:26	59.5	332.5
11:59:36	60	333
11:59:46	59.75	332.75
11:59:56	60	333
12:00:06	59.75	332.75
12:00:16	60	333
12:00:26	60.25	333.25
12:00:37	60.5	333.5
12:00:47	60.75	333.75
12:00:57	61.25	334.25
12:01:07	61	334
12:01:17	61.25	334.25
12:01:27	61.75	334.75
12:01:37	61.75	334.75
12:01:47	62.25	335.25
12:01:57	62.5	335.5
12:02:07	62.25	335.25
12:02:17	62.5	335.5
12:02:27	62.5	335.5
12:02:38	62.75	335.75
12:02:48	62.75	335.75
12:02:58	62.75	335.75
12:03:08	62.75	335.75
12:03:18	63	336
12:03:28	62.75	335.75
12:03:38	63.5	336.5
12:03:48	63.5	336.5
12:03:58	63.5	336.5
12:04:08	63.25	336.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:03:58	63.5	336.5
12:04:08	63.25	336.25
12:04:18	63	336
12:04:28	63	336
12:04:38	63.5	336.5
12:04:49	63.5	336.5
12:04:59	63.75	336.75
12:05:09	63.25	336.25
12:05:19	63.5	336.5
12:05:29	64.25	337.25
12:05:39	63.75	336.75
12:05:49	64.25	337.25
12:05:59	64	337
12:06:09	64.5	337.5
12:06:19	64	337
12:06:29	64.25	337.25
12:06:39	65	338
12:06:50	64.5	337.5
12:07:00	65	338
12:07:10	65	338
12:07:20	65.5	338.5
12:07:30	65.75	338.75
12:07:40	65.25	338.25
12:07:50	65.5	338.5
12:08:00	65.5	338.5
12:08:10	65.25	338.25
12:08:20	66.25	339.25
12:08:30	66	339
12:08:40	66.5	339.5
12:08:50	66.5	339.5
12:09:01	66.25	339.25
12:09:11	66.75	339.75
12:09:21	66.75	339.75
12:09:31	67	340
12:09:41	67.25	340.25

12:04:18	63	336
12:04:28	63	336
12:04:38	63.5	336.5
12:04:49	63.5	336.5
12:04:59	63.75	336.75
12:05:09	63.25	336.25
12:05:19	63.5	336.5
12:05:29	64.25	337.25
12:05:39	63.75	336.75
12:05:49	64.25	337.25
12:05:59	64	337
12:06:09	64.5	337.5
12:06:19	64	337
12:06:29	64.25	337.25
12:06:39	65	338
12:06:50	64.5	337.5
12:07:00	65	338
12:07:10	65	338
12:07:20	65.5	338.5
12:07:30	65.75	338.75
12:07:40	65.25	338.25
12:07:50	65.5	338.5
12:08:00	65.5	338.5
12:08:10	65.25	338.25
12:08:20	66.25	339.25
12:08:30	66	339
12:08:40	66.5	339.5
12:08:50	66.5	339.5
12:09:01	66.25	339.25
12:09:11	66.75	339.75
12:09:21	66.75	339.75
12:09:31	67	340
12:09:41	67.25	340.25
12:09:51	66.25	339.25
12:10:01	66.75	339.75

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:09:51	66.25	339.25
12:10:01	66.75	339.75
12:10:11	67.25	340.25
12:10:21	67.5	340.5
12:10:31	67.5	340.5
12:10:41	67.5	340.5
12:10:51	67.75	340.75
12:11:02	67.75	340.75
12:11:12	67.75	340.75
12:11:22	68.25	341.25
12:11:32	68.25	341.25
12:11:42	68.5	341.5
12:11:52	68.5	341.5
12:12:02	68.25	341.25
12:12:12	68.75	341.75
12:12:22	68.5	341.5
12:12:32	68.75	341.75
12:12:42	68.75	341.75
12:12:52	69.25	342.25
12:13:02	69.75	342.75
12:13:13	69.75	342.75
12:13:23	70	343
12:13:33	69.75	342.75
12:13:43	70.5	343.5
12:13:53	70	343
12:14:03	70.5	343.5
12:14:13	70.75	343.75
12:14:23	70.5	343.5
12:14:33	71	344
12:14:43	71	344
12:14:53	71	344
12:15:03	71	344
12:15:14	71	344
12:15:24	71.5	344.5
12:15:34	71.25	344.25

12:10:11	67.25	340.25
12:10:21	67.5	340.5
12:10:31	67.5	340.5
12:10:41	67.5	340.5
12:10:51	67.75	340.75
12:11:02	67.75	340.75
12:11:12	67.75	340.75
12:11:22	68.25	341.25
12:11:32	68.25	341.25
12:11:42	68.5	341.5
12:11:52	68.5	341.5
12:12:02	68.25	341.25
12:12:12	68.75	341.75
12:12:22	68.5	341.5
12:12:32	68.75	341.75
12:12:42	68.75	341.75
12:12:52	69.25	342.25
12:13:02	69.75	342.75
12:13:13	69.75	342.75
12:13:23	70	343
12:13:33	69.75	342.75
12:13:43	70.5	343.5
12:13:53	70	343
12:14:03	70.5	343.5
12:14:13	70.75	343.75
12:14:23	70.5	343.5
12:14:33	71	344
12:14:43	71	344
12:14:53	71	344
12:15:03	71	344
12:15:14	71	344
12:15:24	71.5	344.5
12:15:34	71.25	344.25
12:15:44	71.5	344.5
12:15:54	71.25	344.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:15:44	71.5	344.5
12:15:54	71.25	344.25
12:16:04	71.5	344.5
12:16:14	72.25	345.25
12:16:24	72	345
12:16:34	72.25	345.25
12:16:44	72.5	345.5
12:16:54	72.25	345.25
12:17:04	72.75	345.75
12:17:15	72.75	345.75
12:17:25	72.75	345.75
12:17:35	72.75	345.75
12:17:45	72.75	345.75
12:17:55	73.25	346.25
12:18:05	73.5	346.5
12:18:15	73.25	346.25
12:18:25	73.5	346.5
12:18:35	73.75	346.75
12:18:45	73.75	346.75
12:18:55	73.75	346.75
12:19:05	73.75	346.75
12:19:15	73.75	346.75
12:19:26	74	347
12:19:36	74.75	347.75
12:19:46	74.5	347.5
12:19:56	74.5	347.5
12:20:06	74.75	347.75
12:20:16	75	348
12:20:26	75.25	348.25
12:20:36	75.5	348.5
12:20:46	75	348
12:20:56	75.5	348.5
12:21:06	75.5	348.5
12:21:16	75.5	348.5
12:21:27	76	349

12:16:04	71.5	344.5
12:16:14	72.25	345.25
12:16:24	72	345
12:16:34	72.25	345.25
12:16:44	72.5	345.5
12:16:54	72.25	345.25
12:17:04	72.75	345.75
12:17:15	72.75	345.75
12:17:25	72.75	345.75
12:17:35	72.75	345.75
12:17:45	72.75	345.75
12:17:55	73.25	346.25
12:18:05	73.5	346.5
12:18:15	73.25	346.25
12:18:25	73.5	346.5
12:18:35	73.75	346.75
12:18:45	73.75	346.75
12:18:55	73.75	346.75
12:19:05	73.75	346.75
12:19:15	73.75	346.75
12:19:26	74	347
12:19:36	74.75	347.75
12:19:46	74.5	347.5
12:19:56	74.5	347.5
12:20:06	74.75	347.75
12:20:16	75	348
12:20:26	75.25	348.25
12:20:36	75.5	348.5
12:20:46	75	348
12:20:56	75.5	348.5
12:21:06	75.5	348.5
12:21:16	75.5	348.5
12:21:27	76	349
12:21:37	76	349
12:21:47	76.25	349.25



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:21:37	76	349
12:21:47	76.25	349.25
12:21:57	75.75	348.75
12:22:07	75.75	348.75
12:22:17	76	349
12:22:27	76.5	349.5
12:22:37	76.25	349.25
12:22:47	76.25	349.25
12:22:57	76	349
12:23:07	76	349
12:23:17	76.25	349.25
12:23:28	77	350
12:23:38	77.25	350.25
12:23:48	77.25	350.25
12:23:58	78	351
12:24:08	77.75	350.75
12:24:18	78	351
12:24:28	78.5	351.5
12:24:38	78.75	351.75
12:24:48	78.75	351.75
12:24:58	78.5	351.5
12:25:08	78.75	351.75
12:25:18	79	352
12:25:28	79	352
12:25:39	79.5	352.5
12:25:49	79.25	352.25
12:25:59	79.25	352.25
12:26:09	79.5	352.5
12:26:19	79	352
12:26:29	79	352
12:26:39	79.5	352.5
12:26:49	79.75	352.75
12:26:59	79.75	352.75
12:27:09	80	353
12:27:19	80	353

12:21:57	75.75	348.75
12:22:07	75.75	348.75
12:22:17	76	349
12:22:27	76.5	349.5
12:22:37	76.25	349.25
12:22:47	76.25	349.25
12:22:57	76	349
12:23:07	76	349
12:23:17	76.25	349.25
12:23:28	77	350
12:23:38	77.25	350.25
12:23:48	77.25	350.25
12:23:58	78	351
12:24:08	77.75	350.75
12:24:18	78	351
12:24:28	78.5	351.5
12:24:38	78.75	351.75
12:24:48	78.75	351.75
12:24:58	78.5	351.5
12:25:08	78.75	351.75
12:25:18	79	352
12:25:28	79	352
12:25:39	79.5	352.5
12:25:49	79.25	352.25
12:25:59	79.25	352.25
12:26:09	79.5	352.5
12:26:19	79	352
12:26:29	79	352
12:26:39	79.5	352.5
12:26:49	79.75	352.75
12:26:59	79.75	352.75
12:27:09	80	353
12:27:19	80	353
12:27:29	80	353
12:27:40	80	353

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:27:29	80	353
12:27:40	80	353
12:27:50	80.25	353.25
12:28:00	80.25	353.25
12:28:10	80.75	353.75
12:28:20	80.5	353.5
12:28:30	80.5	353.5
12:28:40	80.75	353.75
12:28:50	81.25	354.25
12:29:00	81	354
12:29:10	81	354
12:29:20	81.25	354.25
12:29:30	81.25	354.25
12:29:40	80.5	353.5
12:29:51	81.25	354.25
12:30:01	80.75	353.75
12:30:11	81.5	354.5
12:30:21	80.75	353.75
12:30:31	81.25	354.25
12:30:41	82	355
12:30:51	81.5	354.5
12:31:01	82	355
12:31:11	81.75	354.75
12:31:21	82	355
12:31:31	82.25	355.25
12:31:41	82.5	355.5
12:31:52	82.25	355.25
12:32:02	82.25	355.25
12:32:12	82.25	355.25
12:32:22	82.25	355.25
12:32:32	82.75	355.75
12:32:42	83	356
12:32:52	83.25	356.25
12:33:02	82.75	355.75
12:33:12	83.25	356.25

12:27:50	80.25	353.25
12:28:00	80.25	353.25
12:28:10	80.75	353.75
12:28:20	80.5	353.5
12:28:30	80.5	353.5
12:28:40	80.75	353.75
12:28:50	81.25	354.25
12:29:00	81	354
12:29:10	81	354
12:29:20	81.25	354.25
12:29:30	81.25	354.25
12:29:40	80.5	353.5
12:29:51	81.25	354.25
12:30:01	80.75	353.75
12:30:11	81.5	354.5
12:30:21	80.75	353.75
12:30:31	81.25	354.25
12:30:41	82	355
12:30:51	81.5	354.5
12:31:01	82	355
12:31:11	81.75	354.75
12:31:21	82	355
12:31:31	82.25	355.25
12:31:41	82.5	355.5
12:31:52	82.25	355.25
12:32:02	82.25	355.25
12:32:12	82.25	355.25
12:32:22	82.25	355.25
12:32:32	82.75	355.75
12:32:42	83	356
12:32:52	83.25	356.25
12:33:02	82.75	355.75
12:33:12	83.25	356.25
12:33:22	82.75	355.75
12:33:32	83	356

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:33:22	82.75	355.75
12:33:32	83	356
12:33:42	82.5	355.5
12:33:53	83.25	356.25
12:34:03	83.25	356.25
12:34:13	83.5	356.5
12:34:23	83.25	356.25
12:34:33	83.25	356.25
12:34:43	83.5	356.5
12:34:53	83.5	356.5
12:35:03	83	356
12:35:13	83.25	356.25
12:35:23	83.75	356.75
12:35:33	83.75	356.75
12:35:43	83.75	356.75
12:35:53	83.5	356.5
12:36:04	83.75	356.75
12:36:14	83.5	356.5
12:36:24	83.75	356.75
12:36:34	83.25	356.25
12:36:44	83.75	356.75
12:36:54	84	357
12:37:04	83.75	356.75
12:37:14	84	357
12:37:24	84.25	357.25
12:37:34	84.25	357.25
12:37:44	84.5	357.5
12:37:54	85	358
12:38:05	84.5	357.5
12:38:15	84.5	357.5
12:38:25	84.5	357.5
12:38:35	84.75	357.75
12:38:45	84.75	357.75
12:38:55	84.75	357.75
12:39:05	84.75	357.75

12:33:42	82.5	355.5
12:33:53	83.25	356.25
12:34:03	83.25	356.25
12:34:13	83.5	356.5
12:34:23	83.25	356.25
12:34:33	83.25	356.25
12:34:43	83.5	356.5
12:34:53	83.5	356.5
12:35:03	83	356
12:35:13	83.25	356.25
12:35:23	83.75	356.75
12:35:33	83.75	356.75
12:35:43	83.75	356.75
12:35:53	83.5	356.5
12:36:04	83.75	356.75
12:36:14	83.5	356.5
12:36:24	83.75	356.75
12:36:34	83.25	356.25
12:36:44	83.75	356.75
12:36:54	84	357
12:37:04	83.75	356.75
12:37:14	84	357
12:37:24	84.25	357.25
12:37:34	84.25	357.25
12:37:44	84.5	357.5
12:37:54	85	358
12:38:05	84.5	357.5
12:38:15	84.5	357.5
12:38:25	84.5	357.5
12:38:35	84.75	357.75
12:38:45	84.75	357.75
12:38:55	84.75	357.75
12:39:05	84.75	357.75
12:39:15	85.5	358.5
12:39:25	84.5	357.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:39:15	85.5	358.5
12:39:25	84.5	357.5
12:39:35	85.75	358.75
12:39:45	85.5	358.5
12:39:55	86.25	359.25
12:40:05	85.75	358.75
12:40:16	86	359
12:40:26	85.75	358.75
12:40:36	86	359
12:40:46	86	359
12:40:56	86	359
12:41:06	86	359
12:41:16	85	358
12:41:26	85.75	358.75
12:41:36	86	359
12:41:46	86.25	359.25
12:41:56	86	359
12:42:06	86.5	359.5
12:42:17	86.25	359.25
12:42:27	86.25	359.25
12:42:37	86.25	359.25
12:42:47	86.75	359.75
12:42:57	86.75	359.75
12:43:07	86.5	359.5
12:43:17	86.75	359.75
12:43:27	86.5	359.5
12:43:37	86.75	359.75
12:43:47	87	360
12:43:57	87	360
12:44:07	87.25	360.25
12:44:18	87	360
12:44:28	86.75	359.75
12:44:38	87.25	360.25
12:44:48	87.5	360.5
12:44:58	87.5	360.5

12:39:35	85.75	358.75
12:39:45	85.5	358.5
12:39:55	86.25	359.25
12:40:05	85.75	358.75
12:40:16	86	359
12:40:26	85.75	358.75
12:40:36	86	359
12:40:46	86	359
12:40:56	86	359
12:41:06	86	359
12:41:16	85	358
12:41:26	85.75	358.75
12:41:36	86	359
12:41:46	86.25	359.25
12:41:56	86	359
12:42:06	86.5	359.5
12:42:17	86.25	359.25
12:42:27	86.25	359.25
12:42:37	86.25	359.25
12:42:47	86.75	359.75
12:42:57	86.75	359.75
12:43:07	86.5	359.5
12:43:17	86.75	359.75
12:43:27	86.5	359.5
12:43:37	86.75	359.75
12:43:47	87	360
12:43:57	87	360
12:44:07	87.25	360.25
12:44:18	87	360
12:44:28	86.75	359.75
12:44:38	87.25	360.25
12:44:48	87.5	360.5
12:44:58	87.5	360.5
12:45:08	87.5	360.5
12:45:18	87.75	360.75

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:45:08	87.5	360.5
12:45:18	87.75	360.75
12:45:28	87.5	360.5
12:45:38	87.25	360.25
12:45:48	88	361
12:45:58	88	361
12:46:08	88	361
12:46:18	88.5	361.5
12:46:29	88.5	361.5
12:46:39	88.75	361.75
12:46:49	88.75	361.75
12:46:59	88.75	361.75
12:47:09	88.75	361.75
12:47:19	88	361
12:47:29	88.75	361.75
12:47:39	88.75	361.75
12:47:49	88.75	361.75
12:47:59	89	362
12:48:09	88.25	361.25
12:48:19	88.5	361.5
12:48:30	89	362
12:48:40	89	362
12:48:50	88.5	361.5
12:49:00	89	362
12:49:10	89.25	362.25
12:49:20	89.25	362.25
12:49:30	89	362
12:49:40	89.5	362.5
12:49:50	89	362
12:50:00	89.5	362.5
12:50:10	89.75	362.75
12:50:20	90.5	363.5
12:50:30	90.5	363.5
12:50:41	90.25	363.25
12:50:51	90.5	363.5

12:45:28	87.5	360.5
12:45:38	87.25	360.25
12:45:48	88	361
12:45:58	88	361
12:46:08	88	361
12:46:18	88.5	361.5
12:46:29	88.5	361.5
12:46:39	88.75	361.75
12:46:49	88.75	361.75
12:46:59	88.75	361.75
12:47:09	88.75	361.75
12:47:19	88	361
12:47:29	88.75	361.75
12:47:39	88.75	361.75
12:47:49	88.75	361.75
12:47:59	89	362
12:48:09	88.25	361.25
12:48:19	88.5	361.5
12:48:30	89	362
12:48:40	89	362
12:48:50	88.5	361.5
12:49:00	89	362
12:49:10	89.25	362.25
12:49:20	89.25	362.25
12:49:30	89	362
12:49:40	89.5	362.5
12:49:50	89	362
12:50:00	89.5	362.5
12:50:10	89.75	362.75
12:50:20	90.5	363.5
12:50:30	90	363
14:50:40	90.25	363.25
12:50:50	90.5	363.5
12:51:00	90	363

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Datos Mediante Termocupla tipo K							
Día	AM			Día	AM		
	Tiempo	Temperatura (°C)	Temperatura (K)		Tiempo	Temperatura (°C)	Temperatura (K)
3	10:54:35	20.75	293.75	4	10:54:35	22.25	295.25
	10:54:45	21	294		10:54:45	23	296
	10:54:55	20.75	293.75		10:54:55	23.75	296.75
	10:55:05	20.75	293.75		10:55:05	24	297
	10:55:15	20.75	293.75		10:55:15	24.5	297.5
	10:55:26	20.5	293.5		10:55:26	25.5	298.5
	10:55:36	20.5	293.5		10:55:36	25.5	298.5
	10:55:46	20.75	293.75		10:55:46	25.75	298.75
	10:55:56	20.75	293.75		10:55:56	25.75	298.75
	10:56:06	23.5	296.5		10:56:06	26	299
	10:56:16	23.75	296.75		10:56:16	26.25	299.25
	10:56:26	24	297		10:56:26	26.25	299.25
	10:56:36	25	298		10:56:36	26	299
	10:56:46	25	298		10:56:46	26.25	299.25
	10:56:56	25	298		10:56:56	26.5	299.5
	10:57:06	26.25	299.25		10:57:06	26.75	299.75
	10:57:16	25.75	298.75		10:57:16	26.5	299.5
	10:57:26	26	299		10:57:26	26.5	299.5
	10:57:37	26	299		10:57:37	26.75	299.75
	10:57:47	25.75	298.75		10:57:47	27	300
	10:57:57	25.25	298.25		10:57:57	27	300
	10:58:07	25.75	298.75		10:58:07	27.25	300.25
	10:58:17	25.75	298.75		10:58:17	27	300
	10:58:27	26.25	299.25		10:58:27	27.25	300.25
10:58:37	26	299	10:58:37	27.25	300.25		
10:58:47	25.75	298.75	10:58:47	27.75	300.75		
10:58:57	26.5	299.5	10:58:57	27.5	300.5		
10:59:07	26.75	299.75	10:59:07	27.25	300.25		
10:59:17	27.25	300.25	10:59:17	27.75	300.75		
10:59:27	26.5	299.5	10:59:27	28.25	301.25		

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

10:59:38	27	300
10:59:48	27.25	300.25
10:59:58	26.75	299.75
11:00:08	27.5	300.5
11:00:18	27.5	300.5
11:00:28	27.75	300.75
11:00:38	27.25	300.25
11:00:48	27.5	300.5
11:00:58	28	301
11:01:08	27.75	300.75
11:01:18	28.5	301.5
11:01:28	28.5	301.5
11:01:38	28.75	301.75
11:01:49	28.75	301.75
11:01:59	28.75	301.75
11:02:09	29	302
11:02:19	28.75	301.75
11:02:29	29.25	302.25
11:02:39	29	302
11:02:49	29	302
11:02:59	28.75	301.75
11:03:09	30	303
11:03:19	29	302
11:03:29	30	303
11:03:39	30	303
11:03:50	30.25	303.25
11:04:00	30	303
11:04:10	30	303
11:04:20	30.25	303.25
11:04:30	30	303
11:04:40	30.75	303.75
11:04:50	30	303
11:05:00	31	304
11:05:10	30.75	303.75
11:05:20	31	304

10:59:38	27.75	300.75
10:59:48	28.25	301.25
10:59:58	28.5	301.5
11:00:08	28.75	301.75
11:00:18	28.5	301.5
11:00:28	28.5	301.5
11:00:38	28.25	301.25
11:00:48	28.75	301.75
11:00:58	28.75	301.75
11:01:08	29	302
11:01:18	28.5	301.5
11:01:28	28.5	301.5
11:01:38	28.75	301.75
11:01:49	29	302
11:01:59	28.75	301.75
11:02:09	28.75	301.75
11:02:19	29	302
11:02:29	29	302
11:02:39	28.5	301.5
11:02:49	29.5	302.5
11:02:59	29.75	302.75
11:03:09	29.75	302.75
11:03:19	30	303
11:03:29	29.75	302.75
11:03:39	30	303
11:03:50	30	303
11:04:00	30.25	303.25
11:04:10	30.25	303.25
11:04:20	30.75	303.75
11:04:30	30.5	303.5
11:04:40	31	304
11:04:50	30.5	303.5
11:05:00	31	304
11:05:10	30.5	303.5
11:05:20	31	304

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:05:30	31.25	304.25
11:05:40	31.25	304.25
11:05:50	31.5	304.5
11:06:01	31.25	304.25
11:06:11	31.5	304.5
11:06:21	31.25	304.25
11:06:31	31.5	304.5
11:06:41	32	305
11:06:51	32	305
11:07:01	32	305
11:07:11	32.5	305.5
11:07:21	32.25	305.25
11:07:31	32.25	305.25
11:07:41	32.75	305.75
11:07:51	33	306
11:08:02	33	306
11:08:12	33.25	306.25
11:08:22	33.25	306.25
11:08:32	32.75	305.75
11:08:42	33.25	306.25
11:08:52	33.5	306.5
11:09:02	33.75	306.75
11:09:12	33	306
11:09:22	33.75	306.75
11:09:32	33.5	306.5
11:09:42	33.75	306.75
11:09:52	34	307
11:10:02	33.75	306.75
11:10:13	34.25	307.25
11:10:23	34.5	307.5
11:10:33	34.5	307.5
11:10:43	34.25	307.25
11:10:53	34.75	307.75
11:11:03	35.25	308.25
11:11:13	34.75	307.75

11:05:30	31	304
11:05:40	31	304
11:05:50	31.25	304.25
11:06:01	31	304
11:06:11	31.75	304.75
11:06:21	31.5	304.5
11:06:31	31.5	304.5
11:06:41	31.5	304.5
11:06:51	31.5	304.5
11:07:01	31.75	304.75
11:07:11	31.5	304.5
11:07:21	31.5	304.5
11:07:31	31.75	304.75
11:07:41	32.5	305.5
11:07:51	32.75	305.75
11:08:02	32.75	305.75
11:08:12	32.75	305.75
11:08:22	32.75	305.75
11:08:32	32.5	305.5
11:08:42	32.75	305.75
11:08:52	33.5	306.5
11:09:02	33.75	306.75
11:09:12	33.75	306.75
11:09:22	33.75	306.75
11:09:32	34	307
11:09:42	33.5	306.5
11:09:52	33.75	306.75
11:10:02	33.5	306.5
11:10:13	34	307
11:10:23	33.75	306.75
11:10:33	34.75	307.75
11:10:43	34.5	307.5
11:10:53	34.75	307.75
11:11:03	35.25	308.25
11:11:13	35	308



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

11:11:23	35	308
11:11:33	35.25	308.25
11:11:43	35	308
11:11:53	35.25	308.25
11:12:03	35.25	308.25
11:12:13	35.5	308.5
11:12:24	35.5	308.5
11:12:34	35.5	308.5
11:12:44	35.5	308.5
11:12:54	36	309
11:13:04	36.25	309.25
11:13:14	36	309
11:13:24	36.5	309.5
11:13:34	36.25	309.25
11:13:44	37	310
11:13:54	36.5	309.5
11:14:04	37	310
11:14:14	37	310
11:14:25	36.75	309.75
11:14:35	37.25	310.25
11:14:45	37.5	310.5
11:14:55	37	310
11:15:05	37.5	310.5
11:15:15	37.75	310.75
11:15:25	37.75	310.75
11:15:35	38	311
11:15:45	38.25	311.25
11:15:55	38.25	311.25
11:16:05	38.25	311.25
11:16:15	38.5	311.5
11:16:25	38.75	311.75
11:16:36	38.5	311.5
11:16:46	38.5	311.5
11:16:56	38.75	311.75
11:17:06	39.25	312.25

11:11:23	35.5	308.5
11:11:33	35.5	308.5
11:11:43	35.25	308.25
11:11:53	35.5	308.5
11:12:03	35.75	308.75
11:12:13	36	309
11:12:24	36	309
11:12:34	36	309
11:12:44	36.25	309.25
11:12:54	36.25	309.25
11:13:04	36.25	309.25
11:13:14	36.5	309.5
11:13:24	37	310
11:13:34	37	310
11:13:44	37	310
11:13:54	37.25	310.25
11:14:04	37	310
11:14:14	37.5	310.5
11:14:25	37.5	310.5
11:14:35	37.25	310.25
11:14:45	37.75	310.75
11:14:55	38	311
11:15:05	37.75	310.75
11:15:15	37.75	310.75
11:15:25	38.25	311.25
11:15:35	38.5	311.5
11:15:45	38.5	311.5
11:15:55	38.5	311.5
11:16:05	38.75	311.75
11:16:15	38.75	311.75
11:16:25	38.75	311.75
11:16:36	39.25	312.25
11:16:46	39.25	312.25
11:16:56	39.5	312.5
11:17:06	39.25	312.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:17:16	39.25	312.25
11:17:26	39	312
11:17:36	39	312
11:17:46	39.5	312.5
11:17:56	39.5	312.5
11:18:06	40	313
11:18:16	39.5	312.5
11:18:26	40	313
11:18:37	40	313
11:18:47	40.25	313.25
11:18:57	40.25	313.25
11:19:07	39.75	312.75
11:19:17	40.5	313.5
11:19:27	40.75	313.75
11:19:37	40.5	313.5
11:19:47	40.75	313.75
11:19:57	40.75	313.75
11:20:07	41	314
11:20:17	41.25	314.25
11:20:27	41.25	314.25
11:20:37	41.25	314.25
11:20:48	41.5	314.5
11:20:58	41.5	314.5
11:21:08	42	315
11:21:18	41.75	314.75
11:21:28	42.25	315.25
11:21:38	41.75	314.75
11:21:48	42.25	315.25
11:21:58	42.25	315.25
11:22:08	42.25	315.25
11:22:18	42	315
11:22:28	42.5	315.5
11:22:38	42.75	315.75
11:22:49	43	316
11:22:59	43	316

11:17:16	39.5	312.5
11:17:26	39.75	312.75
11:17:36	39.75	312.75
11:17:46	40	313
11:17:56	39.75	312.75
11:18:06	40.5	313.5
11:18:16	40	313
11:18:26	40.5	313.5
11:18:37	40.75	313.75
11:18:47	40.75	313.75
11:18:57	40.5	313.5
11:19:07	40.75	313.75
11:19:17	41.25	314.25
11:19:27	40.75	313.75
11:19:37	41	314
11:19:47	41	314
11:19:57	41.5	314.5
11:20:07	41	314
11:20:17	41.25	314.25
11:20:27	41.5	314.5
11:20:37	41.5	314.5
11:20:48	41.75	314.75
11:20:58	41.75	314.75
11:21:08	42	315
11:21:18	41.5	314.5
11:21:28	42.5	315.5
11:21:38	42.5	315.5
11:21:48	42.5	315.5
11:21:58	42.5	315.5
11:22:08	42.75	315.75
11:22:18	43	316
11:22:28	43	316
11:22:38	42.5	315.5
11:22:49	43.5	316.5
11:22:59	43	316

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:23:09	43.25	316.25
11:23:19	42.75	315.75
11:23:29	43.5	316.5
11:23:39	43	316
11:23:49	43.5	316.5
11:23:59	43.75	316.75
11:24:09	43.75	316.75
11:24:19	43.25	316.25
11:24:29	43.5	316.5
11:24:39	44.25	317.25
11:24:49	44	317
11:25:00	44	317
11:25:10	43.75	316.75
11:25:20	44.5	317.5
11:25:30	44.25	317.25
11:25:40	44.75	317.75
11:25:50	44.75	317.75
11:26:00	45	318
11:26:10	45	318
11:26:20	44.75	317.75
11:26:30	45.5	318.5
11:26:40	44.75	317.75
11:26:50	45.5	318.5
11:27:01	45.5	318.5
11:27:11	45.5	318.5
11:27:21	45.75	318.75
11:27:31	45.75	318.75
11:27:41	46	319
11:27:51	46.25	319.25
11:28:01	46.25	319.25
11:28:11	46.5	319.5
11:28:21	46.75	319.75
11:28:31	46.25	319.25
11:28:41	47	320
11:28:51	47	320

11:23:09	43	316
11:23:19	43	316
11:23:29	43.5	316.5
11:23:39	43.25	316.25
11:23:49	43.25	316.25
11:23:59	43.75	316.75
11:24:09	43.5	316.5
11:24:19	43.75	316.75
11:24:29	43.75	316.75
11:24:39	43.25	316.25
11:24:49	43.5	316.5
11:25:00	44	317
11:25:10	44	317
11:25:20	43.75	316.75
11:25:30	43.75	316.75
11:25:40	43.25	316.25
11:25:50	44.25	317.25
11:26:00	43.5	316.5
11:26:10	43.75	316.75
11:26:20	44	317
11:26:30	43.75	316.75
11:26:40	44	317
11:26:50	44.25	317.25
11:27:01	44.5	317.5
11:27:11	44.5	317.5
11:27:21	44.5	317.5
11:27:31	44.25	317.25
11:27:41	44.75	317.75
11:27:51	45.25	318.25
11:28:01	45.25	318.25
11:28:11	45.25	318.25
11:28:21	45	318
11:28:31	45.5	318.5
11:28:41	45.5	318.5
11:28:51	45.75	318.75

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:29:01	46.5	319.5
11:29:12	47	320
11:29:22	46.5	319.5
11:29:32	47.25	320.25
11:29:42	47.5	320.5
11:29:52	47.25	320.25
11:30:02	47.5	320.5
11:30:12	47.75	320.75
11:30:22	47.75	320.75
11:30:32	48	321
11:30:42	48.25	321.25
11:30:52	48.25	321.25
11:31:02	48	321
11:31:13	48.5	321.5
11:31:23	48	321
11:31:33	48.75	321.75
11:31:43	48.5	321.5
11:31:53	48.25	321.25
11:32:03	49	322
11:32:13	48.5	321.5
11:32:23	49	322
11:32:33	49.25	322.25
11:32:43	49.25	322.25
11:32:53	49.25	322.25
11:33:03	49	322
11:33:13	49.75	322.75
11:33:24	49.25	322.25
11:33:34	49.75	322.75
11:33:44	50	323
11:33:54	50	323
11:34:04	50	323
11:34:14	50	323
11:34:24	50.25	323.25
11:34:34	50.25	323.25
11:34:44	50	323

11:29:01	46	319
11:29:12	45.75	318.75
11:29:22	46.25	319.25
11:29:32	46	319
11:29:42	45.75	318.75
11:29:52	46.5	319.5
11:30:02	46.5	319.5
11:30:12	46.75	319.75
11:30:22	46.75	319.75
11:30:32	47.25	320.25
11:30:42	47.5	320.5
11:30:52	47.25	320.25
11:31:02	47	320
11:31:13	47.25	320.25
11:31:23	47.25	320.25
11:31:33	47.5	320.5
11:31:43	47.75	320.75
11:31:53	47.25	320.25
11:32:03	47	320
11:32:13	47	320
11:32:23	47.75	320.75
11:32:33	47.5	320.5
11:32:43	47.75	320.75
11:32:53	47.5	320.5
11:33:03	47.75	320.75
11:33:13	47.75	320.75
11:33:24	47.75	320.75
11:33:34	47.75	320.75
11:33:44	47.75	320.75
11:33:54	47.75	320.75
11:34:04	47.75	320.75
11:34:14	48	321
11:34:24	47.75	320.75
11:34:34	48	321
11:34:44	48	321

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:34:54	50.25	323.25
11:35:04	50.5	323.5
11:35:14	50.75	323.75
11:35:25	51	324
11:35:35	50.75	323.75
11:35:45	51	324
11:35:55	51.5	324.5
11:36:05	51.25	324.25
11:36:15	51.5	324.5
11:36:25	51.5	324.5
11:36:35	51.5	324.5
11:36:45	51.75	324.75
11:36:55	52	325
11:37:05	51.75	324.75
11:37:15	51.5	324.5
11:37:25	52	325
11:37:36	52.25	325.25
11:37:46	52.25	325.25
11:37:56	52.75	325.75
11:38:06	52	325
11:38:16	52.5	325.5
11:38:26	52.25	325.25
11:38:36	52.5	325.5
11:38:46	53.5	326.5
11:38:56	53.25	326.25
11:39:06	53.5	326.5
11:39:16	53	326
11:39:26	53.25	326.25
11:39:37	53.5	326.5
11:39:47	53.75	326.75
11:39:57	54	327
11:40:07	54	327
11:40:17	54	327
11:40:27	54	327
11:40:37	54	327

11:34:54	48	321
11:35:04	48	321
11:35:14	48	321
11:35:25	48.25	321.25
11:35:35	48.25	321.25
11:35:45	48	321
11:35:55	48.25	321.25
11:36:05	48.5	321.5
11:36:15	48.5	321.5
11:36:25	48.75	321.75
11:36:35	48.25	321.25
11:36:45	48.5	321.5
11:36:55	48.5	321.5
11:37:05	48.75	321.75
11:37:15	48.5	321.5
11:37:25	48.75	321.75
11:37:36	48.75	321.75
11:37:46	48.25	321.25
11:37:56	48.25	321.25
11:38:06	48.75	321.75
11:38:16	48.75	321.75
11:38:26	48.5	321.5
11:38:36	48.75	321.75
11:38:46	48.75	321.75
11:38:56	48.75	321.75
11:39:06	49	322
11:39:16	48.75	321.75
11:39:26	48.75	321.75
11:39:37	49	322
11:39:47	48.75	321.75
11:39:57	48.75	321.75
11:40:07	49.25	322.25
11:40:17	48.5	321.5
11:40:27	49	322
11:40:37	49	322

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:40:47	54	327
11:40:57	54.25	327.25
11:41:07	54.25	327.25
11:41:17	54.25	327.25
11:41:27	54	327
11:41:37	54.5	327.5
11:41:48	54.25	327.25
11:41:58	54.5	327.5
11:42:08	54.5	327.5
11:42:18	54.25	327.25
11:42:28	54.75	327.75
11:42:38	54.75	327.75
11:42:48	55	328
11:42:58	55	328
11:43:08	54.75	327.75
11:43:18	54.75	327.75
11:43:28	55.25	328.25
11:43:38	55.25	328.25
11:43:49	55.75	328.75
11:43:59	55.75	328.75
11:44:09	55.75	328.75
11:44:19	55.75	328.75
11:44:29	56	329
11:44:39	56.25	329.25
11:44:49	56.5	329.5
11:44:59	56	329
11:45:09	56.5	329.5
11:45:19	57.25	330.25
11:45:29	57.25	330.25
11:45:39	57	330
11:45:49	56.75	329.75
11:46:00	57	330
11:46:10	57.5	330.5
11:46:20	57.5	330.5
11:46:30	57.75	330.75

11:40:47	48.75	321.75
11:40:57	48.5	321.5
11:41:07	49	322
11:41:17	49.25	322.25
11:41:27	49.25	322.25
11:41:37	49.25	322.25
11:41:48	49	322
11:41:58	49.5	322.5
11:42:08	49	322
11:42:18	49.75	322.75
11:42:28	49.75	322.75
11:42:38	49.5	322.5
11:42:48	49.75	322.75
11:42:58	49.75	322.75
11:43:08	49	322
11:43:18	50	323
11:43:28	49.75	322.75
11:43:38	50	323
11:43:49	50	323
11:43:59	49.75	322.75
11:44:09	50.25	323.25
11:44:19	49.75	322.75
11:44:29	50.25	323.25
11:44:39	50.5	323.5
11:44:49	50.5	323.5
11:44:59	50.25	323.25
11:45:09	50.75	323.75
11:45:19	50.75	323.75
11:45:29	50.25	323.25
11:45:39	50.25	323.25
11:45:49	50.75	323.75
11:46:00	51	324
11:46:10	50.5	323.5
11:46:20	50.25	323.25
11:46:30	50.25	323.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:46:40	58	331
11:46:50	58.5	331.5
11:47:00	58.25	331.25
11:47:10	58.25	331.25
11:47:20	58.5	331.5
11:47:30	58.5	331.5
11:47:40	58.5	331.5
11:47:50	58.75	331.75
11:48:01	58.5	331.5
11:48:11	58.25	331.25
11:48:21	58.25	331.25
11:48:31	58.75	331.75
11:48:41	58.75	331.75
11:48:51	58.75	331.75
11:49:01	58.75	331.75
11:49:11	58.5	331.5
11:49:21	58.75	331.75
11:49:31	58.5	331.5
11:49:41	58.75	331.75
11:49:51	58.75	331.75
11:50:01	58.5	331.5
11:50:12	58.75	331.75
11:50:22	59	332
11:50:32	59.25	332.25
11:50:42	59.25	332.25
11:50:52	59	332
11:51:02	59	332
11:51:12	59.25	332.25
11:51:22	59.25	332.25
11:51:32	59	332
11:51:42	59	332
11:51:52	59.25	332.25
11:52:02	59	332
11:52:13	59.25	332.25
11:52:23	59	332

11:46:40	50.75	323.75
11:46:50	50.75	323.75
11:47:00	51	324
11:47:10	50.5	323.5
11:47:20	51	324
11:47:30	50.75	323.75
11:47:40	51	324
11:47:50	51	324
11:48:01	50.5	323.5
11:48:11	50.5	323.5
11:48:21	50.75	323.75
11:48:31	50.5	323.5
11:48:41	51	324
11:48:51	51.25	324.25
11:49:01	51	324
11:49:11	50.5	323.5
11:49:21	51	324
11:49:31	51.25	324.25
11:49:41	51.25	324.25
11:49:51	51	324
11:50:01	51.25	324.25
11:50:12	51.5	324.5
11:50:22	51	324
11:50:32	51	324
11:50:42	51.5	324.5
11:50:52	51.25	324.25
11:51:02	51.5	324.5
11:51:12	51.5	324.5
11:51:22	50.75	323.75
11:51:32	51.25	324.25
11:51:42	51	324
11:51:52	51.5	324.5
11:52:02	51.25	324.25
11:52:13	51.5	324.5
11:52:23	51.5	324.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:52:33	59.25	332.25
11:52:43	59.25	332.25
11:52:53	59	332
11:53:03	59.25	332.25
11:53:13	59.5	332.5
11:53:23	59.25	332.25
11:53:33	59.25	332.25
11:53:43	59.25	332.25
11:53:53	59.75	332.75
11:54:03	59.25	332.25
11:54:13	59.75	332.75
11:54:24	59.5	332.5
11:54:34	59.75	332.75
11:54:44	60.5	333.5
11:54:54	60.75	333.75
11:55:04	60	333
11:55:14	60.75	333.75
11:55:24	60.75	333.75
11:55:34	61	334
11:55:44	61	334
11:55:54	61.25	334.25
11:56:04	60.75	333.75
11:56:14	62	335
11:56:25	62	335
11:56:35	61.5	334.5
11:56:45	62.25	335.25
11:56:55	62.25	335.25
11:57:05	62.25	335.25
11:57:15	62	335
11:57:25	62.5	335.5
11:57:35	62.25	335.25
11:57:45	62.5	335.5
11:57:55	62	335
11:58:05	62.25	335.25
11:58:15	62.25	335.25

11:52:33	51.5	324.5
11:52:43	51.5	324.5
11:52:53	51.75	324.75
11:53:03	51.25	324.25
11:53:13	51.5	324.5
11:53:23	51.75	324.75
11:53:33	51.5	324.5
11:53:43	51.75	324.75
11:53:53	51.75	324.75
11:54:03	51.5	324.5
11:54:13	52	325
11:54:24	51.75	324.75
11:54:34	51.25	324.25
11:54:44	51.75	324.75
11:54:54	52	325
11:55:04	52	325
11:55:14	52	325
11:55:24	51.25	324.25
11:55:34	52	325
11:55:44	51.5	324.5
11:55:54	51.75	324.75
11:56:04	51.75	324.75
11:56:14	52.25	325.25
11:56:25	52.25	325.25
11:56:35	52.25	325.25
11:56:45	52.25	325.25
11:56:55	52.25	325.25
11:57:05	52.5	325.5
11:57:15	52.25	325.25
11:57:25	51.75	324.75
11:57:35	52.25	325.25
11:57:45	52	325
11:57:55	52.25	325.25
11:58:05	51.5	324.5
11:58:15	52.25	325.25



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:58:25	62.25	335.25
11:58:36	62.25	335.25
11:58:46	62	335
11:58:56	62.5	335.5
11:59:06	63	336
11:59:16	62.25	335.25
11:59:26	62.5	335.5
11:59:36	62.25	335.25
11:59:46	62.75	335.75
11:59:56	62.75	335.75
12:00:06	62.5	335.5
12:00:16	62.25	335.25
12:00:26	63	336
12:00:37	62.5	335.5
12:00:47	62.25	335.25
12:00:57	62.25	335.25
12:01:07	62.75	335.75
12:01:17	62.75	335.75
12:01:27	63	336
12:01:37	62.5	335.5
12:01:47	62.25	335.25
12:01:57	62.75	335.75
12:02:07	62.75	335.75
12:02:17	63	336
12:02:27	62.75	335.75
12:02:38	63	336
12:02:48	63.25	336.25
12:02:58	63.5	336.5
12:03:08	63.25	336.25
12:03:18	63.5	336.5
12:03:28	63.75	336.75
12:03:38	63.75	336.75
12:03:48	63.75	336.75
12:03:58	63.5	336.5

11:58:25	51.5	324.5
11:58:36	52	325
11:58:46	51.5	324.5
11:58:56	52.25	325.25
11:59:06	52.25	325.25
11:59:16	52.25	325.25
11:59:26	52.25	325.25
11:59:36	52.5	325.5
11:59:46	52	325
11:59:56	52	325
12:00:06	52.25	325.25
12:00:16	52.25	325.25
12:00:26	52.25	325.25
12:00:37	52.5	325.5
12:00:47	52.5	325.5
12:00:57	51.75	324.75
12:01:07	52	325
12:01:17	52	325
12:01:27	52.25	325.25
12:01:37	52.25	325.25
12:01:47	52.75	325.75
12:01:57	52.75	325.75
12:02:07	52	325
12:02:17	51.75	324.75
12:02:27	52.75	325.75
12:02:38	52.25	325.25
12:02:48	52.5	325.5
12:02:58	52.25	325.25
12:03:08	52.25	325.25
12:03:18	52	325
12:03:28	52	325
12:03:38	52.75	325.75
12:03:48	52.5	325.5
12:03:58	52.5	325.5
12:04:08	52.25	325.25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

12:04:18	52.25	325.25
12:04:28	52	325
12:04:38	52.75	325.75
12:04:49	52.5	325.5
12:04:59	53	326
12:05:09	52.75	325.75
12:05:19	53	326
12:05:29	52.25	325.25
12:05:39	52.75	325.75
12:05:49	53.25	326.25
12:05:59	52.5	325.5
12:06:09	52.75	325.75
12:06:19	52.75	325.75
12:06:29	52.75	325.75
12:06:39	52.75	325.75
12:06:50	52.5	325.5
12:07:00	53	326
12:07:10	52.5	325.5
12:07:20	53	326
12:07:30	53	326
12:07:40	52.75	325.75
12:07:50	53	326
12:08:00	53.25	326.25
12:08:10	53	326
12:08:20	53	326
12:08:30	53.25	326.25
12:08:40	52.75	325.75
12:08:50	53.25	326.25
12:09:01	53	326
12:09:11	53.25	326.25
12:09:21	52.75	325.75
12:09:31	53	326
12:09:41	52.75	325.75
12:09:51	53.25	326.25
12:10:01	53.5	326.5

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

12:10:11	53	326
12:10:21	52.75	325.75
12:10:31	53.25	326.25
12:10:41	52.75	325.75
12:10:51	52.75	325.75
12:11:02	53.25	326.25
12:11:12	53.5	326.5
12:11:22	53.25	326.25
12:11:32	53.5	326.5
12:11:42	53.25	326.25
12:11:52	53	326
12:12:02	53	326
12:12:12	53	326
12:12:22	53.5	326.5
12:12:32	53.75	326.75
12:12:42	53.25	326.25
12:12:52	53.75	326.75
12:13:02	53.25	326.25
12:13:13	53.25	326.25
12:13:23	53.75	326.75
12:13:33	53.5	326.5
12:13:43	53.5	326.5
12:13:53	53.75	326.75
12:14:03	53.5	326.5
12:14:13	53.75	326.75
12:14:23	54	327
12:14:33	54	327
12:14:43	54.25	327.25
12:14:53	54.25	327.25
12:15:03	53.75	326.75
12:15:14	54.25	327.25
12:15:24	54.25	327.25
12:15:34	54.5	327.5
12:15:44	54	327
12:15:54	54.25	327.25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

12:16:04	54.5	327.5
12:16:14	55	328
12:16:24	54.25	327.25
12:16:34	54.75	327.75
12:16:44	54.75	327.75
12:16:54	54.75	327.75
12:17:04	54.25	327.25
12:17:15	54.75	327.75
12:17:25	54.25	327.25
12:17:35	54.5	327.5
12:17:45	54.5	327.5
12:17:55	54.25	327.25
12:18:05	54.75	327.75
12:18:15	54.75	327.75
12:18:25	55	328
12:18:35	53.75	326.75
12:18:45	53.5	326.5
12:18:55	54.25	327.25
12:19:05	53.75	326.75
12:19:15	54.25	327.25
12:19:26	54.25	327.25
12:19:36	54	327
12:19:46	54.25	327.25
12:19:56	54.5	327.5
12:20:06	54.5	327.5
12:20:16	54.5	327.5
12:20:26	54.25	327.25
12:20:36	54	327
12:20:46	54.25	327.25
12:20:56	54.25	327.25
12:21:06	54	327
12:21:16	54.25	327.25
12:21:27	54	327
12:21:37	54.75	327.75
12:21:47	54.5	327.5

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

12:21:57	54.5	327.5
12:22:07	54.25	327.25
12:22:17	54.25	327.25
12:22:27	54.5	327.5
12:22:37	54.5	327.5
12:22:47	54.5	327.5
12:22:57	55	328
12:23:07	55	328
12:23:17	55	328
12:23:28	55	328
12:23:38	54.75	327.75
12:23:48	54.75	327.75
12:23:58	55.25	328.25
12:24:08	55.25	328.25
12:24:18	54.75	327.75
12:24:28	55.5	328.5
12:24:38	55	328
12:24:48	55.25	328.25
12:24:58	55.25	328.25
12:25:08	54.75	327.75
12:25:18	55.25	328.25
12:25:28	55.5	328.5
12:25:39	55	328
12:25:49	55.75	328.75
12:25:59	55.5	328.5
12:26:09	55.25	328.25
12:26:19	55	328
12:26:29	55.25	328.25
12:26:39	55	328
12:26:49	55.5	328.5
12:26:59	55.5	328.5
12:27:09	55	328
12:27:19	55.5	328.5
12:27:29	55.25	328.25
12:27:40	55.5	328.5

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

12:27:50	55.5	328.5
12:28:00	55.25	328.25
12:28:10	55.75	328.75
12:28:20	55.5	328.5
12:28:30	55.5	328.5
12:28:40	56	329
12:28:50	55.75	328.75
12:29:00	56	329
12:29:10	56.25	329.25
12:29:20	55.75	328.75
12:29:30	56	329
12:29:40	55.5	328.5
12:29:51	56	329
12:30:01	55.75	328.75
12:30:11	56.25	329.25
12:30:21	56	329
12:30:31	55.75	328.75
12:30:41	55.75	328.75
12:30:51	55.75	328.75
12:31:01	56.25	329.25
12:31:11	56	329
12:31:21	55.5	328.5
12:31:31	56	329
12:31:41	56.5	329.5
12:31:52	56	329
12:32:02	56	329
12:32:12	56.5	329.5
12:32:22	55.75	328.75
12:32:32	56	329
12:32:42	56.75	329.75
12:32:52	56.5	329.5
12:33:02	56.5	329.5
12:33:12	56.25	329.25
12:33:22	56.25	329.25
12:33:32	56.75	329.75

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

12:33:42	56.25	329.25
12:33:53	56.75	329.75
12:34:03	56.25	329.25
12:34:13	56.25	329.25
12:34:23	56.75	329.75
12:34:33	56.75	329.75
12:34:43	56.25	329.25
12:34:53	56.75	329.75
12:35:03	57	330
12:35:13	56.75	329.75
12:35:23	56.5	329.5
12:35:33	57	330
12:35:43	56.75	329.75
12:35:53	56.5	329.5
12:36:04	56.75	329.75
12:36:14	57	330
12:36:24	57	330
12:36:34	56.75	329.75
12:36:44	57	330
12:36:54	57	330
12:37:04	56.75	329.75
12:37:14	56.75	329.75
12:37:24	56.75	329.75
12:37:34	57	330
12:37:44	57.25	330.25
12:37:54	57.25	330.25
12:38:05	57.25	330.25
12:38:15	57	330
12:38:25	57.5	330.5
12:38:35	57.25	330.25
12:38:45	57.75	330.75
12:38:55	57.75	330.75
12:39:05	56.75	329.75
12:39:15	57.5	330.5
12:39:25	57.5	330.5

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

12:39:35	57	330
12:39:45	57.5	330.5
12:39:55	57.75	330.75
12:40:05	57.75	330.75
12:40:16	57.75	330.75
12:40:26	57.25	330.25
12:40:36	57.5	330.5
12:40:46	57.75	330.75
12:40:56	58	331
12:41:06	57.75	330.75
12:41:16	57.75	330.75
12:41:26	57.75	330.75
12:41:36	58	331
12:41:46	58	331
12:41:56	58.25	331.25
12:42:06	58	331
12:42:17	58.25	331.25
12:42:27	58.5	331.5
12:42:37	58.5	331.5
12:42:47	58.5	331.5
12:42:57	58.25	331.25
12:43:07	58.5	331.5
12:43:17	58.75	331.75
12:43:27	58.5	331.5
12:43:37	58.75	331.75
12:43:47	58.75	331.75
12:43:57	59	332
12:44:07	59	332
12:44:18	59.25	332.25
12:44:28	59.25	332.25
12:44:38	58.75	331.75
12:44:48	59	332
12:44:58	59.5	332.5
12:45:08	59.5	332.5
12:45:18	59.5	332.5



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

12:45:28	59.75	332.75
12:45:38	59.75	332.75
12:45:48	59.75	332.75
12:45:58	59.75	332.75
12:46:08	59.25	332.25
12:46:18	60	333
12:46:29	60	333
12:46:39	60	333
12:46:49	59.75	332.75
12:46:59	60	333
12:47:09	60.5	333.5
12:47:19	60.25	333.25
12:47:29	60	333
12:47:39	60	333
12:47:49	60.5	333.5
12:47:59	60.5	333.5
12:48:09	60.5	333.5
12:48:19	60.25	333.25
12:48:30	60.5	333.5
12:48:40	60.5	333.5
12:48:50	60.25	333.25
12:49:00	60.5	333.5
12:49:10	60.75	333.75
12:49:20	61	334
12:49:30	61.25	334.25
12:49:40	61.5	334.5
12:49:50	61.75	334.75
12:50:00	62	335
12:50:10	62.25	335.25
12:50:20	62.75	335.75

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Datos Mediante Termocupla tipo K							
Día	AM			Día	AM		
	Tiempo	Temperatura	Temperatura (K)		Tiempo	Temperatura	Temperatura (K)
5	10:53:49	22	295	6	10:53:49	28	301
	10:53:59	22.75	295.75		10:53:59	28.5	301.5
	10:54:09	23.25	296.25		10:54:09	28.75	301.75
	10:54:19	23.5	296.5		10:54:19	28.75	301.75
	10:54:29	23.75	296.75		10:54:29	28.75	301.75
	10:54:39	23.75	296.75		10:54:39	29	302
	10:54:50	23.75	296.75		10:54:50	28.75	301.75
	10:55:00	23.5	296.5		10:55:00	29	302
	10:55:10	23.75	296.75		10:55:10	29	302
	10:55:20	23.75	296.75		10:55:20	29.75	302.75
	10:55:30	24	297		10:55:30	29.75	302.75
	10:55:40	24	297		10:55:40	29.75	302.75
	10:55:50	23.75	296.75		10:55:50	30	303
	10:56:00	24.25	297.25		10:56:00	29.75	302.75
	10:56:10	23.5	296.5		10:56:10	30.25	303.25
	10:56:21	24.25	297.25		10:56:21	29.75	302.75
	10:56:31	24.5	297.5		10:56:31	30.25	303.25
	10:56:41	24.25	297.25		10:56:41	30.75	303.75
	10:56:51	24.75	297.75		10:56:51	30	303
	10:57:01	24.75	297.75		10:57:01	30.75	303.75
	10:57:11	25	298		10:57:11	30.75	303.75
	10:57:21	24.75	297.75		10:57:21	30.5	303.5
	10:57:31	25	298		10:57:31	30.5	303.5
	10:57:41	25	298		10:57:41	31	304
10:57:52	25.25	298.25	10:57:52	31.25	304.25		
10:58:02	24.75	297.75	10:58:02	31.5	304.5		
10:58:12	25.5	298.5	10:58:12	31.25	304.25		
10:58:22	25.5	298.5	10:58:22	31.25	304.25		
10:58:32	25.75	298.75	10:58:32	32	305		
10:58:42	25.75	298.75	10:58:42	31.75	304.75		

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

10:58:52	26	299
10:59:02	26	299
10:59:12	25.5	298.5
10:59:23	25.75	298.75
10:59:33	26	299
10:59:43	26.5	299.5
10:59:53	26.5	299.5
11:00:03	26.5	299.5
11:00:13	26.75	299.75
11:00:23	26.75	299.75
11:00:33	26.75	299.75
11:00:43	26.75	299.75
11:00:54	26.75	299.75
11:01:04	27.25	300.25
11:01:14	27.25	300.25
11:01:24	27.5	300.5
11:01:34	27.5	300.5
11:01:44	27.75	300.75
11:01:54	27.25	300.25
11:02:04	27.75	300.75
11:02:14	28	301
11:02:25	28.25	301.25
11:02:35	28	301
11:02:45	28.25	301.25
11:02:55	28.5	301.5
11:03:05	28.5	301.5
11:03:15	28.75	301.75
11:03:25	28.5	301.5
11:03:35	28.75	301.75
11:03:46	29	302
11:03:56	29.25	302.25
11:04:06	28.75	301.75
11:04:16	29.25	302.25
11:04:26	29.25	302.25
11:04:36	29.25	302.25

10:58:52	31.75	304.75
10:59:02	32	305
10:59:12	31.5	304.5
10:59:23	32.25	305.25
10:59:33	32	305
10:59:43	32.5	305.5
10:59:53	32	305
11:00:03	32.25	305.25
11:00:13	32.75	305.75
11:00:23	32.5	305.5
11:00:33	32.75	305.75
11:00:43	33	306
11:00:54	33	306
11:01:04	32.5	305.5
11:01:14	33	306
11:01:24	33.5	306.5
11:01:34	33.5	306.5
11:01:44	33.5	306.5
11:01:54	34	307
11:02:04	34	307
11:02:14	34	307
11:02:25	34.25	307.25
11:02:35	34	307
11:02:45	34.25	307.25
11:02:55	34.5	307.5
11:03:05	34.75	307.75
11:03:15	34.5	307.5
11:03:25	34.75	307.75
11:03:35	34.75	307.75
11:03:46	35.25	308.25
11:03:56	35.25	308.25
11:04:06	35.5	308.5
11:04:16	35.25	308.25
11:04:26	35.75	308.75
11:04:36	35.5	308.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:04:46	29.25	302.25
11:04:56	29.5	302.5
11:05:06	30	303
11:05:17	29.25	302.25
11:05:27	30.25	303.25
11:05:37	30.25	303.25
11:05:47	30.25	303.25
11:05:57	30	303
11:06:07	30.5	303.5
11:06:17	30.75	303.75
11:06:27	30.75	303.75
11:06:37	30.75	303.75
11:06:48	30.75	303.75
11:06:58	31	304
11:07:08	31	304
11:07:18	31.5	304.5
11:07:28	31.25	304.25
11:07:38	31.5	304.5
11:07:48	31.5	304.5
11:07:58	31.75	304.75
11:08:08	31.75	304.75
11:08:19	32	305
11:08:29	32.25	305.25
11:08:39	31.75	304.75
11:08:49	32.25	305.25
11:08:59	32.5	305.5
11:09:09	32.5	305.5
11:09:19	32.5	305.5
11:09:29	33	306
11:09:39	33.25	306.25
11:09:50	33	306
11:10:00	33.25	306.25
11:10:10	33.5	306.5
11:10:20	33.5	306.5
11:10:30	33	306

11:04:46	36	309
11:04:56	35.75	308.75
11:05:06	36	309
11:05:17	35.75	308.75
11:05:27	36	309
11:05:37	36.5	309.5
11:05:47	36.5	309.5
11:05:57	36.5	309.5
11:06:07	36.5	309.5
11:06:17	36.75	309.75
11:06:27	37	310
11:06:37	37.25	310.25
11:06:48	37	310
11:06:58	37.5	310.5
11:07:08	37.25	310.25
11:07:18	37.25	310.25
11:07:28	37.75	310.75
11:07:38	37.75	310.75
11:07:48	38	311
11:07:58	38.25	311.25
11:08:08	38.25	311.25
11:08:19	38.5	311.5
11:08:29	38.5	311.5
11:08:39	38.75	311.75
11:08:49	38.75	311.75
11:08:59	39	312
11:09:09	38.75	311.75
11:09:19	39	312
11:09:29	39.5	312.5
11:09:39	39.25	312.25
11:09:50	39.75	312.75
11:10:00	39.75	312.75
11:10:10	39.75	312.75
11:10:20	39.75	312.75
11:10:30	40	313

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:10:40	33.75	306.75
11:10:50	34	307
11:11:00	33.75	306.75
11:11:10	34	307
11:11:21	34.25	307.25
11:11:31	34.5	307.5
11:11:41	34.5	307.5
11:11:51	34.75	307.75
11:12:01	34.5	307.5
11:12:11	35	308
11:12:21	35	308
11:12:31	34.25	307.25
11:12:42	34.5	307.5
11:12:52	34.75	307.75
11:13:02	34.75	307.75
11:13:12	35	308
11:13:22	35	308
11:13:32	34.5	307.5
11:13:42	35.25	308.25
11:13:52	35.25	308.25
11:14:02	35.25	308.25
11:14:13	35.5	308.5
11:14:23	35.25	308.25
11:14:33	35	308
11:14:43	35	308
11:14:53	35.25	308.25
11:15:03	35.5	308.5
11:15:13	35	308
11:15:23	35.5	308.5
11:15:33	34.5	307.5
11:15:44	35	308
11:15:54	35	308
11:16:04	36	309
11:16:14	35.5	308.5
11:16:24	35.75	308.75

11:10:40	40	313
11:10:50	39.75	312.75
11:11:00	40.25	313.25
11:11:10	40.5	313.5
11:11:21	40.75	313.75
11:11:31	41	314
11:11:41	40.25	313.25
11:11:51	41	314
11:12:01	41.5	314.5
11:12:11	41	314
11:12:21	41.5	314.5
11:12:31	41.5	314.5
11:12:42	41.75	314.75
11:12:52	41.75	314.75
11:13:02	42	315
11:13:12	42.25	315.25
11:13:22	42	315
11:13:32	41.75	314.75
11:13:42	42.5	315.5
11:13:52	41.5	314.5
11:14:02	42.25	315.25
11:14:13	42	315
11:14:23	42.75	315.75
11:14:33	42.25	315.25
11:14:43	43	316
11:14:53	42.5	315.5
11:15:03	42.75	315.75
11:15:13	43.5	316.5
11:15:23	43	316
11:15:33	43.5	316.5
11:15:44	43.75	316.75
11:15:54	43.25	316.25
11:16:04	44	317
11:16:14	44	317
11:16:24	44.25	317.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:16:34	36.25	309.25
11:16:44	36.25	309.25
11:16:54	36.5	309.5
11:17:04	36.5	309.5
11:17:15	36.5	309.5
11:17:25	36.75	309.75
11:17:35	37.25	310.25
11:17:45	36.75	309.75
11:17:55	37	310
11:18:05	37.5	310.5
11:18:15	36.75	309.75
11:18:25	37.25	310.25
11:18:35	37.5	310.5
11:18:46	37.25	310.25
11:18:56	37.5	310.5
11:19:06	37.75	310.75
11:19:16	38.25	311.25
11:19:26	37.5	310.5
11:19:36	38.25	311.25
11:19:46	38.25	311.25
11:19:56	38.75	311.75
11:20:07	38.75	311.75
11:20:17	38.75	311.75
11:20:27	38.75	311.75
11:20:37	39	312
11:20:47	38.75	311.75
11:20:57	39.25	312.25
11:21:07	38.75	311.75
11:21:17	39.5	312.5
11:21:27	39.25	312.25
11:21:38	39.75	312.75
11:21:48	39.75	312.75
11:21:58	39.75	312.75
11:22:08	39.5	312.5
11:22:18	39.75	312.75

11:16:34	44.25	317.25
11:16:44	44.25	317.25
11:16:54	44.25	317.25
11:17:04	44.25	317.25
11:17:15	44.75	317.75
11:17:25	45	318
11:17:35	45	318
11:17:45	45.25	318.25
11:17:55	45.25	318.25
11:18:05	45.5	318.5
11:18:15	45.25	318.25
11:18:25	45	318
11:18:35	45.75	318.75
11:18:46	46.25	319.25
11:18:56	46	319
11:19:06	46	319
11:19:16	46	319
11:19:26	45.75	318.75
11:19:36	46.75	319.75
11:19:46	47	320
11:19:56	47	320
11:20:07	47	320
11:20:17	47.5	320.5
11:20:27	47	320
11:20:37	47.5	320.5
11:20:47	47.75	320.75
11:20:57	47.75	320.75
11:21:07	47.75	320.75
11:21:17	47.75	320.75
11:21:27	48.25	321.25
11:21:38	48.25	321.25
11:21:48	48.25	321.25
11:21:58	48.25	321.25
11:22:08	48.5	321.5
11:22:18	48.5	321.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:22:28	40	313
11:22:38	40.25	313.25
11:22:48	40.5	313.5
11:22:58	40.5	313.5
11:23:09	40.75	313.75
11:23:19	40.25	313.25
11:23:29	41	314
11:23:39	41	314
11:23:49	41.25	314.25
11:23:59	41.25	314.25
11:24:09	41.25	314.25
11:24:19	41.25	314.25
11:24:29	41.5	314.5
11:24:40	41.5	314.5
11:24:50	41.75	314.75
11:25:00	42	315
11:25:10	42.25	315.25
11:25:20	42.25	315.25
11:25:30	42.25	315.25
11:25:40	42.5	315.5
11:25:50	42.75	315.75
11:26:00	42.5	315.5
11:26:11	43	316
11:26:21	43	316
11:26:31	42.5	315.5
11:26:41	43.25	316.25
11:26:51	42.5	315.5
11:27:01	43	316
11:27:11	43	316
11:27:21	43.5	316.5
11:27:32	43	316
11:27:42	43.5	316.5
11:27:52	43.5	316.5
11:28:02	43.75	316.75
11:28:12	43.75	316.75

11:22:28	49	322
11:22:38	49.25	322.25
11:22:48	48.75	321.75
11:22:58	49	322
11:23:09	48.75	321.75
11:23:19	49.75	322.75
11:23:29	49.5	322.5
11:23:39	49.5	322.5
11:23:49	50.25	323.25
11:23:59	49.75	322.75
11:24:09	50.25	323.25
11:24:19	50	323
11:24:29	50.25	323.25
11:24:40	50.5	323.5
11:24:50	50.75	323.75
11:25:00	51	324
11:25:10	51	324
11:25:20	51.25	324.25
11:25:30	52	325
11:25:40	52.25	325.25
11:25:50	52	325
11:26:00	52	325
11:26:11	52.25	325.25
11:26:21	52.75	325.75
11:26:31	53	326
11:26:41	52.25	325.25
11:26:51	53.25	326.25
11:27:01	53.25	326.25
11:27:11	53.5	326.5
11:27:21	53.5	326.5
11:27:32	53.5	326.5
11:27:42	53.5	326.5
11:27:52	53.5	326.5
11:28:02	53.75	326.75
11:28:12	53.5	326.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:28:22	43.5	316.5
11:28:32	44.25	317.25
11:28:42	43.75	316.75
11:28:52	44.5	317.5
11:29:03	44.25	317.25
11:29:13	44.75	317.75
11:29:23	45	318
11:29:33	44.75	317.75
11:29:43	44.75	317.75
11:29:53	45.25	318.25
11:30:03	45.25	318.25
11:30:13	45	318
11:30:23	45.5	318.5
11:30:34	45.5	318.5
11:30:44	45.5	318.5
11:30:54	45.75	318.75
11:31:04	45.75	318.75
11:31:14	46.25	319.25
11:31:24	46.25	319.25
11:31:34	46	319
11:31:44	46.5	319.5
11:31:54	46.75	319.75
11:32:05	46.75	319.75
11:32:15	46.75	319.75
11:32:25	47	320
11:32:35	47.5	320.5
11:32:45	47.25	320.25
11:32:55	47.5	320.5
11:33:05	47.25	320.25
11:33:15	47.75	320.75
11:33:26	47.5	320.5
11:33:36	48	321
11:33:46	47.75	320.75
11:33:56	48	321
11:34:06	48	321

11:28:22	53.75	326.75
11:28:32	53.75	326.75
11:28:42	54.25	327.25
11:28:52	54.25	327.25
11:29:03	54.25	327.25
11:29:13	53.75	326.75
11:29:23	54.25	327.25
11:29:33	54.75	327.75
11:29:43	55	328
11:29:53	55	328
11:30:03	54.5	327.5
11:30:13	55.25	328.25
11:30:23	55.25	328.25
11:30:34	55	328
11:30:44	55.75	328.75
11:30:54	55.25	328.25
11:31:04	56	329
11:31:14	55.75	328.75
11:31:24	56	329
11:31:34	56.25	329.25
11:31:44	56	329
11:31:54	56.5	329.5
11:32:05	56.5	329.5
11:32:15	57	330
11:32:25	56.75	329.75
11:32:35	57.25	330.25
11:32:45	57	330
11:32:55	57	330
11:33:05	57.25	330.25
11:33:15	57.5	330.5
11:33:26	57.25	330.25
11:33:36	57.5	330.5
11:33:46	57.25	330.25
11:33:56	58	331
11:34:06	57.75	330.75



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:34:16	48.25	321.25
11:34:26	47.75	320.75
11:34:36	48	321
11:34:46	48.5	321.5
11:34:57	48.25	321.25
11:35:07	48.5	321.5
11:35:17	48.75	321.75
11:35:27	48.5	321.5
11:35:37	49	322
11:35:47	49	322
11:35:57	49.25	322.25
11:36:07	49.25	322.25
11:36:17	49	322
11:36:28	49.5	322.5
11:36:38	49.5	322.5
11:36:48	49.75	322.75
11:36:58	49.75	322.75
11:37:08	49.75	322.75
11:37:18	49.5	322.5
11:37:28	50	323
11:37:38	50	323
11:37:48	50.25	323.25
11:37:59	50	323
11:38:09	50.25	323.25
11:38:19	50.25	323.25
11:38:29	50.25	323.25
11:38:39	50.5	323.5
11:38:49	50.5	323.5
11:38:59	51.25	324.25
11:39:09	50.75	323.75
11:39:19	51	324
11:39:30	51	324
11:39:40	50.75	323.75
11:39:50	51.5	324.5
11:40:00	51.25	324.25

11:34:16	58	331
11:34:26	58	331
11:34:36	58	331
11:34:46	58	331
11:34:57	58.75	331.75
11:35:07	58.75	331.75
11:35:17	59	332
11:35:27	59	332
11:35:37	58.75	331.75
11:35:47	58.75	331.75
11:35:57	59.5	332.5
11:36:07	59.25	332.25
11:36:17	59.5	332.5
11:36:28	59.75	332.75
11:36:38	60	333
11:36:48	60	333
11:36:58	59.25	332.25
11:37:08	59.5	332.5
11:37:18	60.25	333.25
11:37:28	60.5	333.5
11:37:38	60.25	333.25
11:37:48	60.75	333.75
11:37:59	60.5	333.5
11:38:09	61	334
11:38:19	61.25	334.25
11:38:29	61.25	334.25
11:38:39	60.75	333.75
11:38:49	61	334
11:38:59	61.5	334.5
11:39:09	61.75	334.75
11:39:19	61.5	334.5
11:39:30	61.5	334.5
11:39:40	61.25	334.25
11:39:50	62	335
11:40:00	62	335

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:40:10	51.5	324.5
11:40:20	51.75	324.75
11:40:30	52.25	325.25
11:40:40	51.5	324.5
11:40:51	51.5	324.5
11:41:01	52	325
11:41:11	52.5	325.5
11:41:21	52.25	325.25
11:41:31	52.25	325.25
11:41:41	52.5	325.5
11:41:51	52.75	325.75
11:42:01	52.75	325.75
11:42:11	53	326
11:42:22	53	326
11:42:32	52.5	325.5
11:42:42	53.25	326.25
11:42:52	53.25	326.25
11:43:02	53.25	326.25
11:43:12	53.75	326.75
11:43:22	53.75	326.75
11:43:32	53.75	326.75
11:43:42	54.25	327.25
11:43:53	54	327
11:44:03	54	327
11:44:13	54.25	327.25
11:44:23	54	327
11:44:33	54.25	327.25
11:44:43	54.25	327.25
11:44:53	55	328
11:45:03	55	328
11:45:13	55	328
11:45:24	55.25	328.25
11:45:34	55.25	328.25
11:45:44	55	328
11:45:54	55.5	328.5

11:40:10	62.25	335.25
11:40:20	62.5	335.5
11:40:30	62.75	335.75
11:40:40	62.25	335.25
11:40:51	64.25	337.25
11:41:01	64.75	337.75
11:41:11	65.5	338.5
11:41:21	65.25	338.25
11:41:31	65.75	338.75
11:41:41	66	339
11:41:51	66.25	339.25
11:42:01	66	339
11:42:11	66.5	339.5
11:42:22	66	339
11:42:32	66.5	339.5
11:42:42	67	340
11:42:52	66.5	339.5
11:43:02	67.25	340.25
11:43:12	67	340
11:43:22	67.5	340.5
11:43:32	67.5	340.5
11:43:42	67.5	340.5
11:43:53	67.5	340.5
11:44:03	65.5	338.5
11:44:13	65.75	338.75
11:44:23	66.25	339.25
11:44:33	66	339
11:44:43	65.5	338.5
11:44:53	66	339
11:45:03	66.25	339.25
11:45:13	65.75	338.75
11:45:24	66.5	339.5
11:45:34	65.5	338.5
11:45:44	66.5	339.5
11:45:54	66.5	339.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:46:04	55.75	328.75
11:46:14	55.75	328.75
11:46:24	55.25	328.25
11:46:34	56	329
11:46:44	56	329
11:46:55	55.75	328.75
11:47:05	56	329
11:47:15	56.25	329.25
11:47:25	56.25	329.25
11:47:35	56.75	329.75
11:47:45	56.25	329.25
11:47:55	57.25	330.25
11:48:05	57.25	330.25
11:48:16	57	330
11:48:26	57.25	330.25
11:48:36	57.25	330.25
11:48:46	57	330
11:48:56	57.75	330.75
11:49:06	57.75	330.75
11:49:16	57.75	330.75
11:49:26	58	331
11:49:36	58.25	331.25
11:49:47	58.5	331.5
11:49:57	58.25	331.25
11:50:07	58.5	331.5
11:50:17	58.5	331.5
11:50:27	59	332
11:50:37	59	332
11:50:47	59.25	332.25
11:50:57	59	332
11:51:07	59	332
11:51:18	59	332
11:51:28	59	332
11:51:38	59.25	332.25
11:51:48	59	332

11:46:04	66.75	339.75
11:46:14	66.25	339.25
11:46:24	66.25	339.25
11:46:34	66.5	339.5
11:46:44	67	340
11:46:55	67.25	340.25
11:47:05	67	340
11:47:15	67.25	340.25
11:47:25	67.25	340.25
11:47:35	67.5	340.5
11:47:45	67.75	340.75
11:47:55	67	340
11:48:05	67.75	340.75
11:48:16	68	341
11:48:26	67.25	340.25
11:48:36	67.75	340.75
11:48:46	68.25	341.25
11:48:56	68.5	341.5
11:49:06	68.5	341.5
11:49:16	68.75	341.75
11:49:26	68.5	341.5
11:49:36	69.25	342.25
11:49:47	68.75	341.75
11:49:57	69.25	342.25
11:50:07	69.25	342.25
11:50:17	69.5	342.5
11:50:27	69.75	342.75
11:50:37	70	343
11:50:47	69.75	342.75
11:50:57	70	343
11:51:07	70.25	343.25
11:51:18	71	344
11:51:28	71.75	344.75
11:51:38	72	345
11:51:48	72.5	345.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

11:51:58	59	332
11:52:08	59.75	332.75
11:52:18	60	333
11:52:28	60	333
11:52:38	60.25	333.25
11:52:49	60	333
11:52:59	60.25	333.25
11:53:09	60.5	333.5
11:53:19	60.75	333.75
11:53:29	60.5	333.5
11:53:39	60.25	333.25
11:53:49	61	334
11:53:59	61	334
11:54:10	61	334
11:54:20	60.5	333.5
11:54:30	61	334
11:54:40	60.75	333.75
11:54:50	61.25	334.25
11:55:00	61.25	334.25
11:55:10	61.25	334.25
11:55:20	61.25	334.25
11:55:30	61.25	334.25
11:55:41	61.5	334.5
11:55:51	61.5	334.5
11:56:01	61.5	334.5
11:56:11	61.5	334.5
11:56:21	61.5	334.5
11:56:31	61.5	334.5
11:56:41	61.5	334.5
11:56:51	61.75	334.75
11:57:01	62.25	335.25
11:57:12	61.5	334.5
11:57:22	61.5	334.5
11:57:32	61.75	334.75
11:57:42	62.5	335.5

11:51:58	72.75	345.75
11:52:08	73	346
11:52:18	73	346
11:52:28	79.5	352.5
11:52:38	79.75	352.75
11:52:49	86	359
11:52:59	87.5	360.5
11:53:09	86	359
11:53:19	87.5	360.5
11:53:29	86.75	359.75
11:53:39	86.5	359.5
11:53:49	86.5	359.5
11:53:59	86.5	359.5
11:54:10	86	359
11:54:20	84.75	357.75
11:54:30	84	357
11:54:40	79.5	352.5
11:54:50	75.75	348.75
11:55:00	76.75	349.75
11:55:10	76.5	349.5
11:55:20	76.75	349.75
11:55:30	76.75	349.75
11:55:41	76.75	349.75
11:55:51	77	350
11:56:01	77.5	350.5
11:56:11	77.5	350.5
11:56:21	77.25	350.25
11:56:31	77.5	350.5
11:56:41	77.25	350.25
11:56:51	77.75	350.75
11:57:01	78	351
11:57:12	77.5	350.5
11:57:22	78	351
11:57:32	78.25	351.25
11:57:42	78.5	351.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

11:57:52	62.5	335.5
11:58:02	61.75	334.75
11:58:12	62.25	335.25
11:58:22	62.5	335.5
11:58:32	62.5	335.5
11:58:43	62.5	335.5
11:58:53	62.5	335.5
11:59:03	62	335
11:59:13	62	335
11:59:23	63	336
11:59:33	62.75	335.75
11:59:43	62.5	335.5
11:59:53	62.75	335.75
12:00:03	63	336
12:00:14	63	336
12:00:24	62.75	335.75
12:00:34	63.25	336.25
12:00:44	62.75	335.75
12:00:54	63	336
12:01:04	63	336
12:01:14	63.5	336.5
12:01:24	63.5	336.5
12:01:35	63.5	336.5
12:01:45	63.25	336.25
12:01:55	63.75	336.75
12:02:05	63.75	336.75
12:02:15	64	337
12:02:25	63.75	336.75
12:02:35	64	337
12:02:45	63.5	336.5
12:02:55	63.5	336.5
12:03:06	64	337
12:03:16	64	337
12:03:26	64.25	337.25
12:03:36	64.25	337.25

11:57:52	78.75	351.75
11:58:02	78.75	351.75
11:58:12	79	352
11:58:22	79	352
11:58:32	78.75	351.75
11:58:43	79.25	352.25
11:58:53	79.5	352.5
11:59:03	78.75	351.75
11:59:13	80	353
11:59:23	79.5	352.5
11:59:33	80	353
11:59:43	80	353
11:59:53	80.25	353.25
12:00:03	80.5	353.5
12:00:14	80.25	353.25
12:00:24	80.5	353.5
12:00:34	80.75	353.75
12:00:44	81	354
12:00:54	80.75	353.75
12:01:04	80.5	353.5
12:01:14	81.25	354.25
12:01:24	81	354
12:01:35	81	354
12:01:45	81.5	354.5
12:01:55	81.75	354.75
12:02:05	81.25	354.25
12:02:15	81.25	354.25
12:02:25	81.75	354.75
12:02:35	81.5	354.5
12:02:45	81.75	354.75
12:02:55	82	355
12:03:06	82	355
12:03:16	82.25	355.25
12:03:26	82.25	355.25
12:03:36	82.25	355.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:03:46	64	337
12:03:56	64.5	337.5
12:04:06	64.5	337.5
12:04:16	64.25	337.25
12:04:26	64.75	337.75
12:04:37	64.75	337.75
12:04:47	64.75	337.75
12:04:57	64.5	337.5
12:05:07	64.75	337.75
12:05:17	64.5	337.5
12:05:27	65	338
12:05:37	64.75	337.75
12:05:47	65	338
12:05:57	64.5	337.5
12:06:08	64.75	337.75
12:06:18	64.75	337.75
12:06:28	65.5	338.5
12:06:38	65.25	338.25
12:06:48	65.5	338.5
12:06:58	65.5	338.5
12:07:08	65.5	338.5
12:07:18	65.75	338.75
12:07:28	65.5	338.5
12:07:39	65.25	338.25
12:07:49	65.5	338.5
12:07:59	65.75	338.75
12:08:09	66	339
12:08:19	65.75	338.75
12:08:29	65.5	338.5
12:08:39	65.5	338.5
12:08:49	66	339
12:09:00	66	339
12:09:10	66	339
12:09:20	66	339
12:09:30	65.75	338.75

12:03:46	82.5	355.5
12:03:56	82.75	355.75
12:04:06	83	356
12:04:16	83	356
12:04:26	83.25	356.25
12:04:37	83	356
12:04:47	83.25	356.25
12:04:57	83.25	356.25
12:05:07	83.75	356.75
12:05:17	83.5	356.5
12:05:27	83.75	356.75
12:05:37	84	357
12:05:47	84	357
12:05:57	83.75	356.75
12:06:08	83.75	356.75
12:06:18	84.25	357.25
12:06:28	84.25	357.25
12:06:38	84.5	357.5
12:06:48	84.5	357.5
12:06:58	84.5	357.5
12:07:08	84.25	357.25
12:07:18	85	358
12:07:28	84.75	357.75
12:07:39	85	358
12:07:49	85	358
12:07:59	85.5	358.5
12:08:09	85	358
12:08:19	85	358
12:08:29	85.5	358.5
12:08:39	85.5	358.5
12:08:49	85.75	358.75
12:09:00	86	359
12:09:10	85.75	358.75
12:09:20	86	359
12:09:30	86	359

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:09:40	66	339
12:09:50	66	339
12:10:00	66.25	339.25
12:10:10	66.25	339.25
12:10:20	66.25	339.25
12:10:31	66	339
12:10:41	66.25	339.25
12:10:51	66.5	339.5
12:11:01	66.25	339.25
12:11:11	66.5	339.5
12:11:21	66.5	339.5
12:11:31	66.75	339.75
12:11:41	66.75	339.75
12:11:51	66.25	339.25
12:12:02	66.5	339.5
12:12:12	66.25	339.25
12:12:22	66.75	339.75
12:12:32	66.75	339.75
12:12:42	67	340
12:12:52	66.25	339.25
12:13:02	67	340
12:13:12	67	340
12:13:22	66.75	339.75
12:13:33	66.5	339.5
12:13:43	66.75	339.75
12:13:53	66.5	339.5
12:14:03	67	340
12:14:13	67	340
12:14:23	67	340
12:14:33	67	340
12:14:43	66.25	339.25
12:14:53	67	340
12:15:04	66.75	339.75
12:15:14	67	340
12:15:24	67	340

12:09:40	86	359
12:09:50	86.5	359.5
12:10:00	86.5	359.5
12:10:10	86.5	359.5
12:10:20	86.5	359.5
12:10:31	86.5	359.5
12:10:41	86.75	359.75
12:10:51	87	360
12:11:01	87.25	360.25
12:11:11	86.75	359.75
12:11:21	87	360
12:11:31	87.25	360.25
12:11:41	87.25	360.25
12:11:51	87	360
12:12:02	87.5	360.5
12:12:12	87.75	360.75
12:12:22	88	361
12:12:32	87.75	360.75
12:12:42	88	361
12:12:52	88.5	361.5
12:13:02	87.75	360.75
12:13:12	88	361
12:13:22	88.5	361.5
12:13:33	88.75	361.75
12:13:43	88.75	361.75
12:13:53	88.5	361.5
12:14:03	88.5	361.5
12:14:13	89	362
12:14:23	89.25	362.25
12:14:33	89.5	362.5
12:14:43	89.75	362.75
12:14:53	89.25	362.25
12:15:04	89.5	362.5
12:15:14	89.25	362.25
12:15:24	89.75	362.75

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:15:34	67.25	340.25
12:15:44	67	340
12:15:54	67.25	340.25
12:16:04	67.5	340.5
12:16:14	67.5	340.5
12:16:25	67.25	340.25
12:16:35	67	340
12:16:45	67.5	340.5
12:16:55	67.75	340.75
12:17:05	67.5	340.5
12:17:15	67.5	340.5
12:17:25	67.75	340.75
12:17:35	67.5	340.5
12:17:45	68	341
12:17:56	67.5	340.5
12:18:06	67.5	340.5
12:18:16	68	341
12:18:26	68	341
12:18:36	68	341
12:18:46	68	341
12:18:56	68.5	341.5
12:19:06	68.25	341.25
12:19:16	68.75	341.75
12:19:27	68.5	341.5
12:19:37	68.75	341.75
12:19:47	68.75	341.75
12:19:57	69	342
12:20:07	68.25	341.25
12:20:17	69	342
12:20:27	68.75	341.75
12:20:37	68.75	341.75
12:20:47	69.25	342.25
12:20:58	69.5	342.5
12:21:08	69.25	342.25
12:21:18	69.5	342.5

12:15:34	89.5	362.5
12:15:44	90	363
12:15:54	90	363
12:16:04	90.25	363.25
12:16:14	90.25	363.25
12:16:25	90	363
12:16:35	90.5	363.5
12:16:45	90	363
12:16:55	90.5	363.5
12:17:05	90.5	363.5
12:17:15	90.5	363.5
12:17:25	90.75	363.75
12:17:35	91	364
12:17:45	91	364
12:17:56	91.5	364.5
12:18:06	91.25	364.25
12:18:16	91.5	364.5
12:18:26	91.75	364.75
12:18:36	91.75	364.75
12:18:46	91.5	364.5
12:18:56	91.75	364.75
12:19:06	92	365
12:19:16	92.25	365.25
12:19:27	92.25	365.25
12:19:37	92.25	365.25
12:19:47	92.5	365.5
12:19:57	92.5	365.5
12:20:07	92.75	365.75
12:20:17	92.25	365.25
12:20:27	93	366
12:20:37	92.25	365.25
12:20:47	92.75	365.75
12:20:58	93.25	366.25
12:21:08	92.5	365.5
12:21:18	93.25	366.25



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:21:28	69.25	342.25
12:21:38	69.5	342.5
12:21:48	69.5	342.5
12:21:58	69.75	342.75
12:22:08	69.75	342.75
12:22:18	69.75	342.75
12:22:29	69.5	342.5
12:22:39	70.25	343.25
12:22:49	70	343
12:22:59	70	343
12:23:09	70.75	343.75
12:23:19	70.25	343.25
12:23:29	70.75	343.75
12:23:39	70.5	343.5
12:23:50	70.5	343.5
12:24:00	71	344
12:24:10	71	344
12:24:20	70.25	343.25
12:24:30	70.75	343.75
12:24:40	71	344
12:24:50	71	344
12:25:00	71.25	344.25
12:25:10	71.25	344.25
12:25:21	71.25	344.25
12:25:31	71	344
12:25:41	71.25	344.25
12:25:51	71.5	344.5
12:26:01	71.25	344.25
12:26:11	71.75	344.75
12:26:21	72	345
12:26:31	72.25	345.25
12:26:41	72	345
12:26:52	72.25	345.25
12:27:02	72.25	345.25
12:27:12	72.25	345.25

12:21:28	93.5	366.5
12:21:38	93.5	366.5
12:21:48	93.5	366.5
12:21:58	93.25	366.25
12:22:08	94	367
12:22:18	94	367
12:22:29	94	367
12:22:39	94	367
12:22:49	93.75	366.75
12:22:59	94.25	367.25
12:23:09	94.5	367.5
12:23:19	94.5	367.5
12:23:29	94.5	367.5
12:23:39	94.75	367.75
12:23:50	94.75	367.75
12:24:00	94.5	367.5
12:24:10	94.75	367.75
12:24:20	95	368
12:24:30	95	368
12:24:40	95	368
12:24:50	95	368
12:25:00	95.25	368.25
12:25:10	95.25	368.25
12:25:21	95.75	368.75
12:25:31	95.5	368.5
12:25:41	95.5	368.5
12:25:51	95.5	368.5
12:26:01	95.75	368.75
12:26:11	96	369
12:26:21	95.75	368.75
12:26:31	96.25	369.25
12:26:41	96	369
12:26:52	96.25	369.25
12:27:02	96.5	369.5
12:27:12	96.25	369.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:27:22	72.5	345.5
12:27:32	72.25	345.25
12:27:42	72.75	345.75
12:27:52	72.5	345.5
12:28:02	72.5	345.5
12:28:12	72.75	345.75
12:28:23	73	346
12:28:33	72.75	345.75
12:28:43	73.25	346.25
12:28:53	73.25	346.25
12:29:03	73.25	346.25
12:29:13	73.5	346.5
12:29:23	73.5	346.5
12:29:33	73.5	346.5
12:29:43	73.75	346.75
12:29:54	74	347
12:30:04	73.75	346.75
12:30:14	73.75	346.75
12:30:24	73.75	346.75
12:30:34	73.75	346.75
12:30:44	74	347
12:30:54	73.5	346.5
12:31:04	74.5	347.5
12:31:15	74.25	347.25
12:31:25	74.5	347.5
12:31:35	74.25	347.25
12:31:45	74.5	347.5
12:31:55	74.5	347.5
12:32:05	74.75	347.75
12:32:15	74.75	347.75
12:32:25	74.5	347.5
12:32:35	75	348
12:32:46	75	348
12:32:56	75	348
12:33:06	75.25	348.25

12:27:22	96.5	369.5
12:27:32	97	370
12:27:42	97.25	370.25
12:27:52	97	370
12:28:02	96.75	369.75
12:28:12	97.5	370.5
12:28:23	97.5	370.5
12:28:33	97.25	370.25
12:28:43	97.5	370.5
12:28:53	97.75	370.75
12:29:03	97.5	370.5
12:29:13	98	371
12:29:23	97.75	370.75
12:29:33	98.25	371.25
12:29:43	98.5	371.5
12:29:54	98.5	371.5
12:30:04	98	371
12:30:14	98.75	371.75
12:30:24	98.5	371.5
12:30:34	98.75	371.75
12:30:44	98.75	371.75
12:30:54	98.75	371.75
12:31:04	99.25	372.25
12:31:15	99	372
12:31:25	99	372
12:31:35	99.25	372.25
12:31:45	99	372
12:31:55	99.25	372.25
12:32:05	99.25	372.25
12:32:15	99.75	372.75
12:32:25	99.75	372.75
12:32:35	99.5	372.5
12:32:46	99.75	372.75
12:32:56	99.5	372.5
12:33:06	99.5	372.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:33:16	75	348
12:33:26	75.25	348.25
12:33:36	75.5	348.5
12:33:46	75.5	348.5
12:33:56	75.25	348.25
12:34:06	74.75	347.75
12:34:17	75.75	348.75
12:34:27	75.5	348.5
12:34:37	75.75	348.75
12:34:47	75.75	348.75
12:34:57	76	349
12:35:07	75.75	348.75
12:35:17	76	349
12:35:27	76	349
12:35:37	76.25	349.25
12:35:48	76.25	349.25
12:35:58	76	349
12:36:08	76	349
12:36:18	76.5	349.5
12:36:28	76.25	349.25
12:36:38	76.75	349.75
12:36:48	76.5	349.5
12:36:58	76	349
12:37:08	76.5	349.5
12:37:19	76	349
12:37:29	76.25	349.25
12:37:39	76.5	349.5
12:37:49	76.5	349.5
12:37:59	76.5	349.5
12:38:09	76.5	349.5
12:38:19	76.5	349.5
12:38:29	76.5	349.5
12:38:40	76.75	349.75
12:38:50	76.25	349.25
12:39:00	76.75	349.75

12:33:16	99.75	372.75
12:33:26	100	373
12:33:36	99.75	372.75
12:33:46	100.5	373.5
12:33:56	100.5	373.5
12:34:06	100.25	373.25
12:34:17	100.5	373.5
12:34:27	86.25	359.25
12:34:37	67	340
12:34:47	89.75	362.75
12:34:57	97.75	370.75
12:35:07	99	372
12:35:17	98.75	371.75
12:35:27	99	372
12:35:37	99	372
12:35:48	99.25	372.25
12:35:58	99	372
12:36:08	99	372
12:36:18	99.25	372.25
12:36:28	99.25	372.25
12:36:38	99	372
12:36:48	99	372
12:36:58	99.75	372.75
12:37:08	99.5	372.5
12:37:19	99.75	372.75
12:37:29	99.75	372.75
12:37:39	99.75	372.75
12:37:49	100	373
12:37:59	99.75	372.75
12:38:09	100	373
12:38:19	100	373
12:38:29	100.25	373.25
12:38:40	100	373
12:38:50	100.25	373.25
12:39:00	100.5	373.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

12:39:10	76	349
12:39:20	76.75	349.75
12:39:30	76.75	349.75
12:39:40	76.75	349.75
12:39:50	76.75	349.75
12:40:00	76.5	349.5
12:40:11	76.75	349.75
12:40:21	76.75	349.75
12:40:31	76.5	349.5
12:40:41	76.25	349.25
12:40:51	76.5	349.5
12:41:01	76.5	349.5
12:41:11	77	350
12:41:21	77	350
12:41:31	77.25	350.25
12:41:42	77.25	350.25
12:41:52	77	350
12:42:02	77	350
12:42:12	76.5	349.5
12:42:22	77	350
12:42:32	77.5	350.5
12:42:42	77	350
12:42:52	77.5	350.5
12:43:02	77.25	350.25
12:43:13	77.25	350.25
12:43:23	77.5	350.5
12:43:33	77.5	350.5
12:43:43	77.25	350.25
12:43:53	77.25	350.25
12:44:03	77.75	350.75
12:44:13	77	350
12:44:23	77.5	350.5
12:44:33	77.5	350.5
12:44:44	77.5	350.5
12:44:54	77.5	350.5

12:39:10	100.25	373.25
12:39:20	100.75	373.75
12:39:30	100.75	373.75
12:39:40	100.5	373.5
12:39:50	100.5	373.5
12:40:00	101	374
12:40:11	100.5	373.5
12:40:21	101	374
12:40:31	101	374
12:40:41	101	374
12:40:51	101.25	374.25
12:41:01	101	374
12:41:11	101.5	374.5
12:41:21	101.25	374.25
12:41:31	102	375
12:41:42	101.25	374.25
12:41:52	102	375
12:42:02	101.75	374.75
12:42:12	102	375
12:42:22	102.25	375.25
12:42:32	102	375
12:42:42	102.25	375.25
12:42:52	102.5	375.5
12:43:02	102.25	375.25
12:43:13	102	375
12:43:23	102.5	375.5
12:43:33	102.25	375.25
12:43:43	102.5	375.5
12:43:53	103	376

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

12:45:04	77.75	350.75
12:45:14	77.75	350.75
12:45:24	77.25	350.25
12:45:34	77.5	350.5
12:45:44	77.75	350.75
12:45:54	77.25	350.25
12:46:04	77.25	350.25
12:46:15	77.25	350.25
12:46:25	77.5	350.5
12:46:35	78	351
12:46:45	77.75	350.75
12:46:55	78	351
12:47:05	77.5	350.5
12:47:15	77.5	350.5
12:47:25	78	351
12:47:36	77.5	350.5
12:47:46	78	351
12:47:56	78	351
12:48:06	77.75	350.75
12:48:16	78.25	351.25
12:48:26	78	351
12:48:36	77.75	350.75
12:48:46	78.5	351.5
12:48:56	78.25	351.25
12:49:07	77.75	350.75
12:49:17	78.5	351.5
12:49:27	78.5	351.5
12:49:37	78.5	351.5
12:49:47	78.25	351.25
12:49:57	78.75	351.75
12:50:07	78.25	351.25
12:50:17	78	351
12:50:27	78.75	351.75
12:50:38	78.5	351.5
12:50:48	78.75	351.75

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

12:50:58	78.75	351.75
12:51:08	78	351
12:51:18	78.75	351.75
12:51:28	78.75	351.75
12:51:38	79.25	352.25
12:51:48	79	352
12:51:58	79	352
12:52:09	79.25	352.25
12:52:19	79.5	352.5
12:52:29	79	352
12:52:39	79.25	352.25
12:52:49	79	352
12:52:59	79.25	352.25
12:53:09	78.75	351.75
12:53:19	79.5	352.5
12:53:30	79.5	352.5
12:53:40	79.75	352.75
12:53:50	79.75	352.75
12:54:00	79.5	352.5
12:54:10	79.5	352.5
12:54:20	80	353
12:54:30	79.75	352.75
12:54:40	80	353
12:54:50	80	353
12:55:01	80	353
12:55:11	80.25	353.25
12:55:21	80	353
12:55:31	80.25	353.25
12:55:41	80.5	353.5
12:55:51	80.5	353.5

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

<b>Día</b>	<b>Tiempo del experimento (s)</b>	<b>Temperatura Inicial (°C)</b>	<b>Temperatura Final (°C)</b>
1	10:54-12:54	21.75	90.5
2	10:54-12:51	21.75	90
3	10:54-12:54	20.75	63.5
4	10:54-12:55	22.25	62.75
5	10:53-12:55	22	80.5
6	10:53-12:56	28	103

**Anexo 6. Evidencia de operación del colector.**



**Figura 60.** Evidencia de toma de datos con el colector solar.



## Anexo 7. Datos de recolección durante 12 días de experimentación.

Ensayo	Ambiente	Hora		Radiación Promedio (W/m <sup>2</sup> )	Temperatura del Agua			Qu (W)
		Inicio	Fin		Ta (°C)	Ti(°C)	To(°C)	
1	Nublado	10:30	12:30	400	17	18	45	7.838
2	P. Nublado	13:30	15:30	500	19	20	50	8.708
3	Nublado	10:30	12:30	350	20	21	43	6.386
4	Nublado	13:30	15:30	250	19	20	43	6.676
5	Nublado	10:30	12:30	150	18	20	35	4.354
6	Nublado/Lluvia	14:00	16:00	180	17	18	25	2.032
7	Nublado	10:30	12:30	210	18	19	35	4.644
8	Nublado	14:00	16:00	450	17	18	30	3.483
9	Despejado	10:30	12:30	800	20	21	60	11.321
10	Soleado	14:00	16:00	1200	20	21	80	17.126
11	Soleado	10:30	12:30	850	21	20	75	15.965
12	Soleado	14:00	16:00	1000	21	21	90	20.029
<b>Promedio</b>				<b>700</b>	<b>19</b>	<b>19.5</b>	<b>67.5</b>	<b>13.933</b>

Figura 61. Datos del calor útil durante 12 ensayos.

Ensayo	Ambiente	Hora		Radiación Promedio (W/m <sup>2</sup> )	Temperatura del Agua			Qu (W)	Rendimiento
		Inicio	Fin		Ta (°C)	Ti(°C)	To(°C)		
1	Nublado	10:30	12:30	400	17	18	45	7.838	54.43
2	P. Nublado	13:30	15:30	500	19	20	50	8.708	48.38
3	Nublado	10:30	12:30	350	20	21	43	6.386	50.68
4	Nublado	13:30	15:30	250	19	20	43	6.676	74.18
5	Nublado	10:30	12:30	150	18	20	35	4.354	80.63
6	Nublado/Lluvia	14:00	16:00	180	17	18	25	2.032	31.36
7	Nublado	10:30	12:30	210	18	19	35	4.644	61.43
8	Nublado	14:00	16:00	450	17	18	30	3.483	21.50
9	Despejado	10:30	12:30	800	20	21	60	11.321	39.31
10	Soleado	14:00	16:00	1200	20	21	80	17.126	39.64
11	Soleado	10:30	12:30	850	21	20	75	15.965	52.17
12	Soleado	14:00	16:00	1000	21	21	90	20.029	55.64
<b>Promedio</b>				<b>700</b>	<b>19</b>	<b>19.5</b>	<b>67.5</b>	<b>13.933</b>	<b>55.29</b>

Figura 62. Datos de ensayos: Rendimiento( $\eta$ ) del colector.

## Anexo 8. Plantilla para registro de datos de radiación solar y rendimiento de un colector solar.



## Universidad Nacional de Loja

Plantilla para registro de datos de radiación solar y rendimiento de un colector solar.

Día	1	2	3	4
Fecha:				
Hora de inicio:				
Hora de fin:				
Duración del ensayo:				

### 1. Ubicación y Condiciones Ambientales

Lugar del ensayo: (Ej. Coordenadas geográficas, altitud, ciudad)				
Temperatura ambiental inicial (°C):				
Temperatura ambiental final (°C):				
Velocidad del viento m/s:				
Condiciones climáticas				

### 2. Descripción del Colector Solar

Tipo de colector: (Parabólico, plano, tubos de vacío, etc.)			
Área de captación (m <sup>2</sup> )			
Materiales principales: (Vidrio, metal, polímeros, etc.)			

### 3. Parámetros Medidos

Parámetro	Instrumento utilizado	Rango de medición	Frecuencia de medición
Radiación solar		W/m <sup>2</sup>	Cada _____ minutos
Temperatura del fluido		°C	Cada _____ minutos
Temperatura ambiental		°C	Cada _____ minutos
Flujo de fluido		L/min	Cada _____ minutos

### 4. Resultados Observados

Radiación solar promedio (W/m <sup>2</sup> ):				
Temperatura del fluido de entrada (°C):				
Temperatura del fluido de salida (°C):				
Eficiencia del colector (%):				
Tiempo de exposición solar (h)				

Observaciones: \_\_\_\_\_

---



---



---

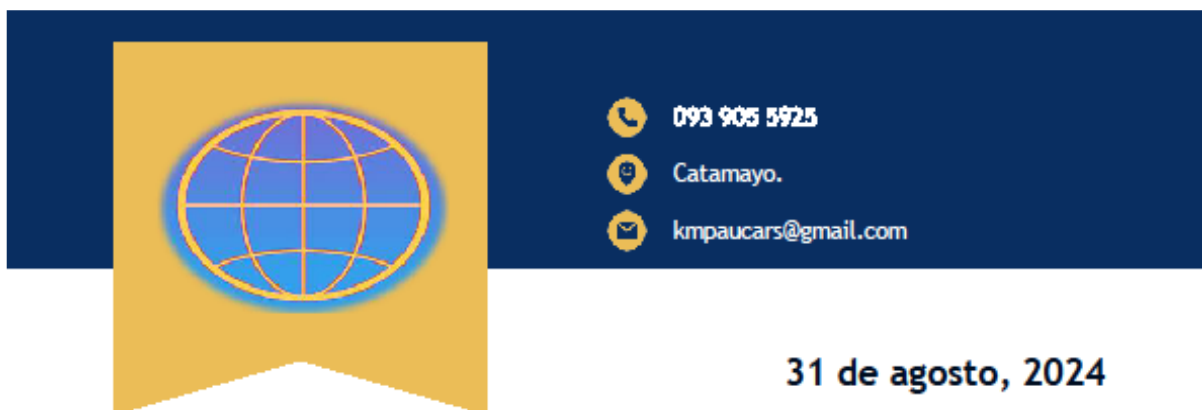


---



---

## Anexo 9. Certificado de traducción del resumen.



**Katty Michelle Paucar Sisalima.**  
**Licenciada en Pedagogía del Idioma Inglés.**

---

### **CERTIFICA:**

Haber realizado la traducción minuciosamente de español a inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular denominado: "EVALUACIÓN TÉRMICA DE UN COLECTOR PARABÓLICO COMERCIAL PORTÁTIL PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS) MEDIANTE ENERGÍA SOLAR." autoría de la Srta. Jessica Lisseth Castillo Tituaña con cédula de identidad 1105664682, egresada en la carrera de Electromecánica, de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

Es todo a cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo la interesada hacer uso del presente en lo que estime conveniente.

A handwritten signature in blue ink that reads 'Katty Paucar'.

### **Atentamente:**

Lcda. Katty Michelle Paucar Sisalima.  
Licenciada en Pedagogía del Idioma Inglés.  
Registro SENESCYT: 1008-2023-2612201.  
C.I. 1150010211.