

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MOTOR A VAPOR PARA  
PRODUCIR ENERGÍA MECÁNICA PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE UN SISTEMA  
SOLAR TÉRMICO, AÑO 2024**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. Ronald Luis Ramirez Aro

Para optar el Título Profesional de:

**Ingeniero Mecánico**

TACNA – PERÚ

2025

# UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

## Facultad de Ingeniería

### Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

#### DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MOTOR A VAPOR PARA PRODUCIR ENERGÍA MECÁNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO, AÑO 2024

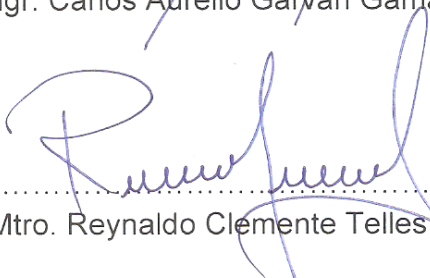
Tesis sustentada y aprobada el 21 de noviembre del 2025, estando el Jurado

Calificador integrado por:

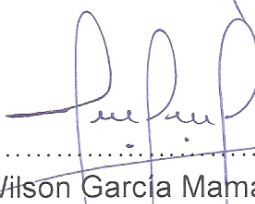
PRESIDENTE

  
.....  
Mgr. Carlos Aurelio Garvan Gamarra

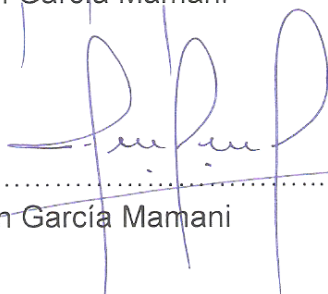
1er. MIEMBRO  
(SECRETARIO)

  
.....  
Mtro. Reynaldo Clemente Telles Ríos

2do. MIEMBRO  
(VOCAL)

  
.....  
Mgr. Wilson García Mamani

ASESOR

  
.....  
Mgr. Wilson García Mamani

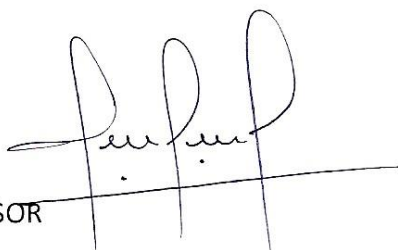
**CERTIFICADO DE SIMILITUD**

Yo, Wilson García Mamani, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N°08133-2023-FAIN/UNJBG de la tesis titulada:

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MOTOR A VAPOR PARA PRODUCIR ENERGÍA MECÁNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO, AÑO 2024”**, presentada por el Bachiller Ronald Luis Ramirez Aro con código N° (2010-34773), para optar título profesional de Ingeniero Mecánico.

Que, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual TURNITIN** cuenta con el **nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 8 %** Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

Tacna, 11 diciembre 2025



FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: WILSON GARCIA MAMANI

ORCID: 0000-0002-0806-7985

DNI: 40556765



Huella digital



FIRMA TESISTA

Nombres y apellidos: RONALD LUIS RAMIREZ ARO

DNI: 45120409



## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mis padres, a mis hermanos, que son el impulso y apoyo que me brindaron en mi crecimiento como persona y profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado a una excelente familia, quienes me forjaron como la persona que actualmente soy. A mis padres, por la educación y formación

A mis maestros que durante la etapa de aprendizaje supieron aconsejarme y darme las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente. A mis amistades por sus buenos consejos y motivación.

## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
INDICE DE CONTENIDO .....	vi
INDICE DE TABLAS .....	xi
INDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCION .....	16
CAPITULO 1 Planteamiento del Problema .....	17
1.1. Antecedentes del Problema a Investigar .....	17
1.2. Descripción del Problema .....	17
1.3. Formulación del Problema .....	17
1.3.1. Problema General.....	17
1.3.2. Problema Específico .....	17
1.4. Objetivos de la Investigación .....	18
1.4.1. Objetivo General.....	18
1.4.2. Objetivo Especifico.....	18
1.5. Justificación e Importancia de la Investigación .....	18
1.5.1. Justificación Social .....	18
1.5.2. Justificación Ambiental .....	19
1.6. Limitaciones .....	19
1.7. Viabilidad del Estudio.....	19

1.8.	Formulación de Hipótesis.....	19
1.8.1.	Hipótesis General.....	19
1.8.2.	Hipótesis Especifica.....	20
1.9.	Variables.....	20
1.9.1.	Variable Independiente.....	20
1.9.2.	Variable Dependiente.....	20
1.10.	Operacionalización de Variables .....	20
CAPITULO 2	Marco Teórico .....	21
2.1.	Antecedentes del Trabajo de Investigación.....	21
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	21
2.1.2.	Antecedentes Nacionales .....	22
2.2.	Esquema General y Marco Conceptual.....	23
2.2.1.	Variable Independiente .....	23
2.2.2.	Variable Dependiente.....	24
2.3.	Bases Teóricas.....	24
2.3.1.	Energía Solar.....	24
2.3.2.	Energía Solar Térmica .....	24
2.3.3.	Ciclo Termodinámico de Rankine .....	25
2.3.4.	Sistema Solar Térmico .....	26
2.3.5.	Componentes de un Sistema Solar Térmico .....	31
2.3.6.	Principios Físicos de una Máquina de Vapor .....	38
2.3.7.	Vaporización y Condensación .....	38

2.3.8.	Marco Normativo para la Construcción y Uso del Motor a Vapor.....	39
2.3.9.	Economía del Sistema Térmico – Mecánico .....	42
2.4.	Definiciones Conceptuales .....	43
CAPITULO 3 Marco Metodológico .....		46
3.1.	Planteamiento Metodológico.....	46
3.2.	Población y Muestra.....	46
3.2.1.	Población.....	46
3.2.2.	Muestra .....	46
3.3.	Equipos y Materiales.....	47
3.3.1.	Herramientas y Maquinas Necesarias .....	47
3.3.2.	Materiales a Utilizar.....	47
3.4.	Procedimiento de las Pruebas Experimentales.....	47
3.4.1.	Ubicación Geográfica del Sitio Donde se Realizó la Investigación .....	47
3.4.2.	Características Técnicas del Sistema Solar Térmico que se Usó.....	48
3.4.3.	Almacenamiento de Vapor de Agua .....	49
3.4.4.	Puesta en Marcha del Prototipo y Toma de Datos .....	49
3.4.5.	Análisis de los Resultados y Proponer Recomendaciones.....	50
3.5.	Técnicas de Recolección de Datos .....	51
3.6.	Técnicas para el Procesamiento de Datos .....	51
3.7.	Tanques Metálicos.....	52
3.8.	Diseño del Prototipo de Motor a Vapor .....	53
3.8.1.	Cilindros y Pistones de Bronce .....	54

3.8.2.	Soportes de Madera.....	58
3.8.3.	Las Bielas.....	60
3.8.4.	Cigüeñal del Motor .....	61
3.8.5.	Volante de Inercia.....	62
3.9.	Ensamble del Prototipo de Motor a Vapor.....	63
3.9.1.	Procedimiento de Ensamble.....	63
3.9.2.	Procedimiento de Funcionamiento .....	65
3.10.	Esfuerzos Estáticos y Dinámicos.....	65
3.10.1.	Esfuerzos Estáticos.....	65
3.10.2.	Esfuerzos Dinámicos.....	67
CAPITULO 4	Resultados.....	73
4.1.	Descripción de las Pruebas Experimentales.....	73
4.1.1.	Determinación del Angulo de Inclinación de los Colectores Solares.....	73
4.1.2.	Obtención de las Presiones de Vapor.....	73
4.1.3.	Sistema de Control y Monitoreo .....	74
4.1.4.	Obtención de la Fuerza del Motor a Vapor.....	75
4.1.5.	Obtención de las Revoluciones del Motor a Vapor .....	76
4.1.6.	Calculo de la Potencia y Eficiencia del Motor a Vapor.....	77
4.1.7.	Calculo del Trabajo del Motor a Vapor .....	80
4.2.	Presentación y Análisis de los Resultados .....	81
4.3.	Contrastación de Hipótesis.....	88
CAPITULO 5	Discusión .....	93

5.1. Pruebas de Validación del Modelo Experimental .....	93
5.2. Aplicación de la Tecnología Encontrada .....	93
5.3. Contraste con Trabajos de Investigación Similares .....	93
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES .....	96
BIBLIOGRAFIA .....	97
ANEXOS .....	102

**INDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> Matriz de Operacionalizacion de Variables .....	20
<b>Tabla 2</b> Potencial Energético Solar .....	35
<b>Tabla 3</b> Comparaciones en las Válvulas de Alivio .....	41
<b>Tabla 4</b> Comparaciones en los Espesores de Paredes .....	42
<b>Tabla 5</b> Constantes de la Ecuación de Antoine .....	77
<b>Tabla 6</b> Datos de las Pruebas Experimentales .....	81
<b>Tabla 7</b> Presentación y Análisis de las Pruebas .....	82
<b>Tabla 8</b> Datos de Potencia y Presión .....	83
<b>Tabla 9</b> Datos para Contrastar la Hipótesis .....	88
<b>Tabla 10</b> Pruebas de Normalidad .....	88
<b>Tabla 11</b> Pruebas de Normalidad para Tiempo (s) .....	90
<b>Tabla 12</b> Prueba de Correlación de Pearson .....	91

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Esquema General del Proyecto.....	23
<b>Figura 2</b> Energía Solar Térmica.....	25
<b>Figura 3</b> Diagramas del Ciclo Rankine.....	26
<b>Figura 4</b> Calentador Solar de Gravedad.....	27
<b>Figura 5</b> Calentador Solar de Presión .....	28
<b>Figura 6</b> Calentador Solar de Panel Solar .....	28
<b>Figura 7</b> Calentador Solar de Cama Plana .....	29
<b>Figura 8</b> Calentador Solar de Concentración .....	30
<b>Figura 9</b> Calentador Solar de Piscinas .....	31
<b>Figura 10</b> Componentes de un Sistema Solar Térmico.....	32
<b>Figura 11</b> Orientación de los Captadores Solares .....	33
<b>Figura 12</b> Inclinación de los Captadores Solares.....	34
<b>Figura 13</b> Variación Anual del Potencial Energético para Ocho Zonas Evaluadas.....	36
<b>Figura 14</b> Variación Grafica Anual del Potencial Energético Solar de la Región Tacna.....	36
<b>Figura 15</b> Franja Solar de la Región Tacna .....	37
<b>Figura 16</b> Ubicación del Pabellón de Laboratorios de la Escuela de Mecánica .....	48
<b>Figura 17</b> Sistema Térmico Solar de la Escuela de Mecánica .....	49
<b>Figura 18</b> Proceso del Proyecto .....	50
<b>Figura 19</b> Tanques Metálicos para Caldera y Almacenamiento .....	52
<b>Figura 20</b> Sistema de Seguridad para el Almacenamiento de Presión .....	53
<b>Figura 21</b> Componentes de los Cilindros de Bronce .....	54
<b>Figura 22</b> Cilindros de Bronce.....	57
<b>Figura 23</b> Pistones de Bronce .....	58
<b>Figura 24</b> Soportes de Madera.....	59

<b>Figura 25</b> Biela de Acero .....	60
<b>Figura 26</b> Cigüeñal del Motor.....	61
<b>Figura 27</b> Cigüeñal de Acero .....	62
<b>Figura 28</b> Contrapeso del Volante de Inercia .....	62
<b>Figura 29</b> Volante de Inercia de Madera .....	63
<b>Figura 30</b> Ensamble del Motor a Vapor.....	64
<b>Figura 31</b> Esfuerzos Estáticos.....	65
<b>Figura 32</b> Mecanismo de Biela-Manivela del Cigüeñal del Motor .....	67
<b>Figura 33</b> Diagrama de Cuerpo Libre de la Barra AB .....	68
<b>Figura 34</b> Diagrama de Cuerpo Libre de la Barra BC .....	69
<b>Figura 35</b> Acumulación de Presión.....	74
<b>Figura 36</b> Determinación de la Fuerza del Motor.....	75
<b>Figura 37</b> Medición de las Revoluciones del Motor.....	76
<b>Figura 38</b> Grafico del Ciclo Termodinámico.....	78
<b>Figura 39</b> Gráfico de la Potencia vs la Presión.....	84
<b>Figura 40</b> Gráfico de la Presión vs la Potencia.....	86
<b>Figura 41</b> Interpretación de la Correlación .....	87
<b>Figura 42</b> Traza de Densidad para Presión (bar) .....	89
<b>Figura 43</b> Histograma para Presión (bar).....	89
<b>Figura 44</b> Trazado de Densidad para Tiempo (s) .....	90
<b>Figura 45</b> Histograma para Tiempo (s).....	91
<b>Figura 46</b> Gráfico de la Correlación de Pearson.....	92

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo diseñar un prototipo de motor a vapor que permita transformar la energía térmica captada por un sistema solar térmico en energía mecánica. El sistema térmico existente en la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la UNJBG es empleado como fuente energética primaria, buscando fomentar el aprovechamiento de recursos renovables y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Se desarrolló un prototipo de baja complejidad, fabricado con materiales accesibles y de bajo costo, que permite evidenciar la conversión de energía solar en trabajo mecánico. Las pruebas experimentales permitieron obtener parámetros como presión, fuerza, velocidad angular y potencia generada, los cuales fueron analizados mediante herramientas estadísticas, incluyendo la prueba T de Student y la correlación de Pearson. Los resultados muestran que el sistema tiene potencial para aplicaciones educativas y como base para futuros desarrollos energéticos sostenibles. La eficiencia obtenida, aunque limitada, valida la viabilidad del diseño y su utilidad como modelo experimental.

*Palabras clave:* Diseño, Energía Mecánica, Aprovechamiento

## ABSTRACT

The objective of this thesis is to design a steam engine prototype that can transform the thermal energy captured by a solar thermal system into mechanical energy. The existing thermal system at the Professional School of Mechanical Engineering at UNJBG is used as a primary energy source, seeking to promote the use of renewable resources and reduce dependence on fossil fuels. A low-complexity prototype was developed, manufactured with accessible and low-cost materials, which demonstrates the conversion of solar energy into mechanical work. Experimental tests yielded parameters such as pressure, force, angular velocity, and generated power, which were analyzed using statistical tools, including the Student t-test and Pearson correlation. The results show that the system has potential for educational applications and as a basis for future sustainable energy developments. The efficiency obtained, although limited, validates the viability of the design and its usefulness as an experimental model.

*Keywords:* Design, Mechanical Energy, Utilization

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo vertiginoso con que crece la producción de energías renovables en el mundo para aliviar el consumo energético en el planeta tierra y disipar la contaminación al medio ambiente. una de ellas es la energía solar que es limpia e ilimitada y que con un sistema térmico-mecánico se puede producir energía mecánica útil para aplicarse en diferentes acciones en la industria como para mover objetos o hasta producir energía eléctrica.

La Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann cuenta con un módulo solar térmico que actualmente no es aprovechado en toda su capacidad. La presente investigación propone diseñar un prototipo de motor a vapor que funcione a partir de la energía térmica captada por dicho sistema, con el objetivo de convertirla en energía mecánica útil, aplicable en diversos procesos. El estudio comprende cinco capítulos.

En el primer capítulo, se plantea el problema de la investigación contrastándola con la realidad actual. Formulándose el problema de la investigación, el objetivo de la investigación para determinar la hipótesis de la tesis y la justificación del proyecto.

En el segundo capítulo, se muestra el desarrollo del marco teórico, abarcando los fundamentos de la energía solar térmica, el funcionamiento de los motores a vapor y la normativa técnica aplicable. en conjunto con los antecedentes de la investigación.

En el tercer capítulo, se describe la metodología experimental, el diseño del prototipo, los materiales utilizados y las técnicas de medición.

En el cuarto capítulo, se presentan y analizan los resultados experimentales obtenidos durante las pruebas del prototipo.

En el quinto capítulo, se incluye la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

## **CAPITULO 1 Planteamiento del Problema**

### **1.1. Antecedentes del Problema a Investigar**

La Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann cuenta con un sistema solar térmico instalado con fines académicos. Sin embargo, este módulo no se aprovecha plenamente para actividades experimentales o de desarrollo tecnológico. Su potencial para la generación de energía térmica, aplicable a la conversión en energía mecánica mediante un motor a vapor, no ha sido explorado ni documentado sistemáticamente. Esta situación representa una oportunidad para vincular el uso de energías renovables con aplicaciones prácticas en el área de la ingeniería mecánica.

### **1.2.Descripción del Problema**

Actualmente, el sistema solar térmico de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica se encuentra subutilizado, a pesar de que representa una fuente energética limpia, económica y de alto potencial.

Su aplicación en la generación de energía mecánica mediante un motor a vapor permitiría evidenciar el proceso de transformación energética, fomentar el aprendizaje práctico en energías renovables y reducir el uso de fuentes contaminantes como los combustibles fósiles.

La falta de aprovechamiento de este recurso también refleja una oportunidad perdida para investigar alternativas sostenibles de generación energética en la región de Tacna, caracterizada por altos niveles de radiación solar.

### **1.3. Formulación del Problema**

#### ***1.3.1. Problema General***

¿De qué manera el diseño de un prototipo de motor a vapor puede permitir el aprovechamiento eficiente de un sistema solar térmico para la generación de energía mecánica?

#### ***1.3.2. Problema Específico***

- ¿Cuál es el nivel de complejidad técnica y viabilidad del diseño del prototipo de motor a vapor?
- ¿Qué nivel de aprovechamiento energético puede lograrse con el sistema solar térmico existente en condiciones reales?
- ¿Existe relación significativa entre el diseño del motor a vapor y el rendimiento térmico-mecánico del sistema solar?

## **1.4.Objetivos de la Investigación**

### ***1.4.1. Objetivo General***

Determinar la relación entre el diseño de un prototipo de motor a vapor y el aprovechamiento del sistema solar térmico para la generación de energía mecánica en la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, durante el año 2024.

### ***1.4.2. Objetivo Especifico***

- Diseñar un prototipo de motor a vapor de baja complejidad, utilizando materiales accesibles y de bajo costo, capaz de generar energía mecánica a partir de vapor de agua.
- Evaluar el rendimiento energético del sistema solar térmico en términos de presión de vapor generada y temperatura alcanzada.
- Analizar la relación entre el diseño del motor y el aprovechamiento térmico en términos de potencia, eficiencia y trabajo mecánico producido.

## **1.5.Justificación e Importancia de la Investigación**

### ***1.5.1. Justificación Social***

- El desarrollo de tecnologías limpias y sostenibles representa una necesidad prioritaria en el contexto actual.
- Este proyecto contribuye a la formación académica de estudiantes mediante la aplicación práctica de conocimientos en termodinámica, mecánica y energías renovables.

- Asimismo, puede motivar nuevas investigaciones o emprendimientos tecnológicos orientados a la sostenibilidad energética.

### ***1.5.2. Justificación Ambiental***

- La independencia que se tendrá con respecto a combustibles fósiles.
- La investigación está enfocada en la producción de energía mecánica como vía alterna para desarrollar nuevos modelos energéticos.
- Ayuda a disminuir los impactos ambientales en el medio ambiente al dejar de usar combustibles fósiles para producir energía mecánica.

### **1.6.Limitaciones**

- El diseño del prototipo está condicionado por la disponibilidad de materiales y herramientas dentro del laboratorio de la escuela.
- Las pruebas experimentales se realizan bajo condiciones climáticas específicas de Tacna, por lo que los resultados pueden no ser extrapolables a otras regiones sin ajustes.
- El sistema no contempla automatización avanzada ni control digital, dado su enfoque demostrativo.

### **1.7.Viabilidad del Estudio**

La investigación es viable técnica y económicamente. El sistema solar térmico ya se encuentra instalado y operativo. El diseño del prototipo de motor a vapor se plantea con materiales reciclados o de bajo costo, utilizando infraestructura existente en la escuela. Asimismo, las mediciones se realizarán con instrumentos accesibles como dinamómetros y tacómetros, disponibles en los laboratorios.

### **1.8. Formulación de Hipótesis**

#### ***1.8.1. Hipótesis General***

Existe una relación significativa entre el diseño del prototipo de motor a vapor y el aprovechamiento del sistema solar térmico para la generación de energía mecánica.

### 1.8.2. *Hipótesis Específica*

El diseño eficiente de un prototipo de motor a vapor permitirá transformar la energía térmica generada por un sistema solar en energía mecánica útil, bajo condiciones de operación controlada.

## 1.9. Variables

### 1.9.1. *Variable Independiente.*

Diseño del prototipo de motor a vapor.

### 1.9.2. *Variable Dependiente.*

Aprovechamiento del sistema solar térmico para la generación de energía mecánica.

## 1.10. Operacionalización de Variables

**Tabla 1**

*Matriz de Operacionalización de Variables*

variables	definición conceptual	indicadores	instrumentos	Unidad de medida
Diseño del prototipo de motor a vapor	Conjunto de características técnicas, mecánicas y constructivas que permiten su funcionamiento	Potencia mecánica, velocidad angular, fuerza generada	Dinamómetro, Tacómetro, cronometro	Watt N Rpm S
Aprovechamiento del sistema solar térmico para la generación de energía mecánica	Capacidad del sistema para generar presión de vapor de agua a partir de la radiación solar	Presión generada, temperatura del fluido, volumen de vapor	Manómetro termómetro	Bar C°

*Nota.* Indica la operacionalización de las variables para el proyecto. (2024). Elaboración propia.

## CAPITULO 2 Marco Teórico

### 2.1. Antecedentes del Trabajo de Investigación

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Suarez. (2015) en la tesis “Análisis termodinámico - mecánico de un prototipo de motor Stirling de configuración gamma de baja potencia”. La pretensión era de poner un análisis termodinámico – mecánico de un prototipo de motor Stirling de configuración gamma para brindar la condición de funcionamiento actual de un prototipo de motor Stirling construido por el autor.

Hernández, Sánchez. (2013) en la tesis “Diseño y prototipo de un motor Stirling”. Que estará diseñado para la generación alternativa de energía eléctrica con el propósito de proporcionar un medio para obtener energía eléctrica con menos emisiones de contaminantes y un motor altamente eficiente.

Soto. (2003) en la tesis “Diseño y construcción de un motor a vapor”. En este proyecto se diseñó un motor a vapor y su caldera, partiendo de unos requerimientos de potencia y velocidad angular de salida y conociendo la presión de entrada del vapor y su temperatura.

Navas (s.f.) en su tesis “Diseño y construcción de una máquina de vapor de newcomen”. En este proyecto final de carrera el motor de Newcomen consistía en una caldera coronada por el pistón y el cilindro, con el vástago del pistón conectado a una viga de madera pesada que sacudía sobre rodamientos de apoyo situados en una pared exterior de la “casa de maquina” especialmente reforzada.

Asades (2015) en el artículo “Caracterización de un motor a vapor de doble efecto”. Se presenta en el siguiente trabajo la caracterización de los parámetros de funcionamiento de un motor a vapor a efectos de conocer la capacidad de producción de potencia y torque, para ser acoplado a la línea de vapor generado en el sistema Fresnel Lineal montado en San Carlos,

Salta. Los ensayos fueron realizados en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de Salta (UNSa)

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Días. (2022) en la tesis “Diseño de un sistema híbrido solar-biogás para dotar de energía térmica a un motor Stirling en zonas rurales de Lambayeque”. El sistema en el día aprovechara la energía solar y por las noches use la energía otorgada por la flama de biogás. En el lugar de maray huaca contando con una temperatura de  $14.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una irradiación solar de  $650\text{ W}/\text{M}^2$ , se utilizó un motor Stirling tipo beta.

Pérez et al. (2021) en su artículo “Análisis, diseño y fabricación del prototipo de la maquina a vapor cornish”. Este trabajo enmarcado en el ámbito de la historia de la ingeniería mecánica y de las máquinas y mecanismos trata de ahondar en el principio de funcionamiento de la máquina de vapor tipo Cornish con una descripción de la misma, los componentes implicados y sus peculiaridades.

Castro et al (2021) en su proyecto “Motor a vapor – primera ley de la termo dinámica”. Este proyecto se basa en el diseño mecánico de un motor a vapor que servirá para la generación de energía mecánica, ofreciendo la oportunidad de comprender de forma gráfica el proceso. El trabajo implico investigar la viabilidad del proyecto, contar con el equipo necesario para realizarlo, elaborar un diseño funcional, sencillo.

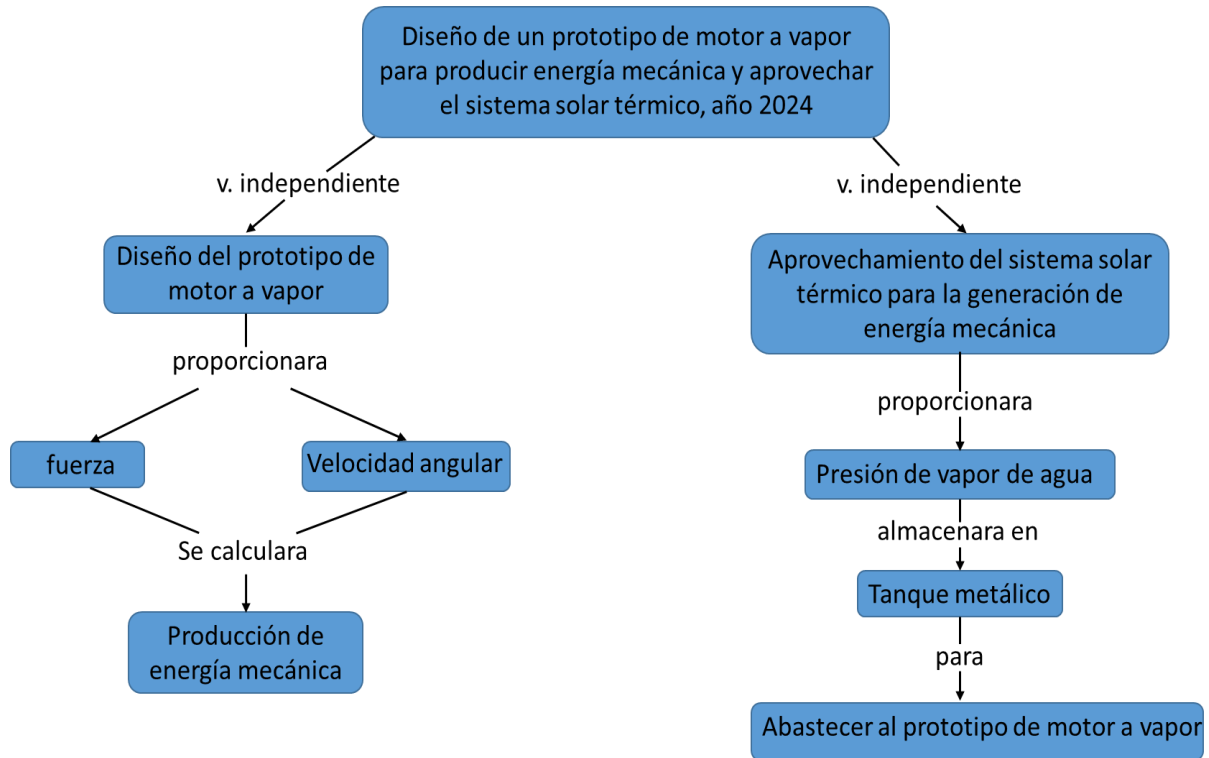
Chávez, L., Leyva, K. (2019). presentando “Proyecto motor a vapor”. Este proyecto es conocer de forma practica el diseño y funcionamiento de los motores de vapor. La construcción puede ser mediana complejidad, con costos relativamente económico sin embargo este motor permite a los estudiantes de manera visual comprender el proceso de transformación de energía.

Reyes, P., murillo, A. (2017). “Motor a vapor”. Demostrar la función del agua para el uso de las máquinas y conoces los procesos para esta función.

## 2.2. Esquema General y Marco Conceptual

**Figura 1**

*Esquema General del Proyecto*



*Nota.* esquema de la obtención de la energía mecánica y aprovechamiento del sistema térmico. (2025). Elaboración propia.

Para la conceptualización del marco conceptual se determinó utilizar las variables independiente y dependiente del proyecto de investigación:

### 2.2.1. Variable Independiente

El “Diseño del prototipo de motor a vapor” influyó definitivamente en la producción de energía mecánica gracias a las pruebas experimentales que se realizaron con el diseño del motor a vapor en el pabellón de laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica de la UNJBG, determinándose la fuerza y velocidad angular para determinar la potencia del motor. Esta investigación fue un aporte en el aprovechamiento de un sistema solar térmico que cuenta la respectiva escuela profesional.

### **2.2.2. Variable Dependiente**

El “aprovechamiento del sistema solar térmico para la generación de energía mecánica” se determinó a causa de un problema, como el determinado sistema solar térmico no se aprovecha plenamente para actividades experimentales o de desarrollo tecnológico y al ser un bien económico que se va deteriorando por no tener un mantenimiento regular.

Este módulo abasteció de energía térmica al prototipo de motor a vapor que se diseñó almacenándose presión de vapor para su funcionamiento.

## **2.3. Bases Teóricas**

### **2.3.1. Energía Solar**

La energía solar es una de las energías renovables y limpias que tiene mayor potencial en nuestro país, pero cuya producción aún es mínima, en vista de que gran parte de la energía que utilizamos se genera en las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas que consumen combustibles fósiles.

Otras fuentes, como la energía eólica, también son incipientes en el país.

“La producción de la energía solar se encuentra en un franco desarrollo en nuestro país y cada año crece de manera sostenida.

En conjunto, la producción de energías renovables (en especial solar y eólica) ya representa entre el 3% y 5% de la energía que se consume en nuestro país” (El peruano, 2024)

### **2.3.2. Energía Solar Térmica**

Según Repsol “Los equipos de energía solar térmica utilizan colectores o captadores solares para transformar la radiación solar en calor.

Estos captadores recogen y almacenan la radiación solar para calentar el agua que más tarde se utiliza como apoyo a los sistemas de calefacción o agua caliente para uso higiénico, residencial o industrial” (Repsol, 2025)

## Figura 2

### *Energía Solar Térmica*



*Nota.* Aprovecha la radiación solar para producir energía térmica. Repsol, 2025, ¿Qué es la energía solar?

### **2.3.3. Ciclo Termodinámico de Rankine**

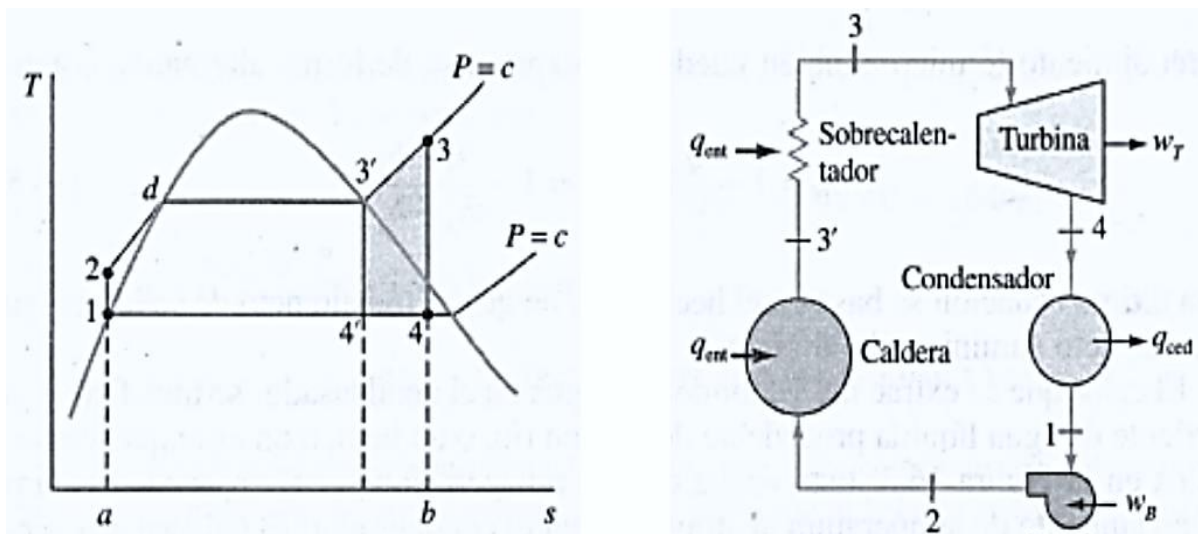
Es un ciclo de potencia que convierte calor en trabajo mecánico “El ciclo Rankine es una modificación del ciclo Carnot, esto con el fin de mejorar el sistema térmico corrigiendo los problemas que este produce, entre estas modificaciones están” (User XP, 2020, P.8)

- Primero en el proceso 4-1 se lleva a cabo de manera que el vapor húmedo expandido en la turbina se condense por completo, hasta el estado líquido saturado a la presión de la salida de la turbina.
- Proceso de compresión 1-2 se realiza ahora mediante una bomba de líquido, que eleva isoentrópicamente la presión del líquido que sale del condensador hasta la presión deseada para el proceso 2-3.
- Durante el proceso 2-3 se sobrecalienta el fluido hasta una temperatura que es con frecuencia superior a la temperatura crítica.

Se considera todas estas modificaciones, para lograr un modelo práctico de un ciclo de planta de potencia de vapor, estaremos en presencia del Ciclo Rankine, a continuación, se realizará una descripción de los componentes del ciclo y el comportamiento termodinámico registrado en el diagrama Ts:

**Figura 3**

*Diagramas del Ciclo Rankine*



*Nota.* fases del ciclo Rankine. Kenneth Wark y Donald Richards, “Termodinámica”, sexta edición.

#### 2.3.4. Sistema Solar Térmico

Los sistemas térmicos solares (STS) con esquema estructural integrado y utilizando un régimen termosifónico, se conocen como los sistemas energéticos renovables de más amplia aplicación en la producción de agua caliente de uso sanitario, no se establecen fronteras de utilización entre regiones apartadas o rurales. Estos equipos y sistemas termosifónicos son compatibles en la mayoría de las redes hidráulicas que se establecen en los diferentes objetos de obras como: la vivienda familiar y multifamiliar, hospitales, hoteles, albergues, campamentos, hogares de ancianos, centros deportivos, guarderías, instalaciones sociales, etc. (ingeniería energética, 2013)

*Existen 6 tipos de calentadores solares:*

**a) Calentador Solar de Gravedad:**

Es uno de los más demandados en la actualidad. Son alimentados por un tanque elevado. El agua desciende del tanque elevado al termo tanque del calentador, de este pasa a los tubos colectores, una vez el agua dentro por la acción de la radiación solar, que se aumenta hasta 1000 veces, al agua caliente que, al ser menos densa, sube y por efecto termosifón penetra nuevamente al termo tanque de esta a la regadera de tu baño. Los tubos colectores están fabricados con boro silicato que resisten algunos impactos. (calentadores Premium, s.f.)

**Figura 4**

*Calentador Solar de Gravedad*



*Nota.* Son alimentados por un tanque elevado. Calentadores Premium, s.f., tipos de calentadores solares que existen.

**b) Calentador Solar Presurizado o de Presión:**

Es otro de los calentadores más solicitados, para las edificaciones que manejan altas presiones de fluido, hasta 80psi o utilicen bomba de agua o hidroneumática, los tubos colectores, heat pipe, están dotados de un capilar de cobre que entra en contacto con el termo tanque, la radiación al calentar las capas del tubo colector transmite la

temperatura a estos capilares de cobre y de estos al agua calentándola. (calentadores Premium, s.f.)

### Figura 5

*Calentador Solar de Presión*



*Nota.* Son para altas presiones de fluidos. Calentadores Premium, s.f., tipos de calentadores solares que existen.

### c) **Calentador Solar de Panel Solar:**

Que son un conjunto de módulos fotovoltaicos de celdas que producen electricidad a partir de la luz que acumulan, es decir, su finalidad es crear electricidad. Las células fotovoltaicas producen cargas positivas y negativas en dos semiconductores para producir un campo eléctrico capaz de generar corriente. (calentadores Premium, s.f.)

### Figura 6

*Calentador Solar de Panel Solar*



*Nota.* Producen electricidad por que tienen celdas fotovoltaicas. Calentadores Premium, s.f., tipos de calentadores solares que existen.

**d) Calentadores Planos o de Cama Plana:**

Son menos comunes, pero igual de eficientes. Aprovecha la radiación solar transformándola en energía térmica. La luz solar se convierte en calor al impactar sobre la placa térmica colectora, esta puede ser de fierro, cobre, aluminio, policarbonato o cristal templado. Mediante efecto termo sifón el agua caliente asciende al termo tanque y de allí para toda su vivienda. (calentadores Premium, s.f.)

**Figura 7**

*Calentador Solar de Cama Plana*



*Nota.* Son menos comunes y puede ser de fierro, cobre, aluminio, policarbonato o cristal templado. Calentadores Premium, s.f., tipos de calentadores solares que existen.

**e) Calentador Solar de Concentración:**

Es utilizado en el campo industrial, ya que es eficiente cuando tiene mucha demanda de calefacción, no se parece en nada a los ya mencionados, este puede llegar a temperaturas

muy altas. Sus calentadores son cóncavos, esto quiere decir que la superficie es curva y tiene un objetivo determinado, proyectar la energía solar aun solo punto. (calentadores Premium, s.f.)

### Figura 8

#### *Calentador Solar de Concentración*



*Nota.* Son para la industria y llegan a temperaturas muy altas. Calentadores Premium, s.f., tipos de calentadores solares que existen.

#### f) **Calentador Solar para Piscina:**

El equipo absorbe la radiación solar y calienta el agua hasta una temperatura determinada. Un controlador electrónico con sensores de temperatura lo detecta y enciende la bomba automáticamente. El agua caliente del colector solar circula hacia la piscina y es remplazada por agua fría de la misma piscina. Existen dos clases: los calentadores mariposa usados en climas fríos y los colectores de polietileno diseñados para climas calientes. (calentadores Premium, s.f.)

## Figura 9

### *Calentador Solar de Piscinas*



*Nota.* Utilizan el agua de la misma piscina. Calentadores Premium, s.f., tipos de calentadores solares que existen.

### **2.3.5. Componentes de un Sistema Solar Térmico**

En toda instalación solar térmica de baja temperatura se pueden distinguir los siguientes componentes principales. (ingemecanica – tutorial Nro. 188, s.f.)

a) **Sistema de Captación:**

Formado por uno o varios colectores o captadores solares que se sitúan en la parte exterior y más alta del edificio, convenientemente orientados a los rayos solares. Es la parte de la instalación que transforma la radiación solar incidente en energía térmica del fluido que circula por su interior.

b) **Sistema de Acumulación o Acumulador:**

Encargado de almacenar el agua caliente obtenida para su posterior uso.

c) **Sistema de Intercambio o Intercambiador:**

Realiza la transferencia de calor entre los fluidos que circulan por circuitos diferentes. Puede ser instalado dentro o fuera del acumulador. En la instalación mostrada en la figura el intercambiador de calor es externo al depósito acumulador.

d) **Sistema de Transporte o de Circulación:**

Formado por las tuberías dotadas de aislamiento térmico y de los elementos de impulsión (bomba de agua) y otros accesorios, como vaso de expansión, purgadores de aire, válvulas, etc.

e) **Sistema Auxiliar de Apoyo:**

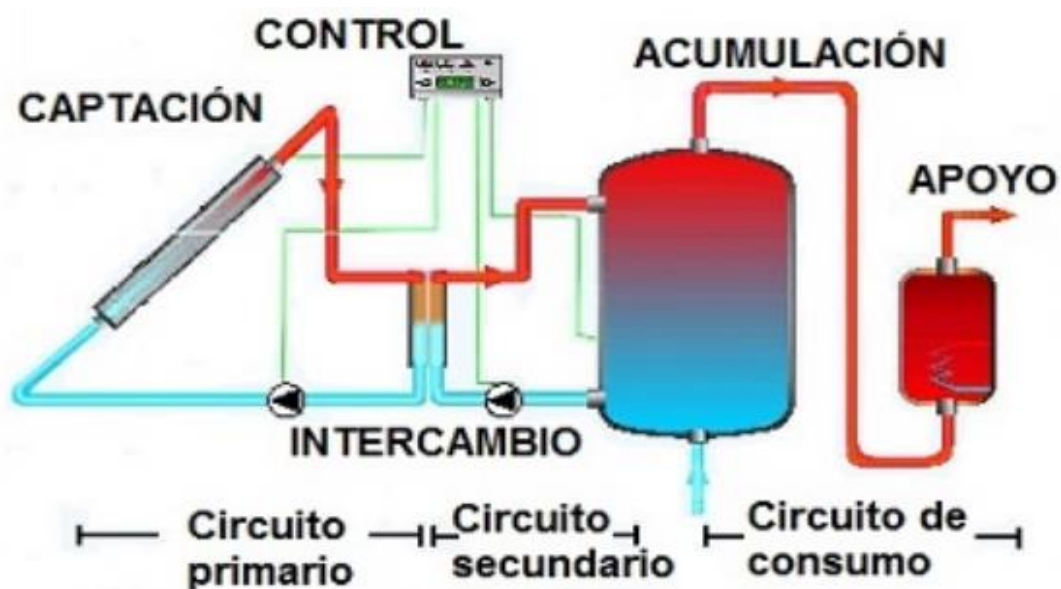
Para complementar el aporte de calor en aquellos periodos de escasa radiación solar, o bien, cuando la demanda de agua caliente sea superior a la que el sistema solar pueda proporcionar por su diseño.

f) **Sistema de Control y Regulación:**

Asegura el correcto funcionamiento del conjunto de componentes que conforman el sistema termo solar.

**Figura 10**

*Componentes de un Sistema Solar Térmico*



*Nota.* Componentes comunes de un sistema térmico. Ingemecánica-tutorial nº 188, s.f., componentes de la instalación.

**2.3.5.1. Pendiente e Inclinación de la Superficie de los Colectores Térmico.**

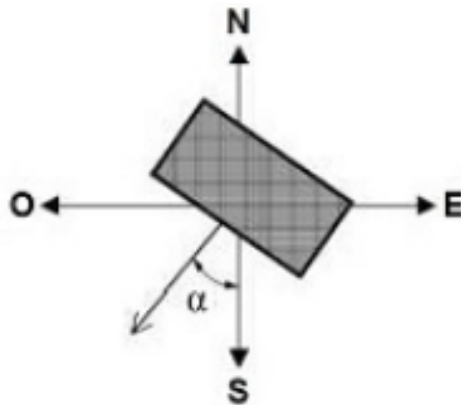
La disposición de los captadores solares, definido por su orientación e inclinación, repercute de manera decisiva en su rendimiento. Lo ideal es conseguir en todo momento que los rayos solares incidan perpendicularmente sobre la superficie del panel solar.

a) **Orientación de los Captadores Solares:**

La orientación ( $\alpha$ ) de los captadores solares será tal que estos se dispongan siempre mirando hacia el ecuador terrestre. Esto supone orientación sur geográfico para aquellas instalaciones situadas en el hemisferio norte terrestre, y orientadas hacia el norte geográfico para las instalaciones situadas en el hemisferio sur. No obstante, son admisibles unas desviaciones de hasta  $\pm 20^\circ$  respecto al sur o norte geográfico sin que se produzcan grandes pérdidas de rendimiento. (ingemecanica – tutorial Nro. 188, s.f.)

**Figura 11**

*Orientación de los Captadores Solares*



*Nota.* El Angulo “ $\alpha$ ” se inclinará con respecto a la línea ecuatorial. Ingemecánica-tutorial n° 188, s.f., componentes de la instalación.

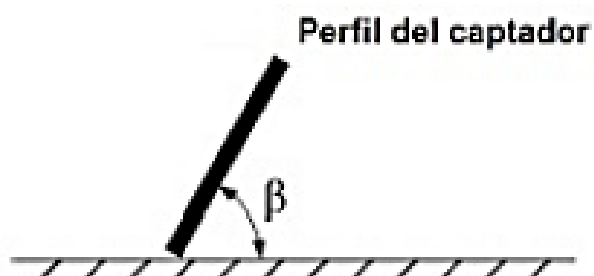
b) **Inclinación de los Captadores Solares:**

Por otro lado, el Angulo de inclinación ( $\beta$ ) es aquel que forma la superficie del módulo con el plano horizontal, tal como se ve en la figura adjunta. Su valor es  $0^\circ$  para módulos horizontales y  $90^\circ$  si son verticales. El valor de la inclinación de los paneles solares dependerá del uso del equipo solar. Así cuando se pretende que la instalación se use

todo el año con un rendimiento aceptable, coincide aproximadamente con la latitud geográfica del lugar donde se instale. La inclinación se usa principalmente en invierno, entonces la inclinación óptima de los módulos sería la obtenida de sumarle a la latitud  $10^\circ$ . Y por el contrario, si la instalación va a usarse básicamente en verano, la inclinación que habría que proporcionarle a los módulos solares sería el resultado de restar a la latitud del lugar  $20^\circ$ . (ingemecanica – tutorial Nro. 188, s.f.)

### Figura 12

*Inclinación de los Captadores Solares*



### Inclinación del módulo

*Nota.* La inclinación varía respecto a la estación que sea. Ingemecánica-tutorial n° 188, s.f., componentes de la instalación.

**2.3.5.2. Número de Horas Sol Pico.** La radiación solar máxima es de  $1\text{Kw}/\text{m}^2$ , el número de horas sol pico de insolación es numéricamente igual al promedio de insolación diaria.

El potencial energético solar de la región Tacna, sobre una superficie horizontal en promedio anual es de  $6,04 \pm 0,36 \text{ Kwh}/\text{m}^2/\text{dia}$ , con variación inter anual de 5,3%; superior en 13,46% al promedio mundial; equivalente a 0,51 Kilogramos de petróleo por metro cuadrado de superficie por día. Valores de la energía solar global promedio sobre superficie horizontal para 8 zonas de la región Tacna en  $\text{kwh}/\text{m}^2/\text{dia}$ : Tarata,

Candarave, Chuapalca, Vilacota, Tacna, Locumba, Calana e Ite se muestra en la tabla 2 (centro de energías renovables de Tacna – facultad de ciencias [CERT], 2023)

**Tabla 2**

*Potencial Energético Solar*

Estación	Energía solar promedio (KWh/m <sup>2</sup> día)												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	promedio
Tarata	6,5	6,1	6,3	6,4	5,8	5,5	5,7	6,5	6,9	7,5	7,4	6,8	6,5
Candarave	5,9	5,7	6,7	6,4	5,9	5,3	5,7	6,4	7,1	7,4	7,5	6,9	6,4
Tacna	7,9	6,7	6,6	5,8	4,9	4,5	4,5	5,1	5,8	6,6	6,9	6,9	6,0
Locumba	7,8	6,6	6,7	5,8	5,2	4,8	5,0	5,7	6,3	7,0	7,2	6,8	6,2
Calana	7,8	6,8	6,7	5,9	5,3	4,8	5,1	5,6	6,1	7,0	7,1	6,9	6,3
Chuapalca	6,1	6,1	6,0	5,9	5,6	5,4	5,6	6,3	6,8	7,2	7,0	6,3	6,2
Ite	7,7	6,8	6,6	5,7	4,5	3,8	3,8	4,1	4,5	5,4	5,8	6,3	5,4
Vilacota	6,1	6,0	5,9	5,8	5,4	5,2	5,4	6,0	6,4	7,0	7,0	6,3	6,0

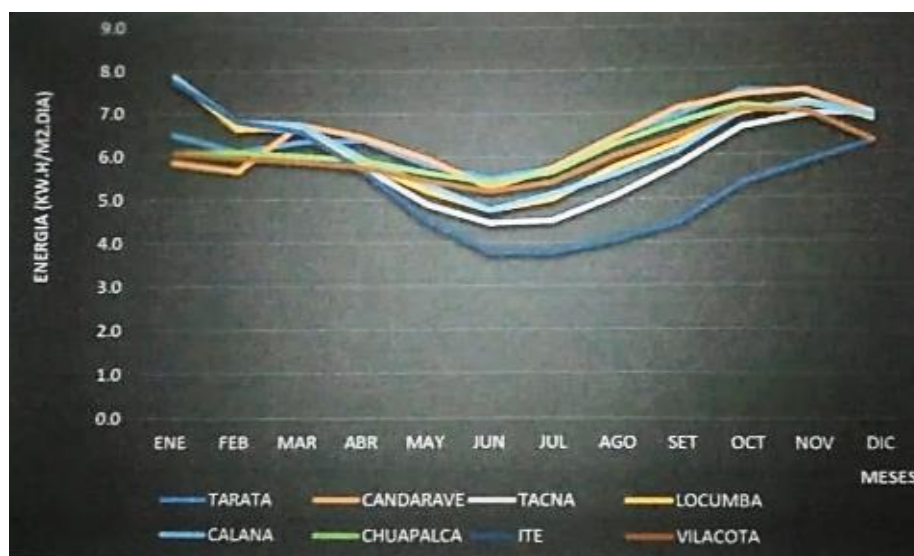
*Nota.* Este es el potencial energético con que cuenta la región Tacna. (2023). Centro de energía renovables de Tacna [CERT], Carlos Polo Bravo, potencial energético solar de la región Tacna.

“Las provincias con mayor potencial energético solar son Tarata y Candarave 6,5 y 6,4 kwh/m<sup>2</sup>día respectivamente y el distrito con menor recurso solar es Ite con 5,4 kwh/m<sup>2</sup>día ubicada cerca en la costa contigua al mar” (CERT, 2023)

En la figura 13. se muestra la variación anual del potencial energético solar para ocho zonas evaluadas, en todas el valor mínimo cercano a los 4 kwh/m<sup>2</sup>día se da entre los meses de junio y julio, en tanto que los valores máximos entre (7,5 – 7,8) kwh/m<sup>2</sup>día entre los meses de octubre y enero, durante los meses de noviembre a febrero en las zonas alto andinas disminuye debido a días nublados por la temporada de lluvias.

**Figura 13**

*Variación Anual del Potencial Energético para Ocho Zonas Evaluadas*

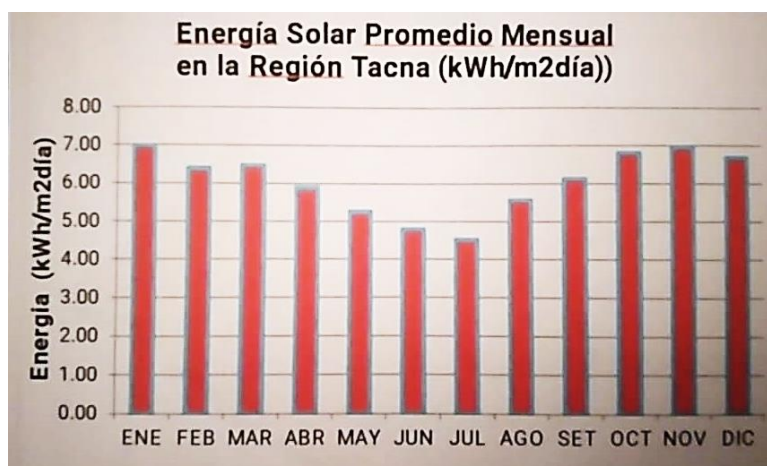


*Nota.* Son los potenciales energéticos máximos y mínimos en 8 zonas de la región Tacna. Centro de energía renovables de Tacna (CERT), Carlos Polo Bravo, potencial energético solar de la región Tacna.

En la figura 14, se muestra la variación gráfica anual del potencial energético solar regional, correspondiente a la irradiación solar global sobre superficie horizontal en  $\text{kWh/m}^2\text{ día}$ .

**Figura 14**

*Variación Gráfica Anual del Potencial Energético Solar de la Región Tacna*

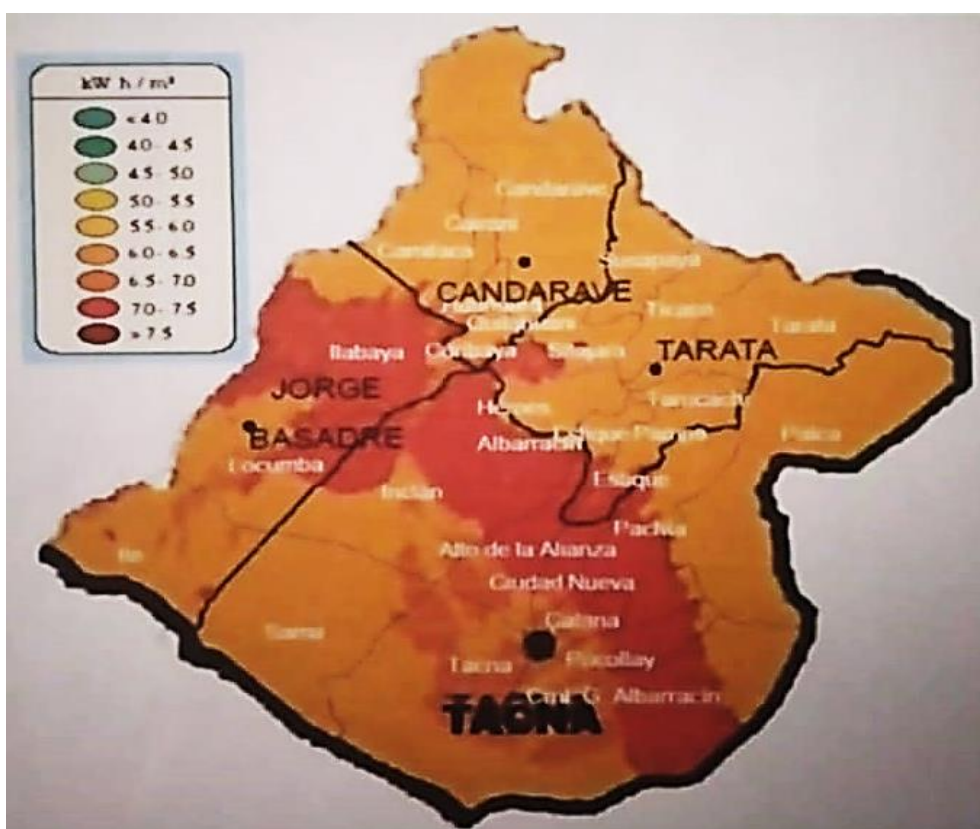


*Nota.* La radiación esta medida en un Angulo de 180°. Centro de energía renovables de Tacna (CERT), Carlos Polo Bravo, potencial energético solar de la región Tacna.

Cuenta con una franja o cinturón solar de aproximadamente 4000 km<sup>2</sup> correspondiente a un cuarto del área geográfica regional, como se muestra en la figura 15. En la cual la energía solar incidente en ciertos meses del año supera los 7,5 kwh/m<sup>2</sup> día equivalente a 267,22 litros de petróleo por metro cuadrado por año, que se visualiza en la figura siguiente en color rojo oscuro, que se extiende desde el norte de Chile hasta la región Arequipa. (CERT, 2023)

**Figura 15**

*Franja Solar de la Región Tacna*



*Nota.* Tacna cuenta con gran potencial energético solar. Centro de energía renovables de Tacna (CERT), Carlos Polo Bravo, (2023). potencial energético solar de la región Tacna.

La región Tacna cuenta con potencial energético solar abundante, limpio, renovable para autoabastecerse, y sobre todo para solucionar el grave problema de estrés hídrico, para aumentar la oferta hídrica con la desalinización y destilación de agua de mar y la descontaminación de las aguas naturales alto andinas de origen geotérmico, remediación de aguas servidas, desarrollar grandes proyectos mineros, agroindustriales, producción masiva de hidrogeno verde, entre otros.

### ***2.3.6. Principios Físicos de una Máquina de Vapor***

Las máquinas de vapor pertenecen a la familia de los convertidores de energía química en calor y después el calor en energía mecánica. En la mayor parte de los casos la producción de calor se efectúa por combustión de combustibles sólidos, generalmente hulla. La máquina de vapor se clasifica como una máquina de motor térmico de combustión externa, ya que el combustible se quema fuera del cuerpo de la máquina, en oposición a los motores de combustión interna, como los de automóvil, que queman el combustible en el interior del cilindro de trabajo. Las máquinas de combustión externa utilizan un fluido (en este caso vapor de agua) para transmitir la energía calorífica producida. (OPITEC, s.f., p.6)

*La transformación en energía mecánica se produce en dos fases:*

- a. En la caldera la energía calorífica calienta el agua hasta convertirla en vapor, el cual se expande y genera presión.
- b. La presión del vapor se utiliza para hacer funcionar las partes mecánicas de la máquina.

### ***2.3.7. Vaporización y Condensación***

La transformación de un cuerpo de estado líquido a estado gaseoso se llama vaporización y la temperatura a la que se produce esta transformación se denomina temperatura de ebullición. Esta transformación necesita una cantidad de energía específica que se denomina calor de vaporización. Para calentar en un grado de

temperatura (Celsius) un gramo de agua se necesita 4,2 joules, mientras que para convertir un gramo de agua en vapor se necesitan 2.257 joules. La necesidad de tanta energía adicional se debe al gran volumen que toma el vapor en comparación con el agua, de 1.673 veces a presión normal.

Si el vapor de agua no dispone de volumen suficiente (la caldera tiene un volumen limitado), aumenta la presión a medida que el vapor se va expandiendo. Esta presión se puede usar para mover un pistón hacia atrás y hacia delante. A medida que la presión aumenta, también cambia el punto de ebullición, así a presión de 2 bar, el punto de ebullición del agua se sitúa aproximadamente en 120°C en lugar de los 100°C en condiciones de presión atmosférica normal. Este principio se utiliza en las ollas a presión para cocer alimentos en menor tiempo (mayor temperatura), ahorrando energía y pérdida de vitaminas de los alimentos. El proceso inverso se realiza cuando el vapor de agua se enfría, produciéndose la condensación. Aquí se libera la misma cantidad de energía que la necesaria para obtener el vapor. Se puede ver la condensación como gotitas de agua cuando el vapor toca una superficie fría, pero como gas, es invisible. (OPITEC, s.f., p.6)

### ***2.3.8. Marco Normativo para la Construcción y Uso del Motor a Vapor***

En Perú, la fabricación de motores a vapor se rige principalmente por el Decreto Supremo 42F, que es el Reglamento de Seguridad Industrial. Este reglamento, vigente desde 1964, establece las normas de seguridad que deben cumplir las empresas industriales, incluyendo aquellas que fabrican motores a vapor. Adicionalmente, las empresas pueden consultar normas técnicas peruanas (NTP), que pueden ser consultadas en el INDECOPI (Decreto supremo N°42-F 2002).

En el Perú no hay una norma técnica peruana (NTP) específica y actualizada para el diseño completo de un motor a vapor, pero si existen normas relacionadas con la generación

de vapor, como la NTP 350.301 para calderas industriales. Para el diseño y dimensionamiento de tuberías para el vapor se deben consultar normas internacionales, ya que la NTP se centra en otros sectores como la energía, las comunicaciones o la seguridad.

“Aunque en materia de construcción de calderas puede hacerse referencia a las normas en vigor que permiten construir verdaderas máquinas infernales, es más razonable para el ámbito académico referirse a las normas DIN 660 70 o bien a la norma europea DIN EN 71, para evitar los riesgos al máximo” (OPITEC, s.f., p.10)

*Recomendaciones más importantes para las normas DIN 660 70:*

1. - No debe haber ni aristas ni ángulos vivos o cortantes.
- 2.- Debe haber protección contra la corrosión.
- 3.- Debe limitarse la temperatura de las piezas manipuladas.
- 4.- Calentar la caldera con combustibles no peligrosos, si es posible sólidos.
- 5.- La presión de trabajo de la caldera debe limitarse a 1,5 bar y su capacidad a 2 litros.
- 6.- Debe existir una válvula de seguridad de muelle de material inoxidable limitando permanentemente la presión a 3 bar (el doble de la presión de trabajo).
- 7.- La presión máxima soportable por la estructura debe ser de 4,5 bar (tres veces la presión de trabajo). Las pruebas deberán hacerse bajo el agua o por toma de presión bajo presión de agua.
- 8.- La caldera debe estar provista de un dispositivo que permita conocer el nivel de agua.
- 9.- Cada máquina deberá referenciarse con:
  - el nombre del constructor y el año de fabricación.
  - la presión de servicio.
  - la capacidad de la caldera en litros.
  - la presión de la prueba de resistencia.

En las tablas 3 y 4 se muestran cuadros comparativos de las normas DIN, UNE, ASME y INACAL. Con respecto a las válvulas de alivio y espesores de paredes.

**Tabla 3**

*Comparaciones en las Válvulas de Alivio*

		<b>NORMAS</b>			
		<b>DIN</b>	<b>UNE</b>	<b>ASME</b>	<b>INACAL</b>
<b>Válvulas de alivio</b>	Las válvulas de alivio se basan en la norma DIN EN ISO 4126 – 1 para el dimensionamiento y diseño. Esta norma establece los requisitos para las válvulas de seguridad y alivio de presión. (DIN ISO 4126-1, 2018)	La Norma UNE-EN 14071:2024, no especifica válvulas de vapor, si establece requisitos para las válvulas de alivio de presión. Directiva de Equipos a Presión 2014/68/UE, esta directiva es relevante para el diseño, fabricación y certificación de equipos a presión incluyendo válvulas de alivio. (UNE EN 14071, 2024)	Deben ser diseñados y construidas de acuerdo con el código ASME sección VIII división 1. Estas válvulas se utilizan para proteger recipientes a presión contra sobrepresiones. Se aplican a servicios de vapor tanto en calderas como en otros recipientes de vapor. (ASME sección VIII, 2018)	Las válvulas de alivio para presión de vapor que cumplen con la norma INACAL son aquellas que han sido diseñadas y probadas para garantizar la seguridad y el rendimiento en sistemas que manejan vapor, especialmente calderas. Estas válvulas, también conocidas como válvulas de seguridad, están diseñadas para evitar sobrepresiones al liberar vapor cuando la presión del sistema excede un nivel preestablecido. (NTP-ISO 18119, 2019)	

*Nota.* Referencias de las normas con respecto a las válvulas de alivio. (2024). Elaboración propia.

**Tabla 4***Comparaciones en los Espesores de Paredes*

	<b>DIN</b>	<b>UNE</b>	<b>ASME</b>	<b>INACAL</b>
<b>Espesores de paredes</b>	La norma DIN 11850/ EN 10357 – A. estas normas nos definen tolerancias estrictas. Los detalles como el diámetro, el espesor de la pared y la longitud están estrictamente controlados para garantizar la uniformidad y la compatibilidad con los sistemas existentes. (DIN 11850 y EN 10357, 2025)	No existe norma une para espesores de paredes. Sin embargo, pueden aplicarse a la fabricación de motores dependiendo de la aplicación y materiales utilizados. (UNE-EN 10130, 2008)	Depende de la presión de diseño, el material del recipiente y otros factores. En general la norma ASME B&PV VIII, división 1, establece los requisitos mínimos de espesor de recipientes a presión. (ASME sección VIII, 2018)	Según la norma INACAL (Instituto Nacional de Calidad del Perú), es necesario consultar la Norma Técnica Peruana (NTP) correspondiente. No existe una norma específica que trate el tema de los espesores de paredes, sino que las normas relacionadas con calderas y recipientes a presión son las que determinan los espesores de sus componentes.

*Nota.* Referencias de las normas con respecto a los espesores de paredes. (2024) Elaboración propia.

### **2.3.9. Economía del Sistema Térmico – Mecánico**

Los sistemas solares térmicos aprovechan los rayos solares para generar energía térmica, que es mucho más económica y respetuosa con el medio ambiente. Se trata de una energía renovable diferente a los paneles fotovoltaicos, que generan electricidad en lugar de calor.

*Teniendo algunos principales beneficios de la energía solar térmica:*

a) Reduce tu Consumo Energético.

Los sistemas solares térmicos aprovechan la luz solar para generar calor, reduciendo así hasta en un 70% la facturación de calefacción y agua caliente.

b) Apuesta por la Sostenibilidad.

La energía solar térmica es una energía natural 100%, que no genera ningún tipo de impacto medioambiental.

c) Reduce tu Huella de Carbono.

Al utilizar energía solar térmica en lugar de carbones fósiles, se reduce la cantidad de dióxido de carbono emitido en la atmosfera.

d) Ahorra aún Más.

Dependiendo del lugar en el que vivas, puedes conseguir diferentes ayudas e incentivos de las administraciones públicas.

e) Mejora la Eficiencia de tu Vivienda.

Los colectores solares han sido diseñados para optimizar al máximo la eficiencia de tu vivienda y minimizar el impacto estético sobre la cubierta. Cubriendo las 2/3 partes de las necesidades anuales de agua caliente de tu vivienda.

f) Fácil de Instalar.

Gracias a su diseño modular, se integra de forma rápida y sencilla en cualquier cubierta.

## **2.4. Definiciones Conceptuales**

Diseño: “del italiano disegno, la palabra diseño se refiere a un boceto, bosquejo o esquema que se realiza, ya sea mentalmente o en un soporte material, antes de concretar la producción de algo. El termino también se emplea para referirse a la apariencia de ciertos productos en cuanto a sus líneas, forma y funcionalidades” (Pérez, 2021)

Sistema: “conjunto de cosas que relacionadas entre si ordenadamente contribuyen a determinado objeto”. (real academia española, 2023).

Radiación: “la radiación es energía que se desplaza de una forma que se puede describir como ondas o un conjunto de partículas. Estamos expuestos a ella en nuestra vida cotidiana”. (IAEA, 2024).

Radiación solar: “se define como la energía emitida por el sol, la cual se propaga en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio en múltiples direcciones”. (solcor, 2024).

Irradiancia: es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

Irradiación: es un método de conservación que consiste en someter a los alimentos o objetos a la acción de radiación ionizante o electromagnética (rayos electromagnéticos) o partículas de alta energía durante un cierto lapso de tiempo.

Número de horas sol pico: Cuando hablamos de 1 hora de sol pico (HSP), nos referimos a la energía recibida por una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup> durante 1 hora.

Cilindros de bronce: son una aleación de cobre y estaño con diversas propiedades físicas y químicas. Este metal se caracteriza por su resistencia a la corrosión, conductividad eléctrica, maleabilidad y resistencia al desgaste.

Pistones de bronce: son piezas imprescindibles en el mecanismo del motor. Su función es cambiar el volumen y la presión del fluido para conseguir movimiento.

Bielas: es un elemento de maquina articulado para transmitir longitudinalmente movimiento entre dos partes de un mecanismo, están sometidos a esfuerzos de tracción y compresión.

Cigüeñal: es un eje rotatorio que se emplea en las máquinas para convertir el movimiento alternativo de un pistón en un movimiento giratorio. Es una pieza fundamental en los motores.

Soportes de madera: son sólidos de madera en forma de paralelepípedo encargados de soportar a los cilindros y contener al cigüeñal para el funcionamiento del motor.

Plataforma de madera: superficie rectangular de madera para el montaje del motor.

Volante de inercia: es un componente importante del motor. Su función es de regular el giro de cigüeñal evitando vibraciones para una mejor estabilidad del motor.

Energía térmica: “obtenida a partir de la radiación del sol, utilizada, mediante colectores, para producir calor y electricidad”. (real academia española, 2023).

Motor: “maquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía”. (real academia española, 2023).

Prototipo: “ejemplar original o primer modelo en que se fabrica una figura u otra cosa”. (real academia española, 2023).

Energía mecánica: “La energía mecánica es la suma de la energía cinética y la energía potencial de un cuerpo o sistema”. (concepto, 2024).

Captador solar térmico: “Un captador solar térmico o colector solar térmico o panel solar térmico, es un dispositivo que nos permite aprovechar la energía termo solar, es decir, sirve para captar la energía solar térmica a través de la radiación del sol y de esta forma calentar el agua”. (powen, 2021).

Carcasa: “pieza rígida que contiene y protege un dispositivo o mecanismo”. (real academia española, 2023).

Aislamiento: “sistema o dispositivo que impide la transmisión de la electricidad, el calor, el sonido, etc.” (real academia española, 2023).

Tuberías: “La tubería es un tubo hueco con sección transversal redonda para el transporte de productos. Los productos incluyen fluidos, gas, pellets, polvos y más”. (YI.ZENG, 2020).

## CAPITULO 3 Marco Metodológico

### 3.1. Planteamiento Metodológico

La presente investigación es de tipo **experimental**, ya que se manipulan variables para observar los efectos del diseño del motor a vapor sobre el aprovechamiento del sistema solar térmico.

Asimismo, es de nivel **descriptivo-correlacional**, dado que se describe el desempeño del prototipo y se analiza la relación entre variables mediante pruebas estadísticas.

### 3.2.Población y Muestra

Los objetos utilizados y datos obtenidos para la elaboración del proyecto:

#### 3.2.1. Población

“La población puede conformarse por personas, máquinas, equipos, infraestructura; en general, todos los elementos tangibles que puedan ser vistos y evaluados” (Arias J., 2021, p.152)

La población fue el prototipo de motor a vapor, el sistema solar térmico que cuenta la escuela de mecánica, componentes para el montaje del proyecto y herramientas para calcular los datos obtenidos en las pruebas experimentales como fueron un tacómetro y un medidor de potencia compuesto por dinamómetros.

#### 3.2.2. Muestra

“La muestra, es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevara a cabo la investigación; hay procedimientos para obtener la cantidad de los componentes de la muestra como formulas, lógica, etc.” (López P., 2004).

Las muestras se obtuvieron básicamente mediante un tacómetro y un medidor de potencia que cuenta el laboratorio de fluidos de la escuela de mecánica con la ayuda de cámaras, cuaderno de apuntes se adjuntaron los datos.

### 3.3. Equipos y Materiales

#### 3.3.1. Herramientas y Maquinas Necesarias

Arco de sierra	Limas para metal,
Tornillo de banco	Destornilladores
Martillo con mango de madera	Alicates
Escuadra metálica	Pie de rey
Brocas para metal	Brocas para madera
Machos e hileras	Esmeril
Taladro	Disco de desbaste
Disco de fibra para corte	Lijas para madera y fierro
Pistola para soldar estaño o cautín	

#### 3.3.2. Materiales a Utilizar

Trozos de bronce	Trozos de madera
Alambres galvanizados	Ángulos metálicos
Tornillos	Abrazaderas metálicas
Estaño para soldar	Aceite para lubricar
Pernos pequeños	Pasta térmica

### 3.4. Procedimiento de las Pruebas Experimentales

#### 3.4.1. Ubicación Geográfica del Sitio Donde se Realizó la Investigación

El sitio de estudio comprendió el pabellón de laboratorios de la escuela profesional de ingeniería mecánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna – Perú.

Su ubicación geográfica comprende  $-70.250058^\circ$  de longitud oeste y  $-18.026445^\circ$  de latitud sur y una altura de elevación con respecto al nivel del mar de 553m. aproximada mente y una temperatura del aire de  $19.3^\circ\text{C}$  según el atlas solar mundial. En la figura 16.

## Figura 16

*Ubicación del Pabellón de Laboratorios de la Escuela de Mecánica*



*Nota.* La imagen esta obtenida del atlas solar satelital. Atlas solar mundial. (2024). radiación solar.

### **3.4.2. Características Técnicas del Sistema Solar Térmico que se Usó.**

Módulo solar térmico con sensores y aditamentos que incluye: - termo tanque de alta presión de 250lts - 100% acero inoxidable - con serpentín interno de cobre resistencia eléctrica de respaldo, - termostato y magnesio bar. espesor 2.5mm. y aislamiento de poliuretano inyectado. fabricación industrial. - manifold heat pipe de 15 tubos de alta presión estructura industrial de aluminio - manifold heat pipe de 10 tubos de alta presión estructura industrial de aluminio - control system ls 14th 11mts

Accesorios varios que incluye: controlador inteligente de temperatura modelo sr81, con sensores de temperatura - plc (control lógico programable)

## Figura 17

### *Sistema Térmico Solar de la Escuela de Mecánica*



*Nota.* El sistema térmico consta de 25 colectores. (2024). Elaboración propia.

#### **3.4.3. Almacenamiento de Vapor de Agua**

El sistema de almacenamiento consto de dos tanques metálicos, el tanque pequeño desempeño como una caldera conectada a los colectores del sistema solar térmico y el grande desempeño como almacén del vapor de agua. Como se muestra en la figura 17.

Se realizaron las medidas de presión de vapor de agua que se acumularon en el tanque metálico grande con la ayuda de un manómetro diferencial de presión. Para posteriormente abastecer el funcionamiento del prototipo de motor a vapor.

#### **3.4.4. Puesta en Marcha del Prototipo y Toma de Datos**

El vapor presurizado se direccionó mediante una manguera al prototipo de motor a vapor. Se realizaron las siguientes mediciones:

- Fuerza (N): obtenida por dinamómetros colocados sobre la faja en tensión.
- Velocidad angular (RPM): registrada por un tacómetro digital, con cinta reflectiva adherida al volante de inercia.
- Tiempo de operación (s): medido manualmente con cronómetro.

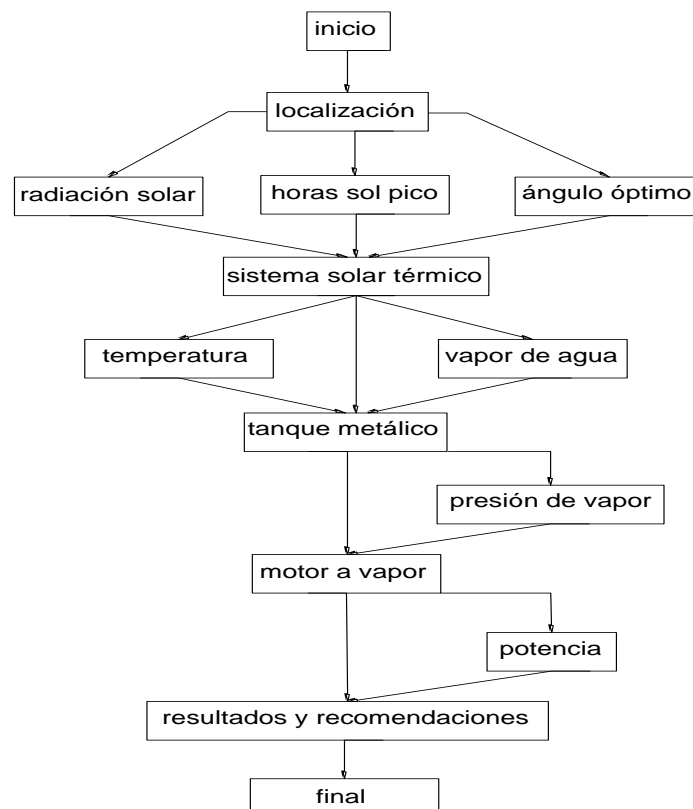
### 3.4.5. Análisis de los Resultados y Proponer Recomendaciones

Los datos recolectados fueron registrados en hojas de control. Posteriormente se procesaron mediante gráficos, cálculo de potencia y eficiencia, y se contrastaron con la hipótesis planteada.

Con los datos obtenidos en las pruebas del motor a vapor en los 20 días, se realizaron tablas graficas en Excel. Para posteriormente analizar los resultados obtenidos y se realizaron recomendaciones para posteriores investigaciones. El proceso del proyecto se visualiza en la figura 18.

**Figura 18**

*Proceso del Proyecto*



*Nota.* La secuencia de desarrollo del proyecto. (2024). Elaboración propia.

### **3.5. Técnicas de Recolección de Datos**

“Estos procesos pueden estar conformados por personas, datos, tecnologías, equipos, etc. Lo importante del análisis de procesos es detectar e identificar tiempos, costos, calidad de un producto y procesos que permitan cumplir las metas de la organización. Dentro del análisis se pueden realizar análisis visuales, análisis de informes, así como análisis de los procesos empresariales” (Arias J., 2021, p.158) Para la recolección de datos se usó las técnicas de:

- Observación: Comprenderán las fichas de observación, fotografías, videos, la libreta de notas.
- Análisis Documental: Instrumentos como las guías de análisis de documentos (artículos, datos, tesis).
- Mediciones: Se realizarán mediciones con un medidor de potencia y un tacómetro calibrado.

### **3.6. Técnicas para el Procesamiento de Datos**

Para el tratamiento de datos y procesamiento se realizaron pruebas prácticas como también inferencias sobre las relaciones entre las variables estudiadas y se obtuvieron conclusiones y recomendaciones.

El apartado estadístico también se reforzó para asegurar que las herramientas estadísticas estaban alineadas con la investigación.

Se empleó estadística descriptiva para analizar las características de la muestra (medidas de tendencia central, dispersión) y posteriormente pruebas de hipótesis como el test de correlación de Pearson para contrastar la hipótesis general y específica.

Estos métodos permitieron comprobar si existe una correlación significativa entre las variables estudiadas.

### 3.7. Tanques Metálicos

El proyecto de estudio no lleva una caldera en específico, el sistema solar térmico calienta el agua hasta llegar a la evaporación. Por ello se le acoplo un pequeño tanque al sistema térmico con agua en su interior para conseguir más vapor de agua y poder almacenar más presión en otro tanque más grande a través de una manguera de presión como se puede visualizar en la figura 19. Las dimensiones (Véase Anexo F)

La materia prima de los tanques metálicos que se utilizaron eran de acero al carbono, en concreto, acero DC- 04 porque así lo establece la norma UNE-EN 10130:2008, esta norma europea se aplica a los productos planos laminados en frío de acero bajo en carbono no recubiertos en anchura de laminados iguales o superiores a 600mm, con un espesor mínimo de 0,35mm y un máximo de 3mm. La corrosión es un factor que perjudica la vida útil de los tanques metálicos al estar en contacto con la humedad y el medio ambiente, para ello se le dio un mantenimiento regular durante las pruebas experimentales y un recubrimiento con pintura para evitar su deterioro prematuro.

#### Figura 19

*Tanques Metálicos para Caldera y Almacenamiento*



*Nota.* Son de metal para soportar presiones elevadas y el medio ambiente. (2024). Elaboración propia.

La presión del vapor de agua almacenado se manipulo mediante un sistema de seguridad que consto de los siguientes accesorios como se muestra en la figura 20. Con las dimensiones (Véase Anexo G)

- Un manómetro de presión diferencial
- Una válvula americana reguladora de presión
- Una válvula de alivio

### **Figura 20**

*Sistema de Seguridad para el Almacenamiento de Presión*



*Nota.* Ayuda a medir, regular y prevenir la presión de vapor almacenado. (2024). Elaboración propia.

### **3.8.Diseño del Prototipo de Motor a Vapor**

El proyecto de estudio se basó en la presión de vapor de agua que pueda entregar el sistema solar térmico que cuenta la escuela de ingeniería mecánica, al ser un sistema solar

térmico de alta presión por contar con tecnología heat pipe, puede soportar presiones de hasta 5 a 6 bar dependiendo de su estado de mantenimiento.

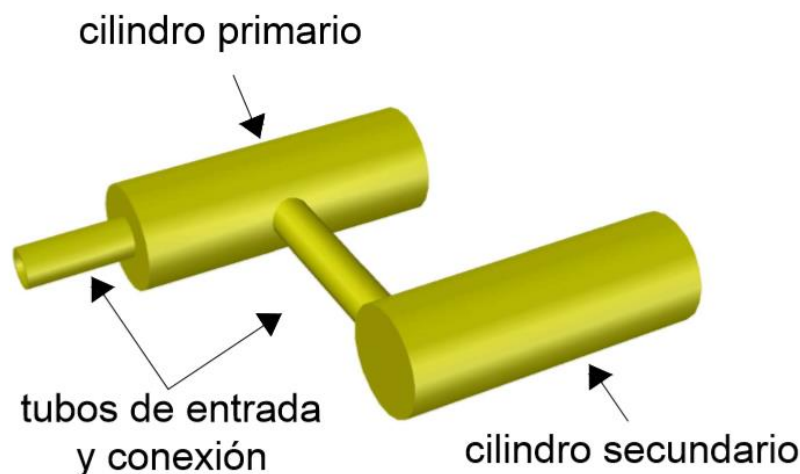
Se diseñó un prototipo de motor a vapor simple que no contenga mucha complejidad con materiales que se puedan conseguir con facilidad y un costo económico, con las dimensiones que se pueden visualizar en los planos que se encuentran en el anexo. Compuesto por los siguientes elementos principales:

### 3.8.1. *Cilindros y Pistones de Bronce*

Se utilizó el bronce como material principal para elaborar los cilindros y pistones del motor a vapor, porque en la fabricación de motores a vapor es preferente utilizar metales pesados no férricos, por transmitir bien el calor y tienen un mecanizado fácil. Además que tienen una gran resistencia a la corrosión, soportar presiones con temperaturas elevadas y tienen propiedades anti fricción.

#### **Figura 21**

*Componentes de los Cilindros de Bronce*



*Nota.* la soldadura se realizó con estaño. (2024). Elaboración propia.

Para determinar las dimensiones de los cilindros y pistones de bronce se basó en la presión de vapor de agua que puede soportar el sistema térmico, el diámetro de la varilla de

bronce que se pudo encontrar en el mercado, en este caso se obtuvo una barra de bronce de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y los factores que se consideró para determinar si el cilindro diseñado pueda soportar la presión de vapor que entrego el sistema térmico solar en las pruebas experimentales.

*Factores para determinar:*

- El diámetro del cilindro: a mayor diámetro, mayor será la superficie expuesta al vapor, esto significa que un diámetro más grande requerida un espesor mayor para soportar la misma presión.
- La temperatura del vapor: a mayor temperatura, mayor será la presión del cilindro, por lo tanto, mayor será la tensión en las paredes del cilindro.
- Las propiedades del bronce: la resistencia a la tracción y el limite elástico del bronce son propiedades claves que determinan cuanta presión puede soportar el material antes de deformarse o romperse.
- El factor de seguridad: es crucial un factor de seguridad para tener en cuenta posibles variaciones en las propiedades del material y las condiciones de operación.

Se estableció un objetivo de rendimiento, como potencia o eficiencia. Si se busca un motor con alta potencia y respuesta rápida, se prefiere un diámetro más grande que la carrera. Si se busca una eficiencia, el objetivo es un menor consumo de combustible, se debe elegir una carrera más larga que el diámetro. En este caso se prefirió elegir la eficiencia, al depender de una varilla de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

Se determinó el diámetro interno del cilindro de 14 mm, quedando con un espesor de 2,5mm por la sugerencia del tornero, porque al mecanizar la varilla de bronce no sufra desperfectos como rajaduras o deformaciones.

Para determinar el espesor ideal de un cilindro metálico se utilizó la fórmula 1.

$$T = (D_i \times P \times F) / (2 \times S) \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

T = espesor del cilindro (mm)

Di = diámetro interno del cilindro (mm)

P = presión de trabajo (bar)

F = factor de seguridad (siempre mayor o igual a 2)

S = limite elástico o límite de fluencia del material (bar)

Remplazando los datos en la fórmula para determinar el espesor ideal del cilindro de bronce. Dónde: Di = 14mm, P = 6bar (presión máxima que soportara el sistema térmico), S = 1500bar (limite elástico del bronce). Este tipo de cálculo se aplica a tuberías o cilindros que deben soportar la presión interna de un fluido o gas.

$$T = (14\text{mm} \times 6\text{bar} \times 2) / (2 \times 1500\text{bar})$$

$$T = 0,056 \text{ mm}$$

Se obtuvo un espesor ideal de 0,056 mm, pero en la realidad se dejó con un espesor de 2,5 mm, para que el tornero pueda mecanizar la pieza con normalidad. La carrera de los pistones tuvo que ser mayor que el diámetro porque se prefirió la eficiencia.

Para determinar la longitud de los pistones del motor a vapor se consideró una relación de longitud del pistón aproximadamente 1.5 veces su diámetro, que se obtuvo en las pruebas de diseño. Obteniéndose una longitud más o menos de 20mm.

La carrera del pistón se calculó aproximadamente de 40mm en relación con las aletas del cigüeñal. Quedando con una longitud de los cilindros de 70mm, para un desempeño óptimo corroborándose en las pruebas de funcionamiento. Se determinó la cilindrada del motor a vapor con la siguiente fórmula 2.

$$V_c = \pi \times (D/2)^2 \times C \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

$V_c =$  volumen del cilindro ( $\text{cm}^3$ )

$D =$  diámetro del cilindro (cm)

$C =$  carrera del pistón (cm)

$\pi = 3,1416$

$$V_c = 3,1416 \times (1,4 \text{ cm}/2)^2 \times 4 \text{ cm}$$

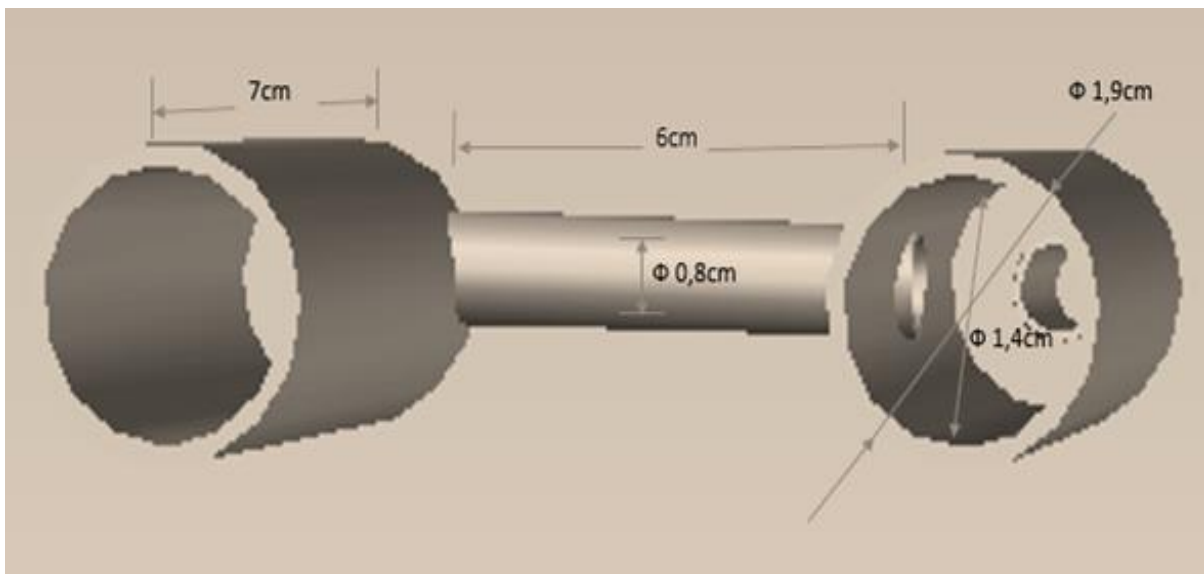
$$V_c = 6,157 \text{ cm}^3$$

En los cálculos se obtuvo el valor de la cilindrada total del motor a vapor de  $2 \times 6,157 = 12,314 \text{ cm}^3$ . En la figura 22 se pueden visualizar las dimensiones de los cilindros de bronce.

También (Véase Anexo C)

### Figura 22

#### *Cilindros de Bronce*

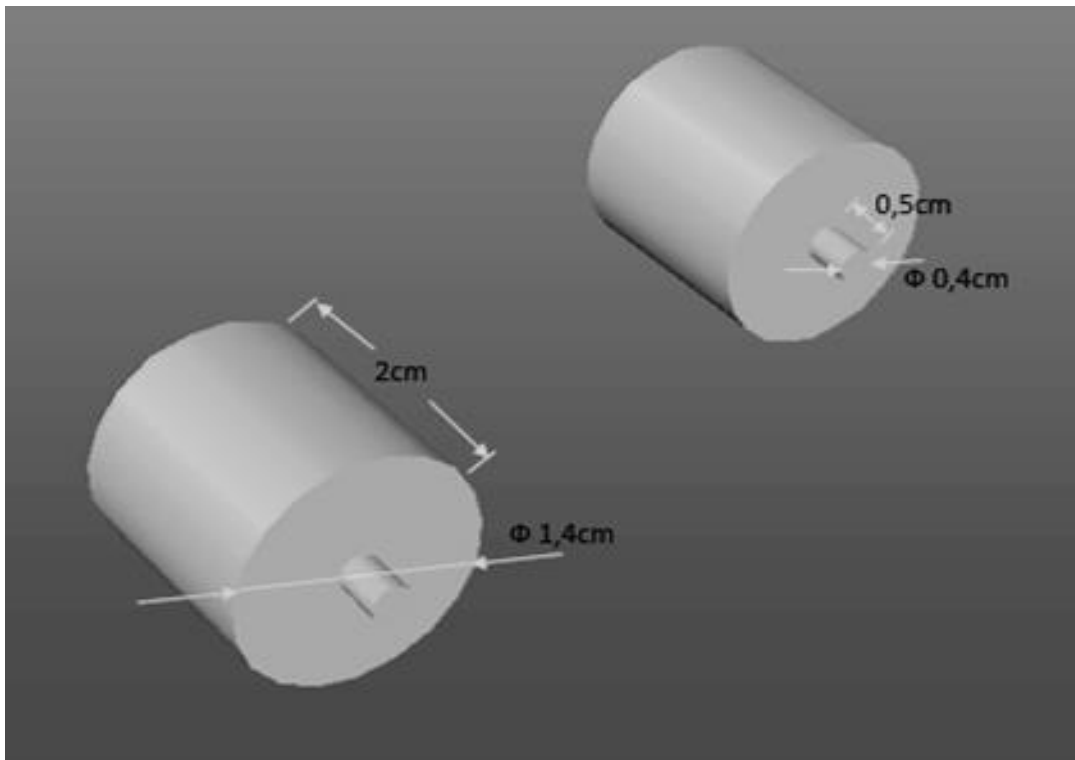


*Nota.* Son componentes importantes del motor y trabajan en conjunto por medio de un conductor que los une. (2024). Elaboración propia.

En la figura 23. se visualiza las dimensiones de los pistones de bronce que fueron mecanizados en conjunto con los cilindros, para obtener un trabajo de funcionamiento óptimo.

### Figura 23

#### *Pistones de Bronce*



*Nota.* Son de bronce sólido e inician la transformación de la energía térmica en mecánica. (2024). Elaboración propia.

#### 3.8.2. *Soportes de Madera*

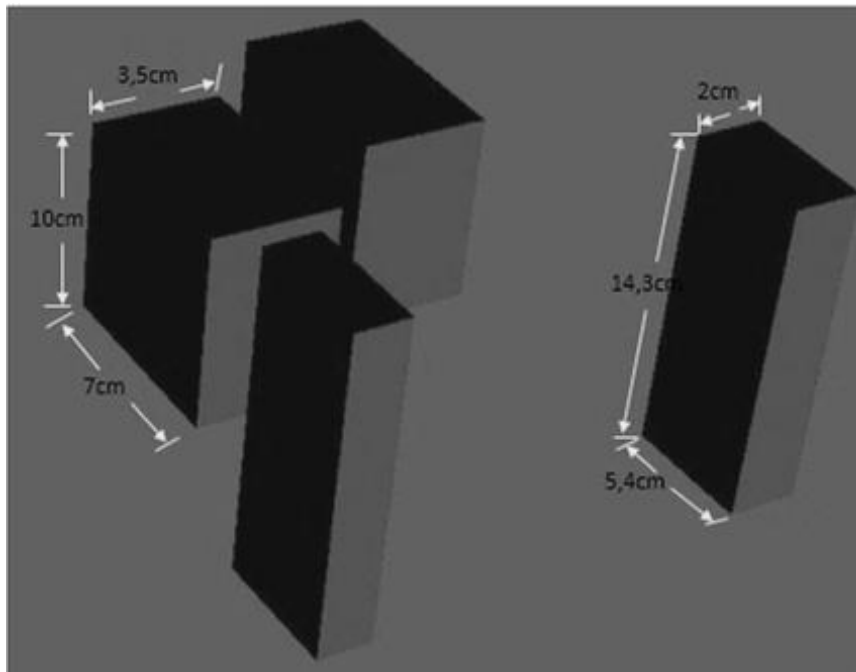
Se hicieron dos tipos de soportes de madera. Uno para soportar y alojar los extremos del cigüeñal y otro para soportar a los cilindros del motor, como se pueden ver en la figura 24. También (Véase Anexo D).

Se usó el material de madera por las propiedades que estas tienen como: dureza, flexibilidad, resistencia y capacidad de aislamiento para reducir los ruidos por vibraciones como también la transferencia de calor.

Las dimensiones se determinaron por criterios como el descanso, soporte de los cilindros y el cigüeñal. Y que estos estén a su misma altura de sus ejes para el funcionamiento correcto.

## Figura 24

### *Soportes de Madera*



*Nota.* Encargados de soportar los cilindros y cigüeñal del motor. (2024). Elaboración propia.

*La Madera es una Excelente Opción por tener las Sigüientes Propiedades:*

- **Resistencia:** La madera es un material resistente, especialmente a la tracción y compresión, siendo ideal para la construcción. La resistencia a la tracción es mayor cuando la fuerza se aplica en dirección a las fibras.
- **Flexibilidad:** La madera puede doblarse sin romperse, lo que permite su uso en diversas aplicaciones, como la fabricación de muebles y instrumentos musicales.
- **Dureza:** La dureza de la madera varía según la especie, siendo las maderas duras (como el roble) más resistentes que las maderas blandas.
- **Capacidad de Aislamiento:** La madera es un buen aislante térmico y acústico, reduciendo la transferencia de calor y sonido.
- **Biodegradabilidad:** La madera es un material biodegradable, lo que significa que se descompone naturalmente en el medio ambiente.

### 3.8.3. Las Bielas

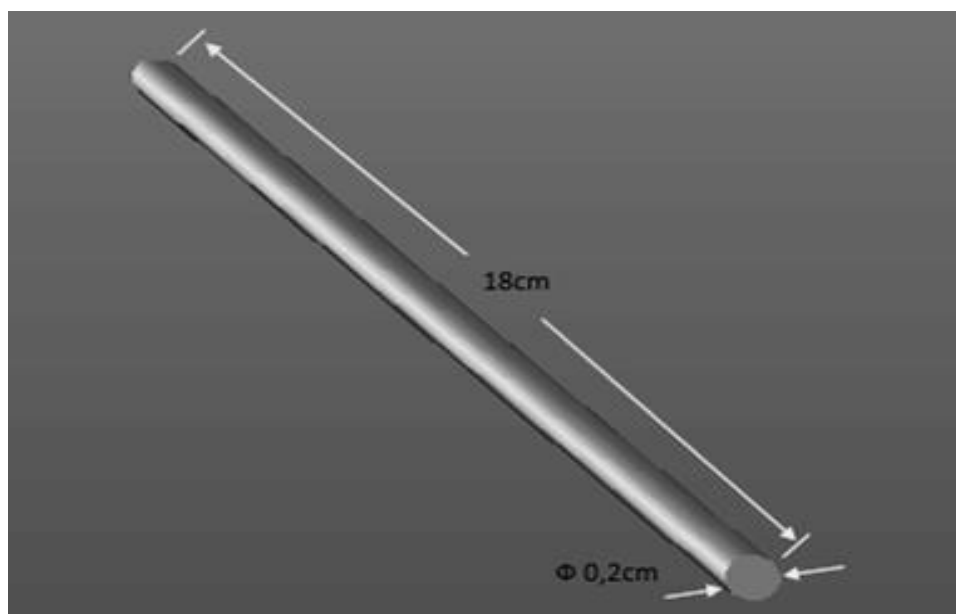
El material de las bielas es de alambre acerado, conteniendo alto contenido de carbono y con un recubrimiento especial de zinc por inmersión en caliente. Se buscó ese tipo de material para que soporte tensiones y esfuerzos sin romperse fácilmente como también un peso liviano. También tiene una resistencia a la corrosión y oxidación. Tienen un acople con el pistón y el cigüeñal como se puede ver en el plano (grafico pistón-biela-cigüeñal) del anexo.

Las longitudes de las bielas se determinaron en relación de similitud entre la carrera del pistón y el diámetro del cigüeñal. según (Soto, 2003) “la dimensión de dicha manivela no modifica la potencia de salida ni el torque promedio producido durante el ciclo”. Por lo tanto, la medida encontrada fue de acuerdo a las pruebas de funcionamiento del motor. Las medidas se encuentran en el plano (Véase Anexo B).

Las bielas fueron empalmadas a los pistones y el cigüeñal por medio de accesorios soldados con estaño para una mejor articulación en su funcionamiento, que se pueden ver en el plano (Véase Anexo J).

#### Figura 25

##### *Biela de Acero*



*Nota.* Transmiten la fuerza al cigüeñal. (2024). Elaboración propia.

#### 3.8.4. Cigüeñal del Motor

El cigüeñal se elaboró de un alambre acerado de 2,5mm de diámetro, por ser una característica de los cigüeñales, costa de dos aletas o brazos rectangulares encargados de recibir el movimiento lineal de los pistones por intermedio de las bielas en movimiento rotatorio. Estas aletas tienen un desfase de 90° entre ellas, para que el movimiento giratorio sea más suave, equilibrado y no presente vibraciones fuertes, con un diámetro de giro de más o menos 40mm, teniendo semejanza con la medida de la carrera del pistón.

Con las medidas que se puede ver en el plano (Véase Anexo E). Se colocó un volante de inercia en medio del cigüeñal, como se puede visualizar en la figura 26. para reducir al mínimo las vibraciones que esta pueda producir en el funcionamiento, como también se colocó unos pequeños tubos galvanizados que fueron incrustados en los soportes del cigüeñal, como especies de cojinetes y reduzcan la fricción al mínimo entre el alambre acerado y la madera de los soportes.

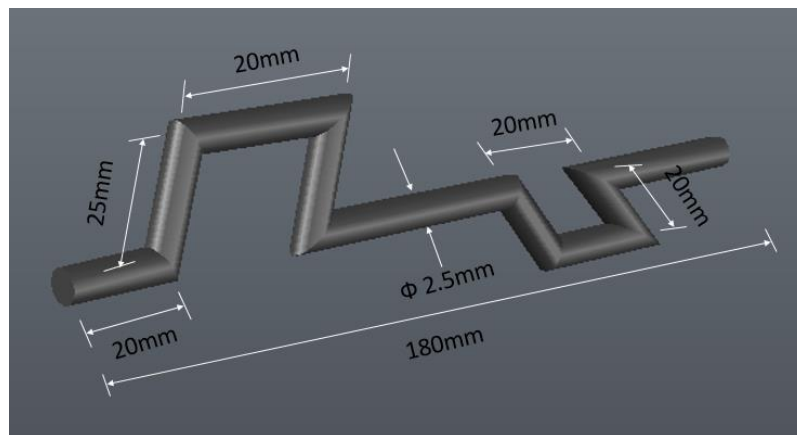
Este diseño se corroboró su eficiencia con el funcionamiento de todas las piezas del motor ensambladas, con la ayuda de un compresor de aire.

#### Figura 26

##### *Cigüeñal del Motor*



*Nota.* el ensamble de cigüeñal y las bielas es por medio de presillas de sujeción mostradas con mayor detalle en el plano pisto-biela-cigüeñal en el anexo. (2024). Elaboración propia.

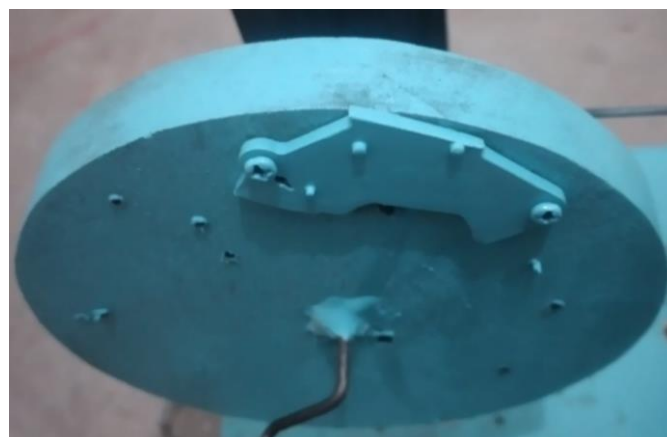
**Figura 27***Cigüeñal de Acero*

*Nota.* Tienen un desfase de 90° y giran en forma horaria. (2024). Elaboración propia.

### 3.8.5. *Volante de Inercia*

El volante de inercia se determinó de un material de madera por ser de mayor accesibilidad y economía para su fabricación, con las dimensiones y un peso determinado con las pruebas de funcionamiento para no generar deformaciones en el cigüeñal.

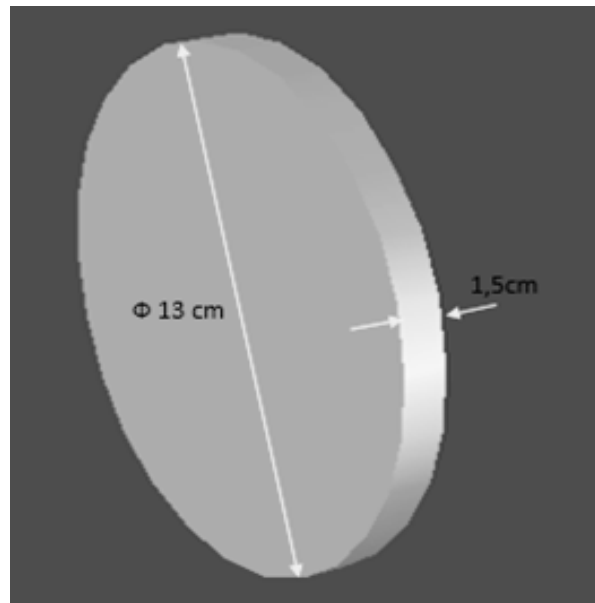
Esta incrustado y soldado con estaño al eje del cigüeñal para su mejor fijación. Como la función es regular el giro del motor y suavizar las vibraciones se determinó colocar un contrapeso de metal mejorando la estabilidad de giro. Como se visualiza en la figura 28.

**Figura 28***Contrapeso del Volante de Inercia*

*Nota.* el contrapeso de material fierro galvanizado sujetado con tornillos. (2024). Elaboración propia.

## Figura 29

*Volante de Inercia de Madera*



*Nota.* Es parte del cigüeñal y ayuda a la estabilización de giro del motor. (2024). Elaboración propia.

### 3.9. Ensamble del Prototipo de Motor a Vapor

#### 3.9.1. Procedimiento de Ensamble

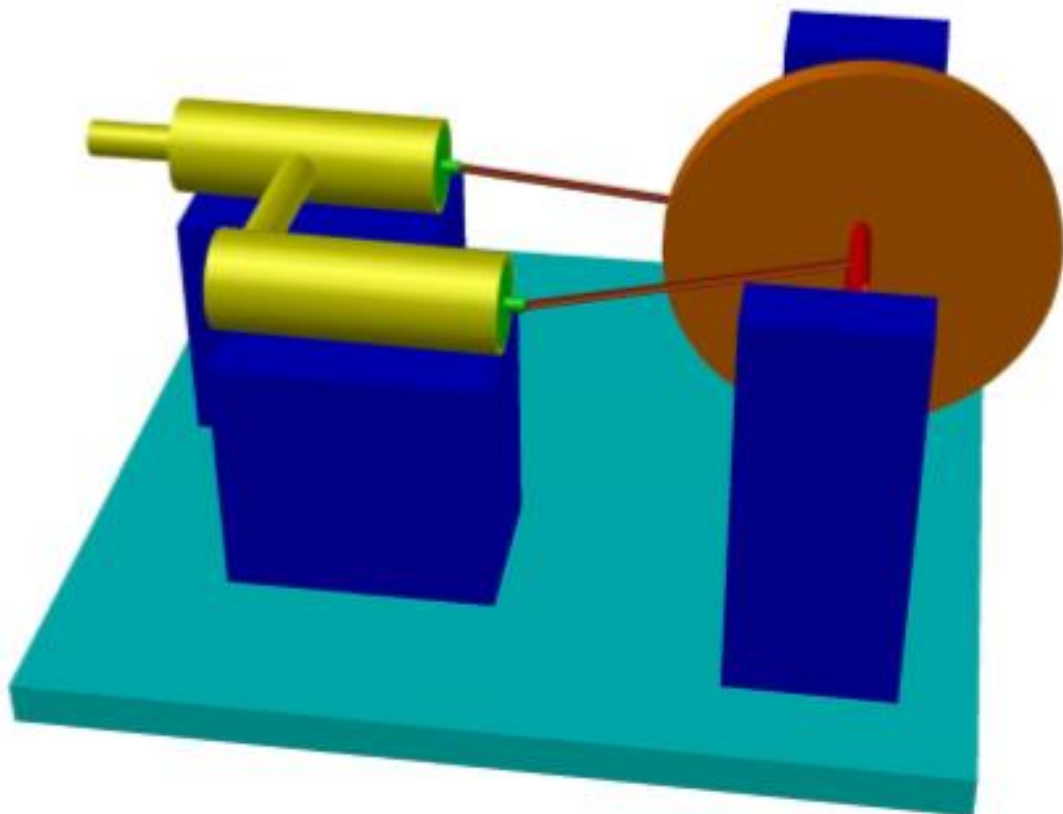
*Para el ensamble del motor se deben de seguir los siguientes pasos:*

- Soldaron con estaño los componentes de los cilindros de bronce para ser un solo objeto fijo, el componente más importante del motor que transformara la energía térmica en energía mecánica.
- Se colocaron los soportes de madera tanto para soportar el cigüeñal y los cilindros de bronce que queden al mismo nivel y paralelos a la plataforma de madera, sujetando los cilindros con dos abrazaderas de metal y tornillos en los soportes.

- El cigüeñal se colocó en los soportes de madera previamente introduciendo en los soportes unos tubos metálicos galvanizados como especie de cojinete y poder girar el cigüeñal sin fricciones.
- La distancia de los soportes se debió a las bielas calculando el movimiento que estas tienen para no tener fricciones con los cilindros de bronce.
- Las bielas se ensamblaron a los pistones y cigüeñal de forma que tengan un funcionamiento libre como se pueden ver en los planos del anexo.
- Ya todos los componentes en su posición se procedieron a sujetar los soportes a la plataforma de madera con ángulos de metal y tornillos quedando perpendiculares entre ellos. Para después verificar el funcionamiento correcto con la ayuda de un compresor de aire.

**Figura 30**

*Ensamble del Motor a Vapor*



*Nota.* La plataforma es de triplay prensado para evitar deformaciones con la humedad y el sol. (2024). Elaboración propia.

### **3.9.2. Procedimiento de Funcionamiento**

- El procedimiento de funcionamiento se determinó por la posición de recorrido de los pistones en los cilindros y regulando la distancia de las bielas entre los pistones y cigüeñal.
- Se debe de respetar las posiciones de los pistones en el interior de los cilindros para un correcto funcionamiento. Como los pistones se encuentran echados horizontalmente se determinó el punto muerto inicial y punto muerto final como se ve en los planos (Véase Anexo K).
- Donde el inicio de funcionamiento comienza en el punto muerto inicial del cilindro primario. Mientras que en el cilindro secundario el pistón se encuentra en medio del recorrido retornando al punto muerto inicial de dicho cilindro en concordancia de los 360° que gira el cigüeñal. Teniendo 6 posiciones de los pistones que se pueden ver en los planos ya mencionados.

### **3.10. Esfuerzos Estáticos y Dinámicos**

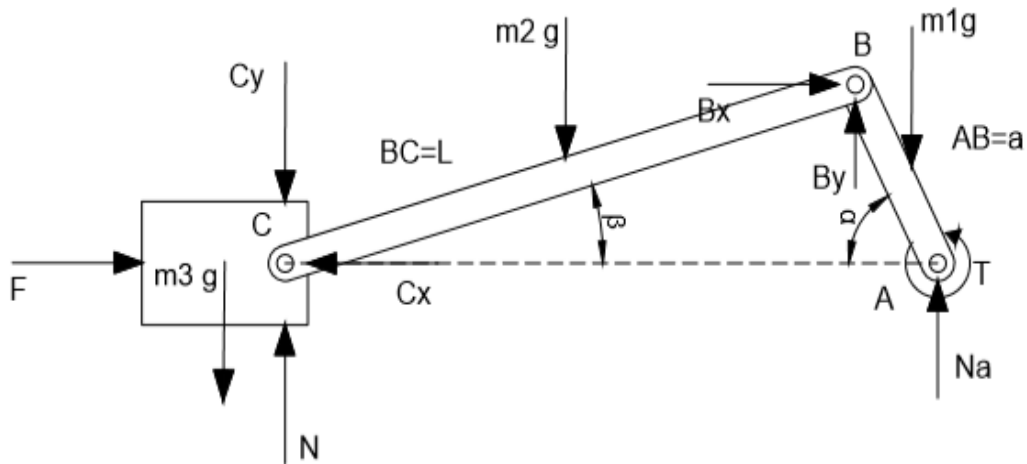
Se determinó los análisis para esfuerzos estáticos y dinámicos para la biela y cigüeñal como se visualiza (Véase Anexo H e I).

#### **3.10.1. Esfuerzos Estáticos**

Se refiere a una situación donde un objeto o sistema mantiene una posición fija, sin movimiento o cambio de posición, bajo la influencia de fuerzas que se equilibran mutuamente. Como se puede visualizar en la figura 31.

#### **Figura 31**

*Esfuerzos Estáticos*



*Nota.* las fuerzas se encuentran en estado de reposo. (2025). Elaboración propia.

### En el Punto (C)

$$\sum F(x) = 0$$

$$F - F_{BC} \cdot \cos \beta = 0$$

$$F = F_{BC} \cdot \cos \beta$$

$$\sum F(y) = 0$$

$$N_C - m_3 \cdot g - F_{BC} \cdot \sin \beta - m_2 g \cdot \sin \beta = 0$$

$$N_C = m_3 \cdot g + F_{BC} \cdot \sin \beta + m_2 g \cdot \sin \beta$$

### En el Punto (B)

$$\sum F(x) = 0$$

$$F_{BC} \cdot \cos \beta - F_{AB} \cdot \cos \alpha = 0$$

$$F_{BC} \cdot \cos \beta = F_{AB} \cdot \cos \alpha$$

$$\sum F(y) = 0$$

$$F_{AB} \cdot \sin \alpha + F_{BC} \cdot \sin \beta - m_1 g \cdot \sin \alpha - m_2 g \cdot \sin \beta = 0$$

$$F_{AB} \cdot \sin \alpha + F_{BC} \cdot \sin \beta = m_1 g \cdot \sin \alpha + m_2 g \cdot \sin \beta$$

**En el Punto (A)**

$$\sum F(y) = 0$$

$$N_A - F_{AB} \cdot \sin \alpha - m_1 g \cdot \sin \alpha = 0$$

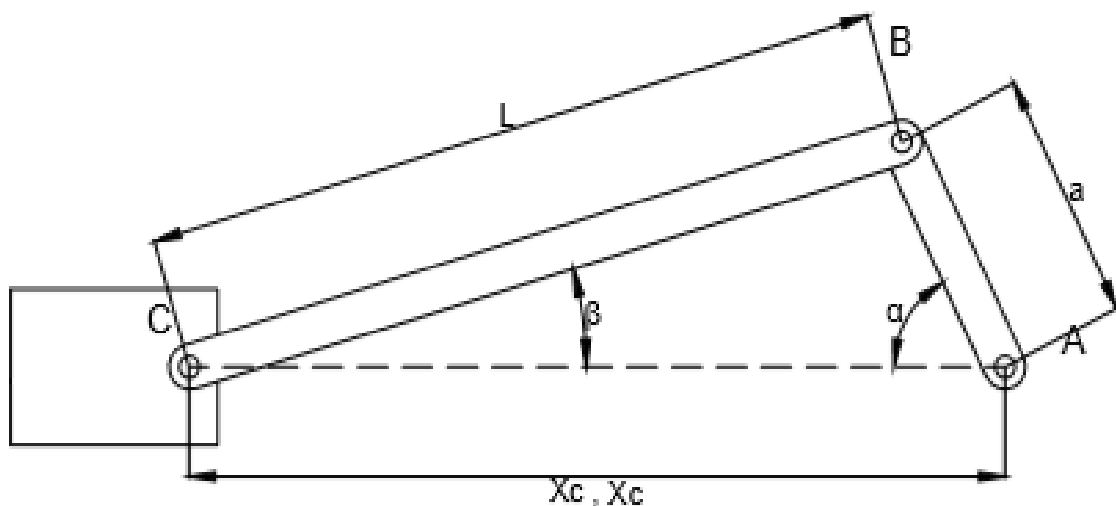
$$N_A = F_{AB} \cdot \sin \alpha + m_1 g \cdot \sin \alpha$$

### 3.10.2. Esfuerzos Dinámicos

Son aquellos que varían con el tiempo a diferencia de los esfuerzos estáticos. Estos esfuerzos dinámicos varían gracias a la aceleración. Antes de efectuar el análisis dinámico es necesario realizar un análisis de aceleraciones, para eventualmente determinar las fuerzas inerciales del sistema. De esta forma el vector posición del cual se obtendrá la aceleración del centro de masa de la barra AB tiene las siguientes componentes X y Y. Se asumió que la masa del eslabón AB, así como el pistón es despreciable.

**Figura 32**

*Mecanismo de Biela-Manivela del Cigüeñal del Motor*



*Nota.* El pistón experimenta fricción proporcional a la velocidad. (2025). Elaboración propia.

$$X = \frac{a}{2} \cos \alpha \quad Y = \frac{a}{2} \sin \alpha$$

$$\dot{X} = -\frac{a}{2} \dot{\alpha} \sin \alpha \quad \dot{Y} = \frac{a}{2} \dot{\alpha} \cos \alpha$$

Al derivar dos veces con respecto al tiempo, se obtuvo

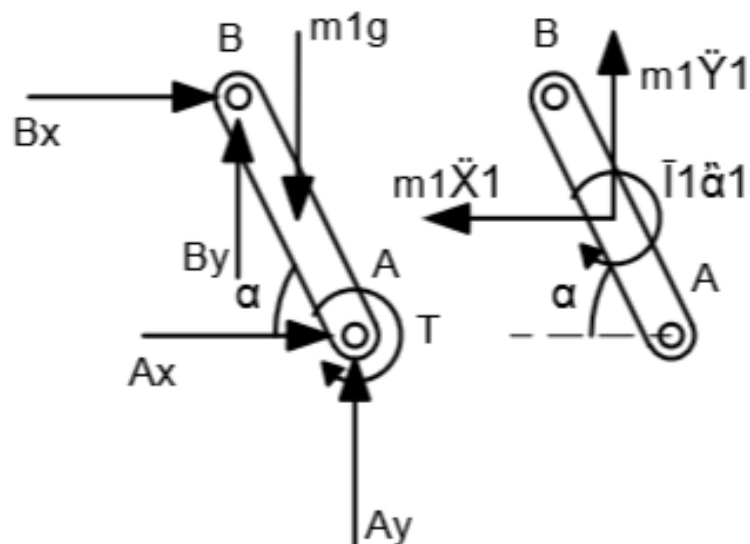
$$\ddot{X}_1 = -\frac{a}{2}\dot{\alpha}^2 \cos \alpha - \frac{a}{2}\ddot{\alpha} \sin \alpha$$

$$\ddot{Y}_1 = -\frac{a}{2}\dot{\alpha}^2 \sin \alpha + \frac{a}{2}\ddot{\alpha} \cos \alpha$$

Al obtenerse las expresiones para las aceleraciones en X y Y del centro de masa de la barra AB se plantea en la siguiente figura de diagrama de cuerpo libre.

**Figura 33**

*Diagrama de Cuerpo Libre de la Barra AB*



*Nota.* Son las fuerzas externas e inerciales. (2025). Elaboración propia.

Igualamos la sumatoria de momentos con respecto al centro de masa de la barra AB, a la sumatoria de momentos inerciales de la barra AB:

$$\sum M_{CM} = \sum I_1 \ddot{\alpha}$$

$$\frac{a}{2} \sin \alpha B_X + \frac{a}{2} \cos \alpha B_Y - A_Y \frac{a}{2} \cos \alpha - A_X \frac{a}{2} \sin \alpha + T = \bar{I}_1 \ddot{\alpha}$$

$$\sum F_Y = m_1 \ddot{Y}_1$$

$$B_Y - m_1 g + A_Y = m_1 \ddot{Y}_1$$

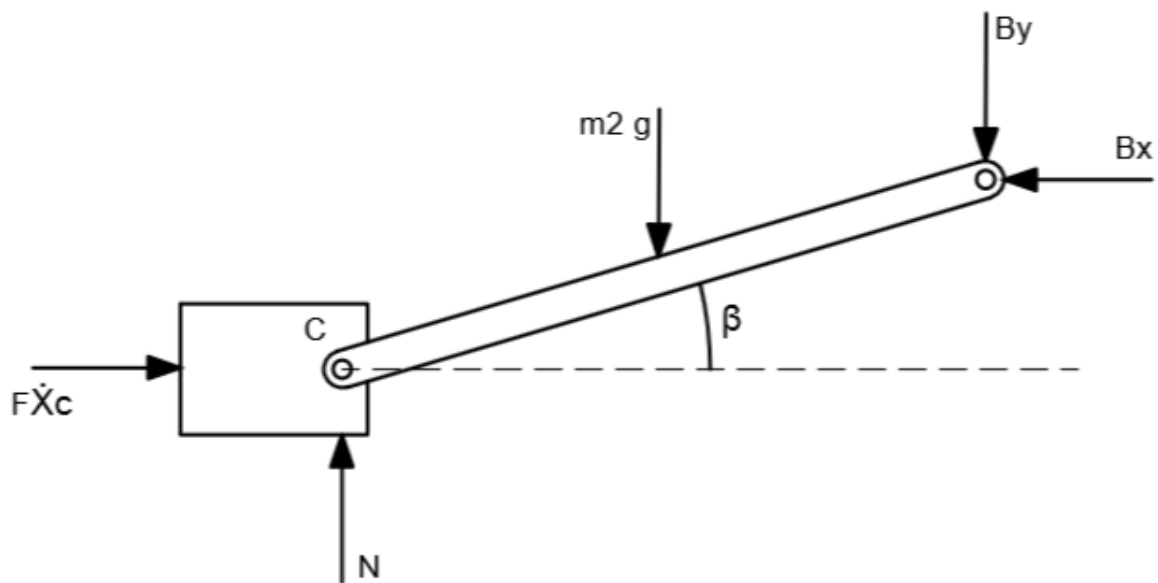
$$\sum F_x = m_1 \ddot{X}_1$$

$$-B_x - A_x = m_1 \ddot{X}_1$$

En el caso de la barra BC dado que se desprecia la masa del sistema. Su diagrama de cuerpo libre se muestra en la siguiente figura 34.

### Figura 34

Diagrama de Cuerpo Libre de la Barra BC



Nota. F es la constante de fricción del pistón. (2025). Elaboración propia.

De esta forma, la fuerza de fricción tendría sentido opuesto. Donde F es el coeficiente de fricción y  $X_C$  está definido como:

$$X_C = a \cos \alpha + L \cos \beta$$

Al derivar con respecto al tiempo se obtuvo:

$$\dot{X}_C = -a\dot{\alpha} \sin \alpha - L\dot{\beta} \sin \beta$$

Las ecuaciones de movimiento de la barra BC serán:

$$\sum M_{CM} = 0$$

$$\frac{L}{2} B_x \sin \beta - \frac{L}{2} B_y \cos \beta - N \frac{L}{2} \cos \beta + F \dot{X}_C \frac{L}{2} \sin \beta = 0$$

$$\sum F_X = 0$$

$$B_X - F\dot{X}_C = 0$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$N - B_Y = 0$$

Se tiene, por lo tanto, el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\frac{a}{2} \sin \alpha B_X + \frac{a}{2} \cos \alpha B_Y - A_Y \frac{a}{2} \cos \alpha - A_X \frac{a}{2} \sin \alpha + T - \bar{I}_1 \ddot{\alpha} = 0$$

$$B_Y - m_1 g + A_Y - m_1 \left( -\frac{a}{2} \dot{\alpha}^2 \sin \alpha + \frac{a}{2} \ddot{\alpha} \cos \alpha \right) = 0$$

$$-B_X - A_X - m_1 \left( -\frac{a}{2} \dot{\alpha}^2 \cos \alpha - \frac{a}{2} \ddot{\alpha} \sin \alpha \right) = 0$$

$$\frac{L}{2} B_X \sin \beta - \frac{L}{2} B_Y \cos \beta - N \frac{L}{2} \cos \beta + F\dot{X}_C \frac{L}{2} \sin \beta = 0$$

$$B_X - F\dot{X}_C = 0$$

$$N - m_2 g - B_Y = 0$$

Donde las incógnitas son las reacciones y la aceleración angular  $\ddot{\alpha}$  :

$$A_X, A_Y, B_X, B_Y, N, \ddot{\alpha}.$$

Transcribiendo el resultado para  $\ddot{\alpha}$  se tiene la siguiente ecuación diferencial:

$$\ddot{\alpha} = \frac{2(2T + 2F_F a(\cos \alpha \tan \beta + \operatorname{sen} \alpha) - mg a \cos \alpha)}{4L + ma^2}$$

Las reacciones en A vienen dadas por:

$$A_x = \frac{am}{2} (\dot{\alpha}^2 \cos \alpha - \ddot{\alpha} \operatorname{sen} \alpha) - F_F$$

$$A_y = -\frac{am}{2} (\dot{\alpha}^2 \operatorname{sen} \alpha + \ddot{\alpha} \cos \alpha) + F_F \tan \beta - mg$$

Recordando que  $\beta$  y  $\alpha$  se puede establecer de la siguiente forma:

$$L \operatorname{sen} \beta = a \operatorname{sen} \alpha$$

Despejando  $\beta$  se tiene:

$$\beta = \operatorname{arcsen} \left( \frac{a \operatorname{sen} \alpha}{L} \right)$$

Al derivar con respecto al tiempo, se tiene que:

$$L\dot{\beta}\cos\beta = a\dot{\alpha}\cos\alpha$$

Dejando  $\dot{\beta}$  se tiene que:

$$\dot{\beta} = \frac{a\dot{\alpha}\cos\alpha}{L\cos\beta}$$

De esta forma entonces se tiene una ecuación diferencial. Para resolver esta ecuación diferencial se reemplazó los datos encontrados en las pruebas experimentales como:  $T = 0.086\text{N/m}$ ,  $F = 3.15\text{N}$ ,  $a = 0.02\text{m}$ ,  $L = 0.18\text{m}$ ,  $g = 9.81\text{m/s}$ ,  $\dot{\alpha} = 224.402\text{rad/s}$ ,  $\alpha = 90^\circ$ .

$$\ddot{\alpha} = \frac{2(2T + 2F a (\cos\alpha \tan(\arcsen(\frac{a\text{sen}\alpha}{L})) + \text{sen}\alpha) - mg a \cos\alpha)}{4L + ma^2}$$

$$= \frac{2(2 \times 0.086 + 2 \times 3.15 \times 0.02 (\cos 90^\circ \tan(\arcsen(\frac{0.02 \times \text{sen} 90^\circ}{0.18})) + \text{sen} 90^\circ) - 1 \times 9.81 \times 0.02 \times \cos 90^\circ)}{4 \times 0.18 + 1 \times 0.02^2}$$

$$\ddot{\alpha} = 0.83 \text{ rad/s}^2$$

$$A_x = \frac{am}{2} (\dot{\alpha}^2 \cos\alpha - \ddot{\alpha} \text{sen}\alpha) - F$$

$$A_x = \frac{0.02 \times 1}{2} (224.402^2 \times \cos 90^\circ - 0.83 \times \text{sen} 90^\circ) - 3.15$$

$$A_x = -3.1583\text{N}$$

$$A_y = -\frac{am}{2} (\dot{\alpha}^2 \text{sen}\alpha + \ddot{\alpha} \cos\alpha) + F \tan\beta - mg$$

$$A_y = -\frac{0.02 \times 1}{2} (224.402^2 \times \text{sen} 90^\circ + 0.83 \times \cos 90^\circ) + 3.15 \times \tan\left(\arcsen\left(\frac{0.02 \times \text{sen} 90^\circ}{0.18}\right)\right) - 1 \times 9.81$$

$$A_y = -51.302\text{N}$$

$$B_x = F$$

$$B_x = 3.15\text{N}$$

$$B_Y = mg - A_Y + m \left( -\frac{a}{2} \dot{\alpha}^2 \sin \alpha + \frac{a}{2} \ddot{\alpha} \cos \alpha \right)$$

$$B_Y = 1 \times 9.81 - (-51.302) + 1 \times \left( -\frac{0.02}{2} \times 224.402^2 \times \sin 90 + \frac{0.02}{2} \times 0.83 \times \cos 90 \right)$$

$$B_Y = 19.27\text{N}$$

$$N = m_2 g + B_Y$$

$$N = 1 \times 9.81 + 19.27$$

$$N = 29.08\text{N}$$

## CAPITULO 4 Resultados

### 4.1.Descripción de las Pruebas Experimentales

Se obtuvieron datos del lugar de estudio mediante la página web “el atlas solar mundial” y otras estaciones meteorológicas. Posteriormente se realizó cálculos obteniéndose el ángulo óptimo de inclinación de los colectores del sistema térmico solar.

Con la ayuda del sistema solar térmico, un medidor de potencia y un tacómetro se realizaron pruebas experimentales al prototipo de motor a vapor encontrándose los datos de fuerza y RPM en un determinado tiempo para calcular la potencia y energía mecánica que entrego el motor.

#### 4.1.1. *Determinación del Angulo de Inclinación de los Colectores Solares*

Se ubicó el lugar del sistema solar térmico de la escuela de mecánica en el atlas solar mundial se encontró a (-18.026445° de latitud sur y -70.250058° de longitud oeste ) con un ángulo óptimo de inclinación de los paneles de 18° con orientación hacia el norte, con una irradiación de 6.497 kwh/m<sup>2</sup> por día.

Se calculó el ángulo optimo con respecto a la latitud encontrada en el atlas solar mundial. Se determinó la inclinación que tendrá los tubos colectores solares respecto al sol para receptor la mayor cantidad de irradiación solar en el día. Se usó la ecuación (3)

$$\alpha_{opt.} = 3.7 + (0.69 \times |L|) \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha_{opt.} = 3.7 + (0.69 \times | - 18.026445 |)$$

$$\alpha_{opt.} = 16.138^\circ$$

Dónde:  $|L|$  es la latitud del lugar.

#### 4.1.2. *Obtención de las Presiones de Vapor*

Las presiones para las pruebas experimentales fueron obtenidas a través del sistema solar térmico que cuenta la escuela de ingeniería mecánica en conjunto con dos tanques

metálicos uno pequeño teniendo como función de caldera y otro grande almacenando la presión de vapor conectados a través de una manguera como se ve en la figura 35. Y un sistema de seguridad como son: un manómetro de presión diferencial, válvula de alivio y válvula regulable.

El sistema solar térmico recibió los rayos solares en los tubos colectores transformando la energía solar en energía térmica calentado el agua estática almacenada en el sistema solar térmico y el tanque pequeño hasta llegar a la ebullición obteniéndose una temperatura máxima de 120°C entre 11.00am a la 1.00pm en temporada de verano de cielo despejado.

Se produjo las presiones de vapor para posteriormente almacenarse en el tanque grande hasta un máximo de 2,13bar de presión.

### **Figura 35**

#### *Acumulación de Presión*



*Nota:* Tanques metálicos para elevadas Presiones. (2024). Elaboración propia.

#### **4.1.3. Sistema de Control y Monitoreo**

El control y monitoreo del sistema térmico – mecánico es basado en un control manual y automático para detectar problemas en su funcionamiento.

- Control manual: el operador visualiza el funcionamiento del equipo, manipulando y monitoreando las válvulas del sistema, como la entrada de agua y salida de presión de vapor de agua, el funcionamiento del motor a vapor.
- Control automático: el equipo solar térmico cuenta con un tablero eléctrico controlando sensores para detectar fallas en el funcionamiento, como también el almacenamiento de vapor de agua cuenta con un sistema de seguridad automático para detectar la presión acumulada y la liberación de presión automática en caso se produzca una presión elevada.

#### **4.1.4. Obtención de la Fuerza del Motor a Vapor**

Se determinó la fuerza del motor a vapor con la ayuda de un medidor de potencia que consta de dos dinamómetros y una correa que alberga a la polea del motor que está instalada en un extremo del cigüeñal del motor. Como se muestra en la figura 36.

**Figura 36**

*Determinación de la Fuerza del Motor*



*Nota.* Se determina la fuerza hasta que el motor se detenga bruscamente. (2024). Elaboración propia.

Se hizo la medición de la fuerza sujetando el motor al soporte del medidor de potencia y alavés alineando la polea del motor justo por encima de la faja de tela soportada por los dinamómetros. Para posteriormente tirar hacia arriba aflojando y ajustando el eje que soporta a los dinamómetros hasta que la tensión de la faja intente parar la polea del motor y leer la fuerza en newton que marca el dinamómetro. Llegando a obtener una fuerza máxima de 4,2 newton.

#### **4.1.5. Obtención de las Revoluciones del Motor a Vapor**

Las revoluciones del motor se realizaron con la ayuda de un tacómetro digital calibrado sujeto a un soporte a la mitad del volante de inercia y una cinta reflectiva colocada en la volante como se muestra en la figura 37. El láser del tacómetro registro el movimiento de la cinta reflectiva registrando una máxima de 2465,1RPM.

#### **Figura 37**

*Medición de las Revoluciones del Motor*



*Nota.* Se calcularon las RPM máximas de cada prueba. (2024). Elaboración propia.

#### 4.1.6. *Calculo de la Potencia y Eficiencia del Motor a Vapor*

Para determinar la potencia del motor se utilizó la fórmula de la ecuación (2). El momento (M) de la fórmula es obtenida al multiplicar la fuerza en (newton) encontrada con el medidor de potencia y el radio de la polea del eje del motor que es de 5.5cm de diámetro, siendo equivalente a ( $r = 0.0275\text{m}$ ) y la transformación de la velocidad angular de RPM a rad/s (RPM =  $0.10472\text{rad/s}$ ).

$$P = M \times \omega \dots\dots\dots (4)$$

$$P = F \times r \times \omega \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

P: potencia (watt).

M: momento (Nm)

$\omega$ : velocidad angular (rad/s)

r: radio de la polea (m)

F: fuerza (N)

La temperatura en el punto de calor sobre calentado del sistema térmico se determinó mediante la ecuación de Antoine.

$$\log_{10} P = A - \frac{B}{T + C}$$

$$T = \frac{B}{A - \log_{10} P} - C$$

$$T = \frac{1668.210}{7.966681 - \log_{10}(1.8995 \times 10^5)} - 228$$

$$T = 392.57 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dónde: P= presión, A,B,C = constantes de la ecuación de Antoine para el agua entre  $60^\circ\text{C}$  a  $150^\circ\text{C}$  por la tabla 5.

#### **Tabla 5**

*Constantes de la Ecuación de Antoine*

Compuesto	Fórmula	Rango (°C)	A	B	C
Acetaldehído	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	-0.2 a 34.4	8.00552	1600.017	291.809
Acetato de etilo	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	15.6 a 75.8	7.10179	1244.951	217.881
Acetato de etilo*	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	-20 a 150	7.09808	1238.710	217.0
Acetato de metilo	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	1.8 a 55.8	7.06524	1157.630	219.726
Acetato de vinilo	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	21.8 a 72.0	7.21010	1296.130	226.655
Acetona	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	-12.9 a 55.3	7.11714	1210.595	229.664
Ácido acético	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	29.8 a 126.5	7.38782	1533.313	222.309
Ácido acético*	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0 a 36	7.18807	1416.7	225
Ácido acrílico	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	20.0 a 70.0	5.65204	648.629	154.683
Ácido butírico	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	20.0 a 150.0	8.71019	2433.014	255.189
Ácido fórmico	CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	37.4 a 100.7	7.58178	1699.173	260.714
Ácido propiónico	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	72.4 a 128.3	7.71423	1733.418	217.724
Agua*	H <sub>2</sub> O	0 a 60	8.10765	1750.286	235.000
Agua*	H <sub>2</sub> O	60 a 150	7.96681	1668.210	228.000
Amoniaco*	NH <sub>3</sub>	-83 a 60	7.55466	1002.711	247.885
Anhidrido acético	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	62.8 a 139.4	7.14948	1444.718	199.817
Anilina	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	102.6 a 185.2	7.32010	1731.515	206.049
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	14.5 a 80.9	6.89272	1203.531	219.888
Bromuro de metilo	CH <sub>3</sub> Br	-70.0 a 3.6	7.09084	1046.066	244.914
<i>i</i> -Butano	<i>i</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-85.1 a -11.6	6.78866	899.617	241.942

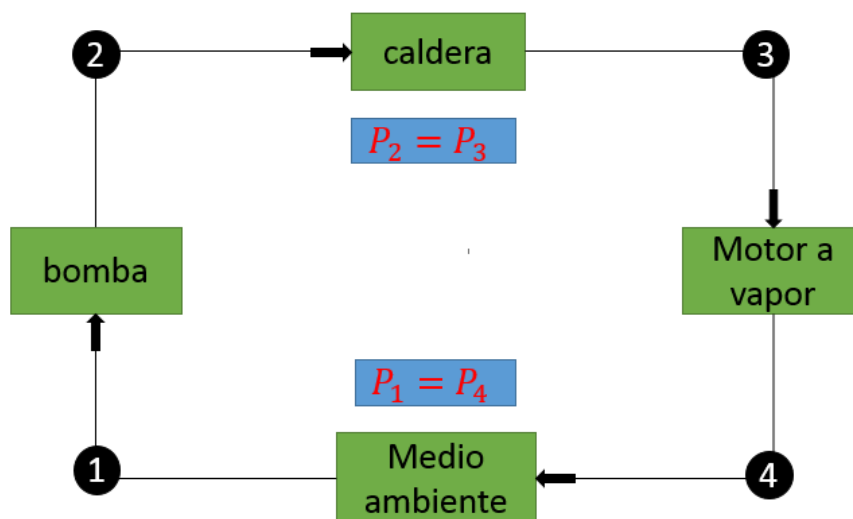
Nota. Se agarró los valores de 60 a 150 °C por estar en el punto de vapor Sobrecalentado.

scribd, cargado por Andrés F. Acosta. (2020). constantes de la ecuación de Antoine.

La eficiencia del sistema se determinó realizando la ecuación ideal del ciclo de Rankine de la figura 38.

**Figura 38**

Grafico del Ciclo Termodinámico



Nota. En los puntos 1 y 4 se utilizó la presión atmosférica. (2025). Elaboración propia.

- **En el punto 3**

$$P = 189950P_a \approx 0.20MP_a \quad \text{y} \quad T = 392.57^\circ\text{C} \approx 400^\circ\text{C}$$

Por tabla de vapor sobre calentado se encontró:

$$h_3 = 3277 \text{ kJ/kg} \quad , \quad S_3 = 8.2236 \text{ kJ/kg}$$

- **En el punto 4**

$$P_{atm} = 101.325kP_a \quad S_3 = S_4 = 8.2236 \text{ kJ/kg} .k$$

En la tabla de presión de agua saturada encontramos:

$$h_f = 419.06 \text{ kJ/kg} \quad , \quad h_{fg} = 2256.5 \text{ kJ/kg} \quad , \quad S_f = 1.3069 \text{ kJ/kg} \quad , \quad S_{fg} = 6.0476 \text{ kJ/kg}$$

Usando la ecuación de la calidad:

$$X = \frac{S_{prom.} - S_f}{S_{fg}}$$

$$X = \frac{8.2236 - 1.3069}{6.0476}$$

$$X = 1.1437$$

Se encontró la entalpia en 4 con la fórmula:

$$h_4 = h_f + Xh_{fg}$$

$$h_4 = 419.06 + (1.1437)(2256.5)$$

$$h_4 = 2999.819 \text{ kJ/kg}$$

- **En el punto 1**

$$P_{atm} = 101.325kP_a$$

Por tabla de líquido saturado

$$h_1 = 419.06 \text{ kJ/kg} \quad V_1 = 0.001043 \text{ m}^3/\text{kg}$$

- **En el punto 2**

$$P_2 = 189.95kP_a$$

Comparando el trabajo de la bomba

$$W_b = h_2 - h_1 \quad \circ \quad W_b = V(P_2 - P_1)$$

$$h_2 - h_1 = V(P_2 - P_1)$$

$$h_2 = V(P_2 - P_1) + h_1$$

$$h_2 = 0.001043(189.95 - 101.325) + 419.06$$

$$h_2 = 419.15 \text{ kj/kg}$$

- **Se determinó el calor de entrada y salida**

$$q_{ent.} = h_3 - h_2$$

$$q_{ent.} = 3277 - 419.15$$

$$q_{ent.} = 2857.85 \text{ kj/kg}$$

$$q_{sal.} = h_4 - h_1$$

$$q_{sal.} = 2999.819 - 419.06$$

$$q_{sal.} = 2580.759 \text{ kj/kg}$$

$$W_{net.} = q_{ent.} - q_{sal.}$$

Se hayo el trabajo neto

$$W_{net.} = 2857.85 - 2580.76$$

$$W_{net.} = 277.09 \text{ kj/kg}$$

La eficiencia térmica se determino

$$\eta = \frac{W_{net.}}{q_{ent.}} = \frac{277.09 \text{ kj/kg}}{2857.85 \text{ kj/kg}}$$

$$\eta = 0.097$$

#### **4.1.7. Calculo del Trabajo del Motor a Vapor**

El trabajo del motor a vapor se calculó de multiplicar la potencia calculada por el tiempo que demoro cada prueba en los días determinados para determinar el trabajo que produce el motor. Mediante la fórmula de potencia.

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots (6)$$

Despejando trabajo se obtiene:

$$W = P \times t \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

W: trabajo (J)

P: potencia (watt)

t: tiempo (S)

#### 4.2. Presentación y Análisis de los Resultados

Se realizaron 20 pruebas experimentales con el medidor de potencia y el tacómetro en los días respectivos y con las presiones obtenidas en los días indicados, como se visualiza en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Datos de las Pruebas Experimentales*

Fecha	Presión (bar)	RPM	Fuerza (N)	Tiempo (S)	Potencia (W)	Trabajo (J)
20/08/2024	1.81	1986.6	2.4	36	13.73	494.30
24/08/2024	1.86	1981.8	2.6	37	14.84	549.03
04/09/2024	1.6	1757.6	2.2	33	11.14	367.47
06/09/2024	1.64	1736.5	2	35	10.00	350.05
17/09/2024	1.95	2372.5	4	38	27.33	1038.51
20/09/2024	2.1	2455.3	4.2	42	29.70	1247.28
01/10/2024	1.8	1976.5	2.4	36	13.66	491.78
24/10/2024	1.7	1846.3	2	35	10.63	372.19
05/11/2024	2.11	2457.4	4.2	42	29.72	1248.35
08/11/2024	1.81	1996.6	2.5	37	14.37	531.86
09/11/2024	2.13	2465.1	4.2	44	29.82	1311.89
12/11/2024	1.97	2367.4	4	39	27.27	1063.55
15/11/2024	1.83	1973.5	2.5	36	14.21	511.50
21/11/2024	1.98	2353.4	4.1	38	27.79	1055.91
04/12/2024	2	2363.7	4	38	27.23	1034.66
06/12/2024	2.11	2455.3	4.1	42	28.99	1217.59
10/12/2024	2	2361.8	4	38	27.21	1033.83
12/12/2024	1.84	1983.4	2.6	37	14.85	549.47
17/12/2024	1.86	1987.6	2.5	35	14.31	500.84
20/12/2024	1.89	1979.2	2.5	36	14.25	512.97

*Nota.* Son los datos seleccionados de los diferentes días en el año. (2024). Elaboración propia.

Se empleó la estadística descriptiva, con la recopilación y presentación de datos que se adjuntaron en las pruebas experimentales como la presión, velocidad angular, fuerza y tiempo. Con los datos obtenidos se determinó calcular las medidas estadísticas como: promedio, desviación estándar, percentil y los valores máximos y mínimos encontrados, como se visualiza en la tabla 7.

Y para la interpretar los datos obtenidos se realizó un análisis de regresión lineal entre presión y potencia como variables dependiente e independiente respectivamente. Se determinó la ecuación de la recta, para posteriormente encontrar el error estándar o desviación estándar. Seguidamente se determinó el coeficiente de correlación “r” para rectas de regresión. Y finalmente se el coeficiente de determinación “r<sup>2</sup>”. Siendo el porcentaje de variación en la variable dependiente.

A continuación, se presenta los resultados de las pruebas experimentales, graficadas en la siguiente tabla 7.

**Tabla 7**

*Presentación y Análisis de las Pruebas*

Variable	Nº de datos	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Máximo
<b>Presión (bar)</b>	20	1.8995	0.15	1.6	1.81	1.875	2	2.13
<b>RPM</b>	20	2142.87	256.30	1736.5	1976.5	1992.1	2367.4	2465.1
<b>Fuerza (N)</b>	20	3.15	0.89	2	2.4	2.6	4	4.2
<b>Tiempo (s)</b>	20	37.7	2.85	33	36	37	38	44
<b>Potencia (W)</b>	20	20.052	7.84	10	14.21	15.405	27.33	29.82
<b>Trabajo (J)</b>	20	774.152	350.90	350.05	500.84	548.98	1055.91	1311.8
<b>Potencia_calc (W)</b>	20	20.052	7.8368	10	14.21	15.405	27.33	29.82
<b>Trabajo_calc (J)</b>	20	774.152	350.8996	350.05	500.84	548.98	1055.91	1311.89

*Nota.* Son las medidas para la contrastación de la hipótesis. (2024). Elaboración propia.

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de las variables registradas durante la operación de la máquina térmica. La potencia generada presentó un valor promedio de aproximadamente 20.052 W, con una desviación estándar de 7.84 W, lo que indica una variabilidad moderada en los ensayos. El valor mínimo fue de 10 W y el máximo alcanzó 29.82 W. En cuanto a la presión de trabajo, esta osciló entre 1.6 bar y 2.13 bar, con un promedio de 1.8995 bar, mientras que las revoluciones por minuto (RPM) variaron entre 1736.5 y 2465.1, con un valor promedio de 2142.875 RPM. La fuerza aplicada tuvo un promedio de 3.15 N, siendo su valor máximo 4.2 N.

La energía generada (trabajo), calculada como el producto de la potencia y el tiempo, tuvo un promedio de 774.152 J, con un máximo registrado de 1311.89 J. Este comportamiento se alinea con la relación esperada entre fuerza, velocidad angular, radio y potencia, de acuerdo con la ecuación 4 y 5.

**Tabla 8**

*Datos de Potencia y Presión*

presión (Y)	potencia (X)	$X^2$	$XY$	$Y^2$
1.81	14.4	207.36	26.064	3.2761
1.86	15.96	254.7216	29.6856	3.4596
1.6	11.14	124.0996	17.824	2.56
1.64	10	100	16.4	2.6896
1.95	27.33	746.9289	53.2935	3.8025
2.1	29.7	882.09	62.37	4.41
1.8	13.66	186.5956	24.588	3.24
1.7	10.63	112.9969	18.071	2.89
2.11	29.72	883.2784	62.7092	4.4521
1.81	14.37	206.4969	26.0097	3.2761
2.13	29.82	889.2324	63.5166	4.5369
1.97	27.27	743.6529	53.7219	3.8809
1.83	14.21	201.9241	26.0043	3.3489
1.98	27.79	772.2841	55.0242	3.9204
2	27.23	741.4729	54.46	4
2.11	28.99	840.4201	61.1689	4.4521
2	27.21	740.3841	54.42	4
1.84	14.85	220.5225	27.324	3.3856

1.86	14.31	204.7761	26.6166	3.4596
1.89	14.25	203.0625	26.9325	3.5721

*Nota.* La presión y potencia vendrían a ser las variables dependiente e independiente. (2024).

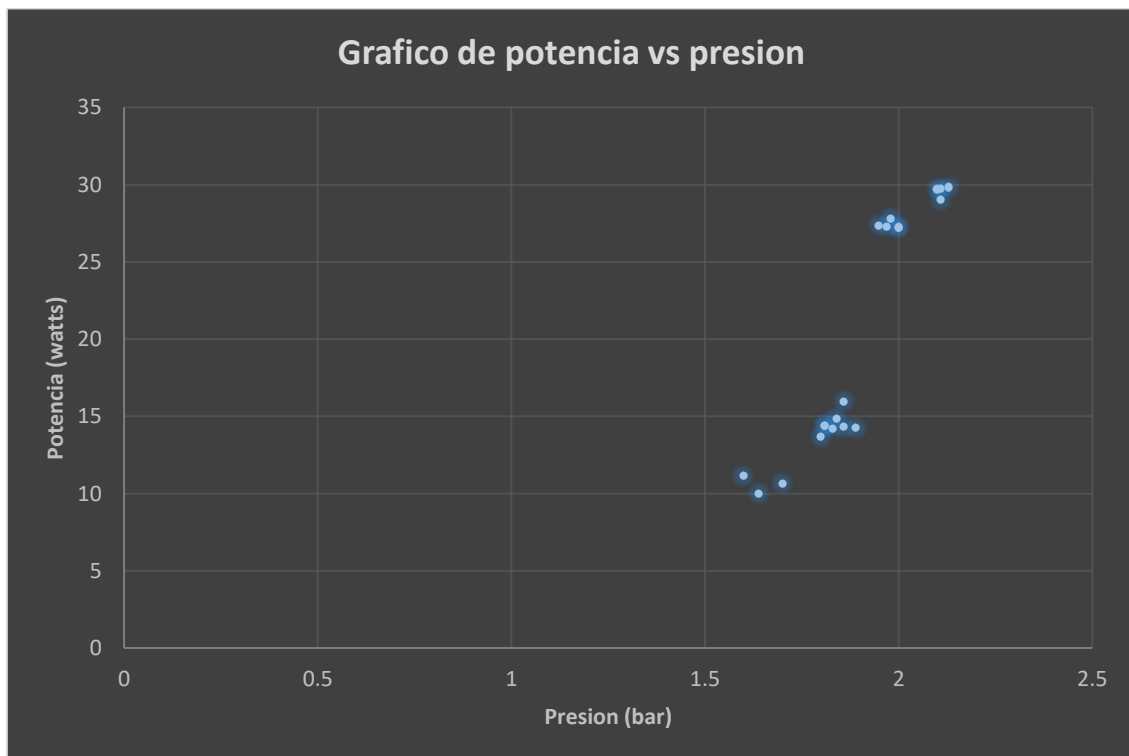
Elaboración propia.

Estos resultados permiten caracterizar el desempeño dinámico de la máquina térmica bajo diferentes condiciones de carga y velocidad, y constituyen una base cuantitativa para futuros estudios de eficiencia y mejora de rendimiento.

Se realizó un análisis de regresión lineal entre presión y potencia. También se encontró la ecuación de la recta con su  $R^2$ .

### Figura 39

*Gráfico de la Potencia vs la Presión*



*Nota.* Los puntos representan la relación de la presión vs la potencia. (2025). Elaboración propia.

Se determinó una recta que ajuste mejor a esos puntos:

Y= variable dependiente

X= variable independiente

a= ordenada con el eje Y

b= pendiente de la recta de regresión

Ecuación de la recta

ordenada

pendiente

$$Y = a + bX$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

X valores conocidos de la variable independiente

Y valores conocidos de la variable dependiente

$\bar{X}$  promedio del valor de las X

$\bar{Y}$  promedio del valor de las Y

n numero de datos puntuales

$$\sum XY = 786.204$$

$$b = \frac{786.204 - (20)(20.142)(1.8995)}{9262.2996 - (20)(405.70016)}$$

$$b = 0.0183$$

$$\sum X^2 = 9262.2996$$

$$a = 1.8995 - (0.0183)(20.142)$$

$$\bar{X} = 20.142$$

$$a = 1.531$$

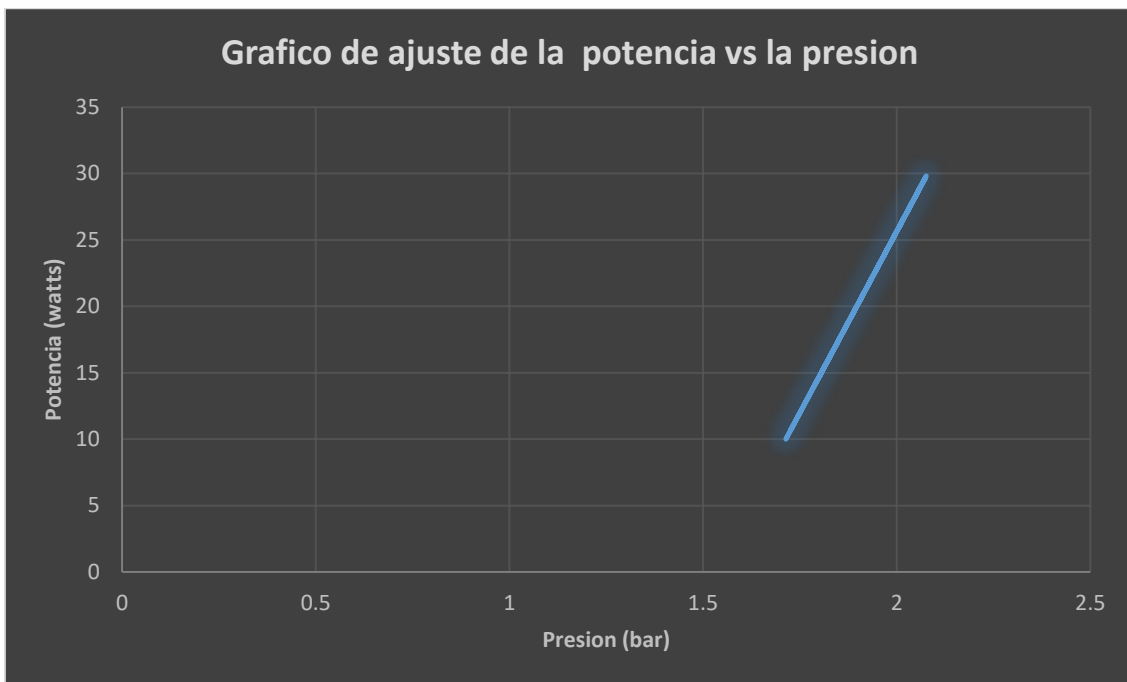
$$\bar{Y} = 1.8995$$

$$Y = 1.531 + 0.0183X$$

Con respecto a la recta encontrada se graficó la relación de potencia vs presión en la figura 40.

**Figura 40**

*Gráfico de la Presión vs la Potencia*



*Nota.* Es el gráfico de la recta encontrada con el reajuste. (2025). Elaboración propia.

Se determinó el error estándar de la estimación. Este cálculo se llama desviación estándar de la regresión y mide el error desde la variable dependiente y hasta la recta de regresión.

$$S_{XY} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a \sum Y - b \sum XY}{n - 2}}$$

$$\sum Y^2 = 72.6125$$

$$\sum Y = 37.99$$

$$S_{XY} = \sqrt{\frac{72.6125 - (1.531)(37.99) - (0.0183)(786.204)}{20 - 2}}$$

$$S_{XY} = 0.05882$$

Se determinó el coeficiente de correlación para rectas de regresión. Esta medida expresa el grado o fuerza de la relación lineal. Casi siempre identificado como  $r$ , el coeficiente de correlación puede ser cualquier número entre +1 y -1.

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad \sum X = 402.84$$

$$r = \frac{(20)(786.204) - (402.84)(37.99)}{\sqrt{[(20)(9262.2996) - (402.84)^2][(20)(72.6125) - (37.99)^2]}}$$

$$r = \frac{420.1884}{\sqrt{[22965.9264][9.0099]}}$$

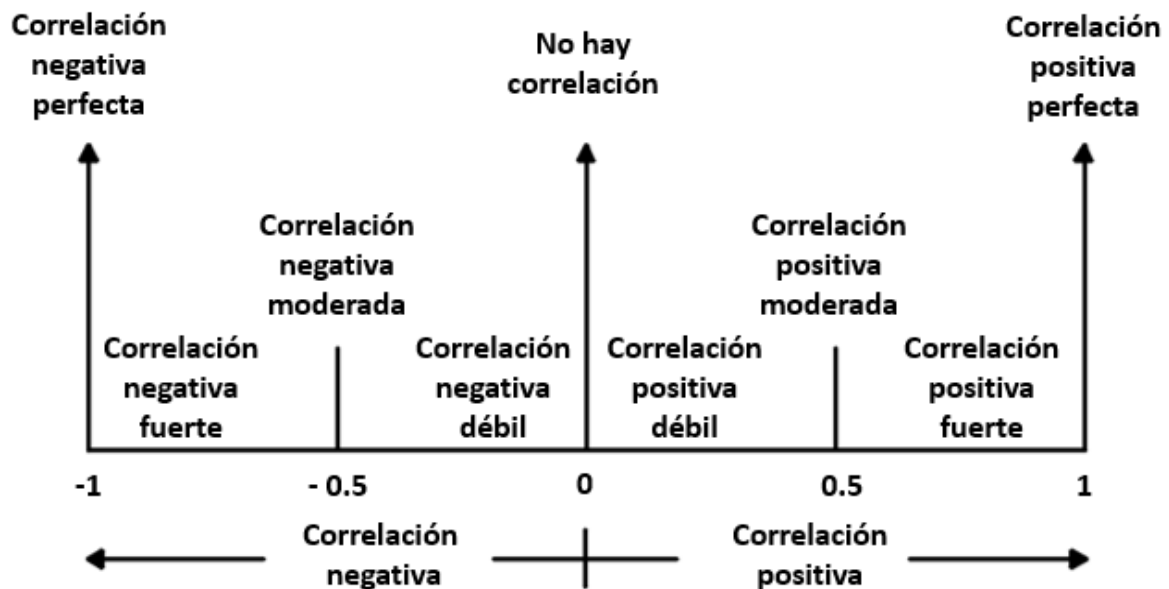
$$r = \frac{420.1884}{\sqrt{[22965.9264][9.0099]}}$$

$$r = 0.9237$$

Utilizando la siguiente figura se puede interpretar que la correlación es positiva por que tiende a 1 como se muestra en la siguiente figura 41.

**Figura 41**

*Interpretación de la Correlación*



*Nota.* la correlación encontrada vendría hacer positiva fuerte. Elaboración propia.

Se determinó el coeficiente de determinación  $r^2$ . Este coeficiente es el porcentaje de variación en la variable dependiente (Y) que explica la ecuación de regresión.

$$r^2 = (0.9237)^2$$

$$r^2 = 0.8532$$

$$r^2 = 85.32\%$$

### 4.3. Contrastación de Hipótesis

Ho: No Existe correlación significativa entre el diseño del prototipo de motor a vapor y el aprovechamiento del sistema solar térmico para la generación de energía mecánica.

H1: Existe correlación significativa entre el diseño del prototipo de motor a vapor y el aprovechamiento del sistema solar térmico para la generación de energía mecánica.

#### Tabla 9

*Datos para Contrastar la Hipótesis*

Resumen Estadístico		
	Presión (Bar)	Tiempo (S)
Recuento	20	20
Promedio	2	38
Desviación Estándar	0	2,84882
Coficiente de Variación	8,11%	7,56%
Mínimo	1,6	33
Máximo	2,13	44
Rango	0,53	11
Sesgo Estandarizado	-	1
	0,391206	
Curtosis Estandarizada	-1	0

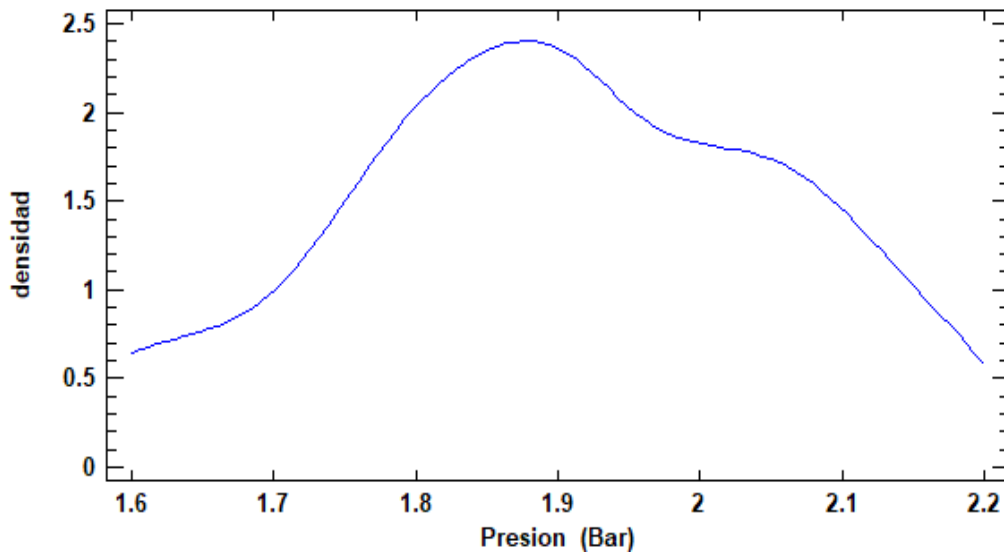
*Nota.* Datos obtenidos respecto de la tabla 5. (2025). Elaboración propia.

#### Tabla 10

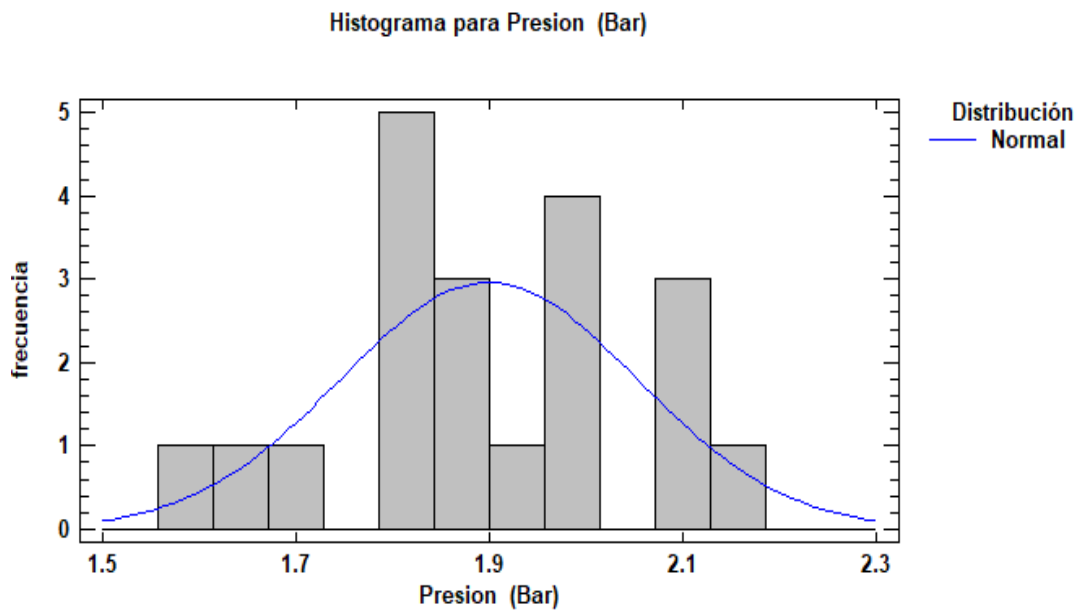
*Pruebas de Normalidad*

Pruebas de Normalidad para Presión (Bar)		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,952777	0,421754

*Nota.* La prueba de shapiro-wilk se da por que los datos son  $\leq 50$ . (2025). Elaboración propia.

**Figura 42***Traza de Densidad para Presión (bar)*

*Nota.* Gráfico de la presión vs la densidad. (2025). Elaboración propia.

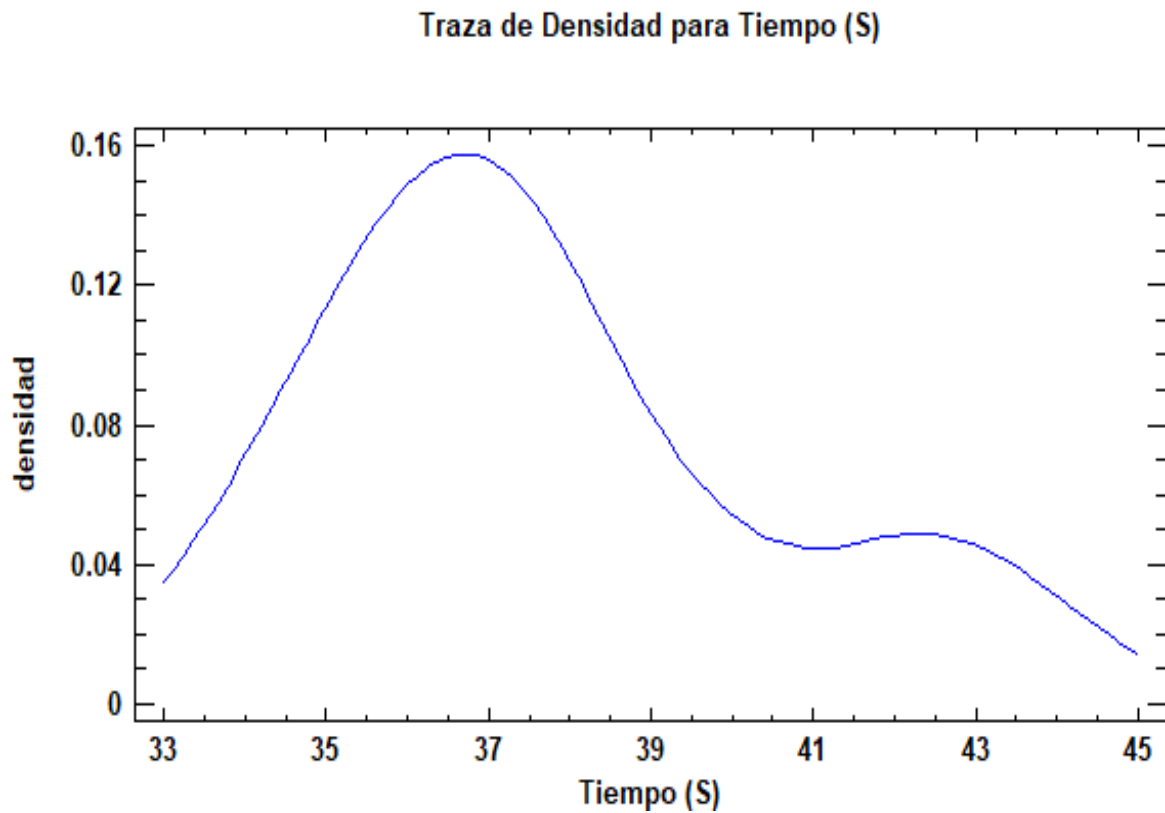
**Figura 43***Histograma para Presión (bar)*

*Nota.* Debido a que el valor-P es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que Presión (Bar) proviene de una distribución normal con 95% de confianza. (2025). Elaboración propia.

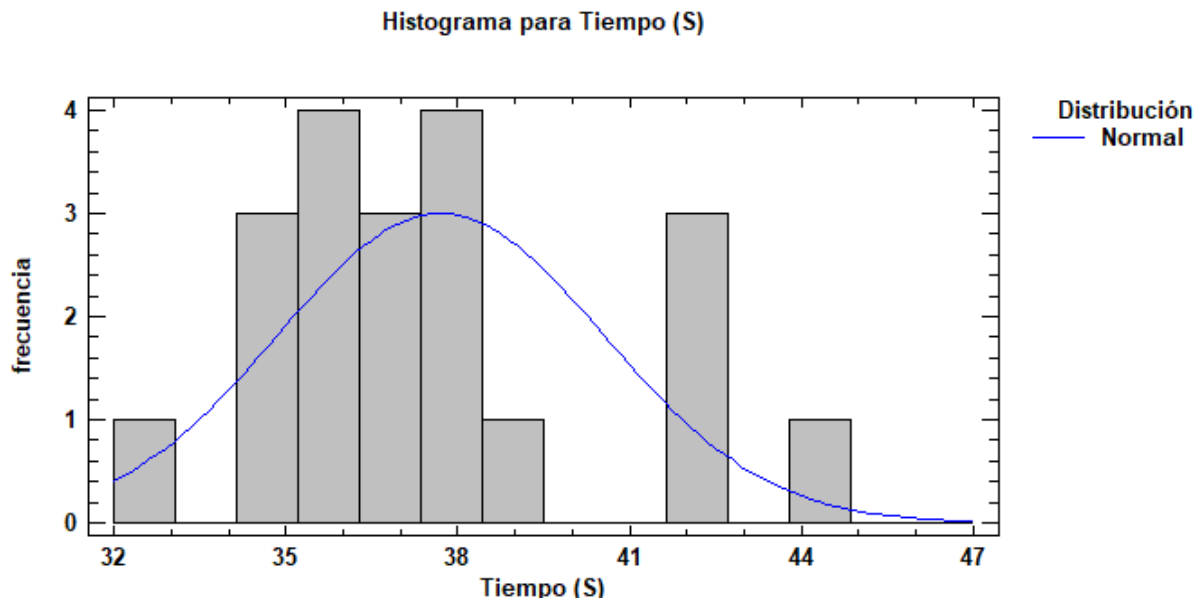
**Tabla 11***Pruebas de Normalidad para Tiempo (s)*

Pruebas de Normalidad para Tiempo (S)		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,913656	0,0786073

*Nota.* El valor de p es mayor al 5%. (2025). Elaboración propia.

**Figura 44***Trazado de Densidad para Tiempo (s)*

*Nota.* Grafico del tiempo vs la densidad. (2025). Elaboración propia.

**Figura 45***Histograma para Tiempo (s)*

*Nota.* Debido a que el valor-P es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que Tiempo (S) proviene de una distribución normal con 95% de confianza. (2025). Elaboración propia

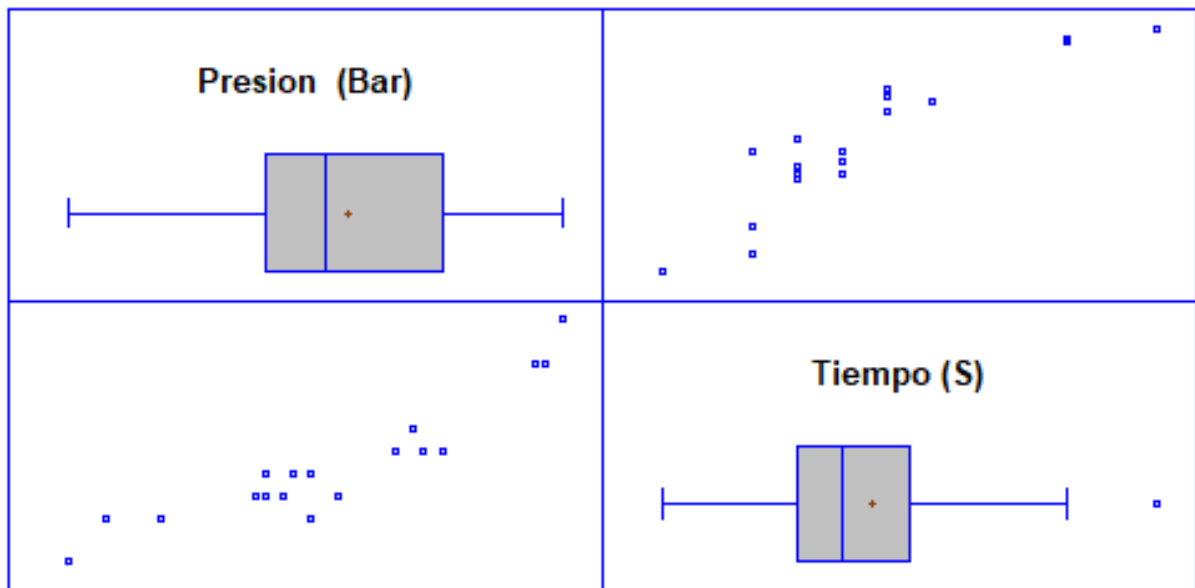
**Tabla 12***Prueba de Correlación de Pearson*

Correlaciones		
	R-Pearson	0,9187
Presión (Bar)	Recuento	20
	P-Valor	0
Tiempo (S)	R-Pearson	0,9187
	Recuento	20
	P-Valor	0

*Nota.* Existe una correlación positiva del 91.87%. (2025). Elaboración propia.

**Figura 46**

*Gráfico de la Correlación de Pearson*



*Nota.* Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). (2025). Elaboración propia.

Con el valor de R- Pearson de 91,87% y P-valor de 0, podemos rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se aceptar la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) debido a que existe una correlación positiva de 91,87% y una probabilidad menor a 0,05 que la hipótesis nula es cierta.

## **CAPITULO 5 Discusión**

### **5.1.Pruebas de Validación del Modelo Experimental**

El prototipo de motor a vapor fue diseñado, construido y evaluado con éxito bajo condiciones controladas. Las pruebas experimentales evidenciaron que es posible convertir energía térmica solar en energía mecánica de forma efectiva, utilizando vapor de agua como fluido de trabajo y componentes de bajo costo.

Los resultados obtenidos fueron validados mediante análisis estadístico, comprobando que existe una correlación significativa entre la presión generada por el sistema solar térmico y la potencia mecánica entregada por el motor. La eficiencia energética, aunque baja en comparación con sistemas industriales, es coherente con el diseño de un sistema didáctico-experimental.

### **5.2.Aplicación de la Tecnología Encontrada**

El sistema diseñado posee un alto valor pedagógico. Su aplicación puede orientarse a:

- Demostraciones Prácticas de la conversión de energía térmica en mecánica en cursos de termodinámica y máquinas térmicas.
- Proyectos de Investigación y Mejora, incluyendo análisis de eficiencia térmica, incorporación de sensores y automatización.
- Desarrollo de Prototipos Didácticos para otras universidades o instituciones técnicas.

Si bien el prototipo no está concebido para aplicaciones industriales, constituye una base funcional para explorar el escalado y optimización de motores de vapor alimentados por fuentes renovables.

### **5.3.Contraste con Trabajos de Investigación Similares**

Con referencia a Días (2022) diseño un sistema híbrido para dotar de energía térmica a un motor Stirling. En el presente trabajo se utilizó un sistema solar térmico para abastecer de energía térmica a un prototipo de motor a vapor.

En referencia a Pérez et al (2021) diseño y fabrico un prototipo de la máquina de vapor cornish. Frente a este proyecto se realizó un diseño de un prototipo de motor a vapor con características determinadas.

Según la descripción de Castro et al (2021) en su proyecto se basa en el diseño de un motor a vapor que servirá para la generación de energía mecánica. Frente a esto se diseñó un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica.

En su proyecto de Chávez, L., Leyva, K. (2019) nos da a conocer de forma practica el diseño y funcionamiento de los motores a vapor, siendo de mediana complejidad y relativamente económicos. De nuestra parte se diseñó el motor a vapor con un funcionamiento de baja complejidad y con un bajo gasto económico posible.

Los resultados obtenidos coinciden con estudios previos sobre sistemas térmicos-mecánicos de pequeña escala, como motores Stirling y máquinas a vapor tipo Cornish. Sin embargo, esta investigación presenta una particularidad distintiva: emplea un sistema solar térmico académico preexistente como fuente de energía, demostrando que estos sistemas pueden tener aplicaciones prácticas más allá del calentamiento de agua.

A diferencia de otras investigaciones centradas solo en diseño conceptual o simulaciones, este estudio incluye la fabricación real del prototipo y una evaluación experimental completa, lo que representa una contribución relevante para el aprendizaje aplicado de la ingeniería mecánica.

## CONCLUSIONES

1. Respecto al objetivo general, se concluye que el diseño y construcción del prototipo de motor a vapor resultaron técnica y económicamente viables para aprovechar el sistema solar térmico existente en la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica durante el año 2024. El sistema demostró que es posible convertir la energía térmica solar en energía mecánica mediante un proceso controlado y reproducible.
2. En relación con el primer objetivo específico, se logró diseñar y fabricar un prototipo de motor a vapor funcional, utilizando materiales accesibles y de bajo costo. El proceso de fabricación y ensamblaje presentó un nivel de complejidad bajo, validándose su funcionamiento mediante pruebas experimentales satisfactorias.
3. En cuanto al segundo objetivo específico, las pruebas experimentales confirmaron el aprovechamiento del sistema solar térmico para la generación de vapor de agua a presión. Se comprobó que el sistema fue capaz de suministrar la energía térmica necesaria para el funcionamiento del motor a vapor.
4. En relación con el tercer objetivo específico, se ratificó la existencia de una relación directa entre el diseño del prototipo de motor a vapor y el rendimiento térmico-mecánico del sistema solar. La energía térmica captada fue transformada en trabajo mecánico medible, demostrando la viabilidad del concepto como modelo experimental y base para futuras optimizaciones.
5. Durante las pruebas experimentales, el prototipo alcanzó una potencia promedio del orden de 20.052 W, con una eficiencia térmica estimada de 9.7 %, lo cual resulta coherente con el diseño de baja escala y con el objetivo didáctico del estudio. Estos resultados validan la capacidad del sistema para demostrar la conversión de energía solar en energía mecánica y servir como plataforma de aprendizaje e investigación aplicada en energías renovables.

## RECOMENDACIONES

1. Con respecto al objetivo general, se recomienda realizar investigaciones complementarias orientadas a optimizar el acoplamiento entre el sistema solar térmico y el motor a vapor, así como explorar su integración en procesos industriales o educativos que promuevan el uso de energías renovables y la formación práctica en tecnologías limpias.
2. En relación con el primer objetivo específico, se sugiere mejorar el diseño del prototipo aumentando la rigidez estructural y la precisión dimensional de sus componentes, con el fin de soportar presiones más elevadas y alcanzar mayores potencias mecánicas. Asimismo, se recomienda incorporar sistemas de sellado más eficientes y materiales con mejor conductividad térmica para reducir pérdidas energéticas y aumentar la eficiencia del conjunto.
3. En referencia al segundo objetivo específico, se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo para el sistema solar térmico, sustituyendo componentes por materiales resistentes a la radiación ultravioleta, la corrosión y las altas temperaturas. Estas acciones contribuirán a mantener la eficiencia energética y prolongar la vida útil de los colectores y del sistema de almacenamiento de vapor.
4. Respecto al tercer objetivo específico, se propone realizar estudios más profundos sobre la relación entre las variables termodinámicas del vapor (presión, temperatura y volumen) y la eficiencia del motor, así como evaluar el potencial de acoplar el sistema a generadores eléctricos de baja potencia. Ello permitirá ampliar su aplicabilidad en entornos educativos.
5. Finalmente, se recomienda continuar desarrollando proyectos de investigación aplicada que empleen energías renovables, promoviendo la creación de prototipos didácticos y modelos demostrativos que fortalezcan el aprendizaje práctico y la conciencia ambiental dentro de la formación en ingeniería mecánica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arias, J. L. (2021). Técnicas e instrumentos de investigación científica. <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26118w/Tecnicas%20e%20instrumentos.pdf>
- López, P.L. (2004) población muestra y muestreo. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-02762004000100012](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012)
- Repsol. (2025) ¿Qué es la energía solar y que beneficios tiene? Aprovechando al máximo la energía del sol. [https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshtml#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20es%20aquella,generar%20electricidad%20\(sistema%20fotovoltaico\)](https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshtml#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20es%20aquella,generar%20electricidad%20(sistema%20fotovoltaico))
- Osinermin (2012, noviembre 13) marco legal de las energías renovables en el Perú. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/81D989F2AB1EE05305257CC5005E547C/\\$FILE/OSINERG\\_MarcoLegalEnergiasRenovables.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/81D989F2AB1EE05305257CC5005E547C/$FILE/OSINERG_MarcoLegalEnergiasRenovables.pdf)
- Espina, J. (2017) carga, demanda y energía eléctrica: conceptos fundamentales para la distribución de electricidad. <https://www.sectorelectricidad.com/17597/carga-demanda-y-energia-electrica-conceptos-fundamentales-para-la-distribucion-de-electricidad/>
- Calentadores Premium (s.f.) tipos de calentadores solares que existen. <https://www.calentadorespremium.com/blog/24-tipos-de-calentadores-solares-que-existen?srsId=AfmBOorAOt829p8IviolzEZ9OmO-Kf9JkT5YYaXjOKH9DGGpLVJy91Yg>
- El peruano (2024). El gran potencial de energía solar. <https://www.elperuano.pe/noticia/70012-el-gran-potencial-de-la-energia-solar>

Polo, C. (2023). Potencial energético solar de la región Tacna. Centro de energías renovables de Tacna [CERT]- Facultad de ciencias – universidad nacional Jorge Basadre Grohmann [UNJBG]. [cpolob@unjbg.edu.pe](mailto:cpolob@unjbg.edu.pe)

Ingeniería energética (2013). Dimensionamiento de un sistema térmico solar mediante simulación y su validación energética. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012013000100006&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012013000100006&script=sci_arttext&tlng=en)

Ingemecánica – tutorial nro. 188 (s.f.) instalaciones termo solares para la producción de agua caliente sanitaria (A.C.S.). <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html>

OPITEC (s.f.) máquina de vapor. <https://www.studocu.com/bo/document/instituto-tecnologico-marcelo-quiroya-santa-cruz/tecnologia-mecanica/112420-maquina-de-vapor/39414431>

Real academia española. (2023). Definición de términos. <https://dle.rae.es/radiacion?m=form>

Concepto. (2024). Energía mecánica. <https://concepto.de/energia-mecanica/>

Powen. (2021). ¿Qué es un captador solar térmico? <https://powen.es/que-es-un-captador-solar-termico/#:~:text=Un%20captador%20solar%20t%C3%A9rmico%20o,esta%20forma%20calentar%20el%20agua.>

YI.ZENG. (2020). Definición y detalles de la tubería. <https://www.czyzindustry.com/info/definition-and-details-of-pipe-49942974.html>

Pérez, J. (2021). Diseño – que es, definición y concepto. <https://definicion.de/disenos/#:~:text=Del%20italiano%20disegno%2C%20la%20palabra,sus%20l%C3%ADneas%2C%20forma%20y%20funcionalidades.>

IAEA (2024). ¿Qué es la radiación? <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-radiacion>

Solcor (2024). Radiación solar. <https://solcorchile.com/radiacion-solar/>

Suarez, M (2015) análisis termodinámico – mecánico de un prototipo de motor Stirling de configuración gamma de baja potencia.

<https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/4814b685-9729-429e-8b3f-af9341554817/content>

Hernandez M. Sanchez J. (2013) diseño y prototipo de un motor Stirling.  
<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000688673/3/0688673.pdf>

Soto, C. (2003). Diseño y construcción de un motor a vapor [programa de pre grado, universidad de los Andes]. <https://www.studocu.com/bo/document/instituto-tecnologico-marcelo-quiroya-santa-cruz/tecnologia-mecanica/dis-y-cont-motor-a-vapor/39414670>

Navas, N. (s.f.) DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA DE VAPOR DE NEWCOMEN. [https://oa.upm.es/44257/1/PFC\\_NESTOR\\_NAVAS\\_NIEVES\\_a.pdf](https://oa.upm.es/44257/1/PFC_NESTOR_NAVAS_NIEVES_a.pdf)

Asades. (2015). caracterización de un motor a vapor de doble efecto.  
[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/142535/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/142535/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Díaz. (2022) diseño de un sistema híbrido solar-biogás para dotar de energía térmica a un motor Stirling en zonas rurales de Lambayeque  
[https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/5154/1/TL\\_DiazOrtizRenato.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/5154/1/TL_DiazOrtizRenato.pdf)

Pérez, M., López, R., Torres, E., Dorado, R. y García, A. (2021) análisis, diseño y fabricación del prototipo de la máquina de vapor cornish. <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/120/7666/a7666.pdf>

Chávez, L., Leyva, K. (2019). Proyecto motor a vapor.  
<https://es.scribd.com/document/740761438/UNIVERSIDAD-NACIONAL-DE-BARRANCA>

- Castro, C., Condori, A., Marquina, S., Sebastián, E. y Torres, E. (2021). Motor a vapor – primera ley de la termo dinámica. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/calculo-aplicado-a-la-fisica-3/trabajo-final-motor-a-vapor/38980844>
- Reyes, P., murillo, A. (2017). Motor a vapor. <https://es.scribd.com/document/337578546/Motor-a-Vapor>
- Alfa Laval (2015-2025) DIN 11850 y EN 10357. <https://www.alfalaval.es/productos-y-soluciones/manejo-de-fluidos/din-11850-en-10357/#:~:text=DIN%2011850/EN%2010357%2DA:%20Dimensiones%20y%20tolerancias%20para,compatibilidad%20con%20los%20sistemas%20existentes.>
- Scribd cargado por Andrés F. Acosta (2020). constantes de la ecuación de Antoine. <https://es.scribd.com/document/481588372/Constantes-de-la-ecuacion-de-Antoine-docx>
- Decreto supremo N°42-F (2002) título séptimo – calderos de vapor y recipientes a presión. [http://gestop.pe/wp-content/uploads/2014/09/DS\\_42\\_F..pdf](http://gestop.pe/wp-content/uploads/2014/09/DS_42_F..pdf)
- Une (2024). válvulas de alivio. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma>
- ASME (2018). Visión general código ASME sección VIII, división 1. <https://cie.gov.ar/web/images/ASME-Intro.pdf>
- Une-EN 10130 (2008). Productos planos laminados en frío de acero bajo en carbono para embutición o conformación en frío. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/\(EX\)UNE-EN\\_10130=2008.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/(EX)UNE-EN_10130=2008.pdf)
- NTP-ISO 18119 (2019). Cilindros para gas. Cilindros y tubos de acero sin costura y de aleación de aluminio sin costura. Inspección y pruebas periódicas. <https://es.scribd.com/document/682477545/31641-NTP-ISO-18119>

DIN ISO 4126-1 (2018). Dimensionamiento de válvulas de seguridad.

<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/20->

[01 Dimensionamiento%20de%20vlvulas%20de%20seguridad DIN%20EN%20ISO.](#)

DIN 11850 y EN 10357 (2025). Espesores de paredes.

<https://www.alfalaval.com/products/fluid-handling/din-11850-en-10357/>

Atlas solar mundial (2024). Radiación solar. <https://globalsolaratlas.info/map?c=-18.026471,->

[70.250638,17&s=-18.026476,-70.249951&m=site](#)

User XP. (2020). Microsoft Word – ciclo de vapor – blog.doc. tema 1 ciclo de vapor.pdf.

<https://termoaplicadaunefm.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/02/tema-1->

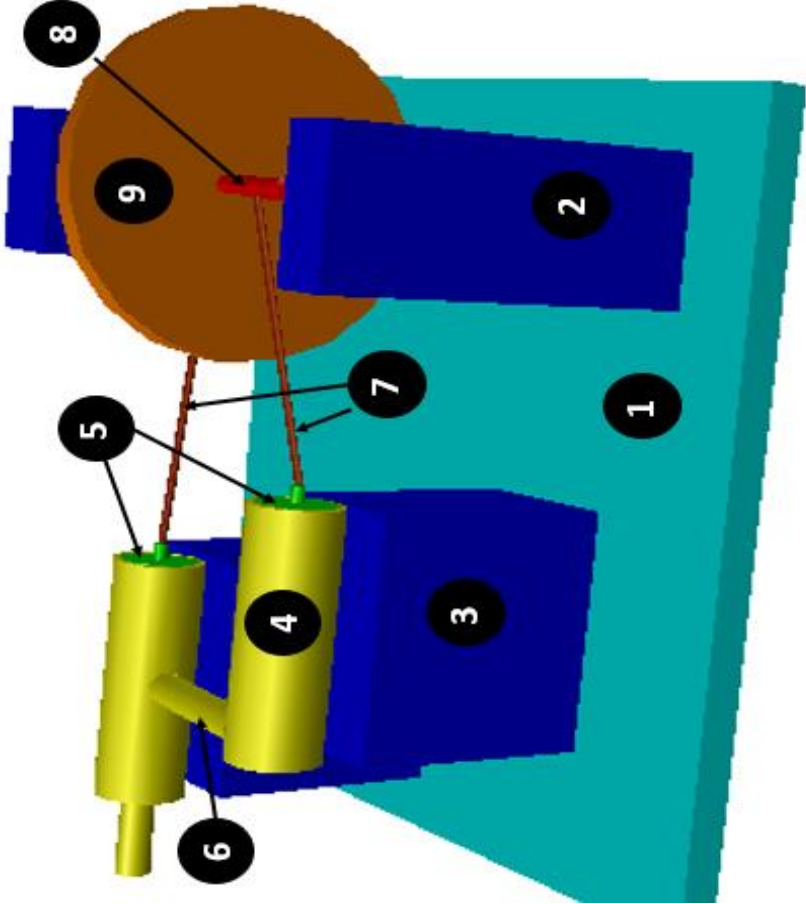
[ciclo-de-vapor.pdf](#)

## **ANEXOS**

Planos y cuadros de datos del diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica para el aprovechamiento de un sistema solar térmico, año 2024.

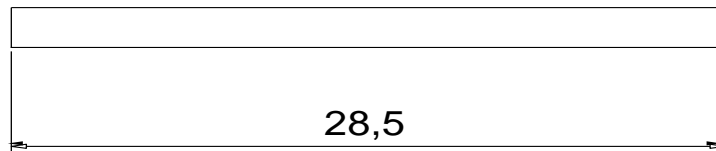
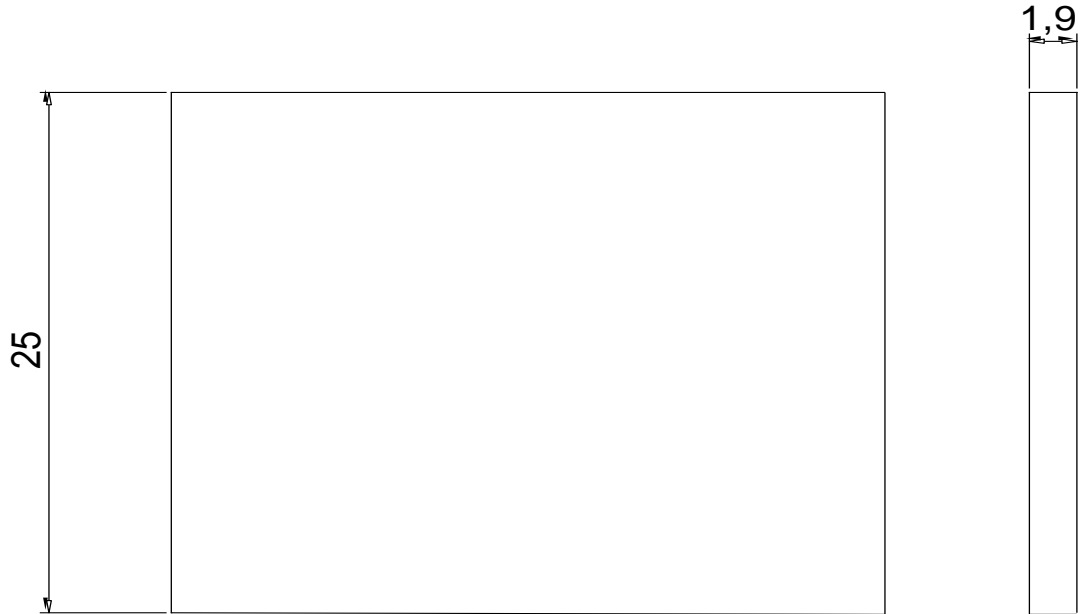


## Anexo A: Conjunto Ensamblado del Motor a Vapor

		
elemento	pieza	cantidad
1	plataforma del motor	1
2	soportes del cigüeñal	2
3	soportes de los cilindros	2
4	cilindros de bronce	2
5	pistones de bronce	2
6	tubo de conexión de cobre	1
7	biela de alambre acerado	2
8	cigüeñal de alambre acerado	1
9	volante de inercia	1
Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann		
Diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar el sistema solar térmico , ano 2024.		
formato A4	plano conjunto	escala 1:3.5 unidad cm
Ronald R. A.	autor	
Carlos Garvan G.	revisor	
Wilson García M.	revisor	
Reynaldo Tellez R.	revisor	

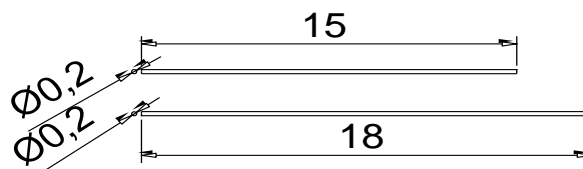
## Anexo B: Plataforma y Bielas

### plataforma del motor



(escala 1:2.8)

### bielas del motor

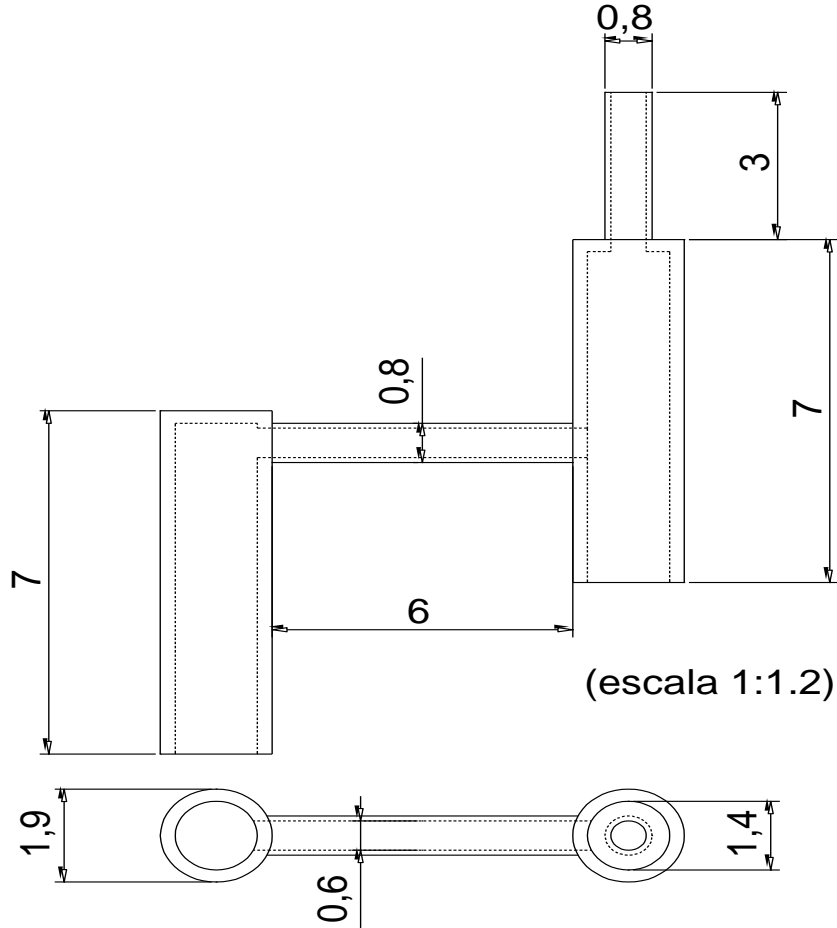


(escala 1:2.7)

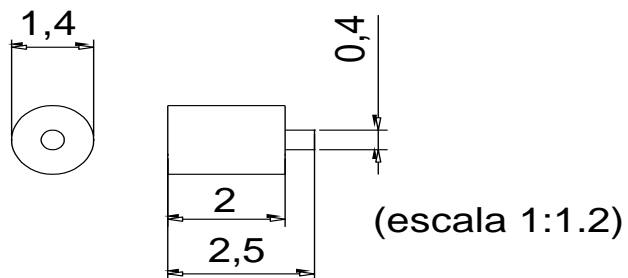
Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann			
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024			
Reynaldo Tellez R.	revisor				
Wilson Garcia M.	revisor	formato A4	plano plataforma y bielas	escala	unidad cm

## Anexo C: Cilindros y Pistones

### cilindros de bronce



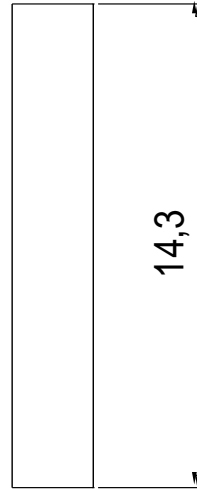
### pistones de bronce



Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann			
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024			
Reynaldo Tellez R.	revisor				
Wilson Garcia M.	revisor	formato A4	piano cilindros y pistones	escala	unidad cm

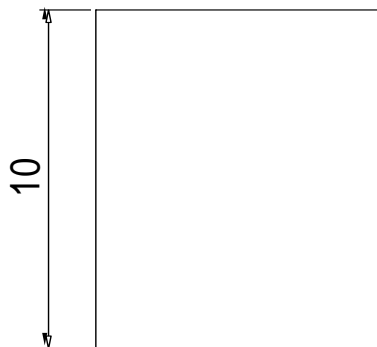
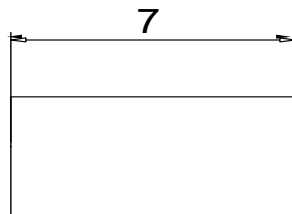
## Anexo D: Soportes del Motor

soportes del cigüeñal



(escala: 1:1.7)

soportes de los cilindros

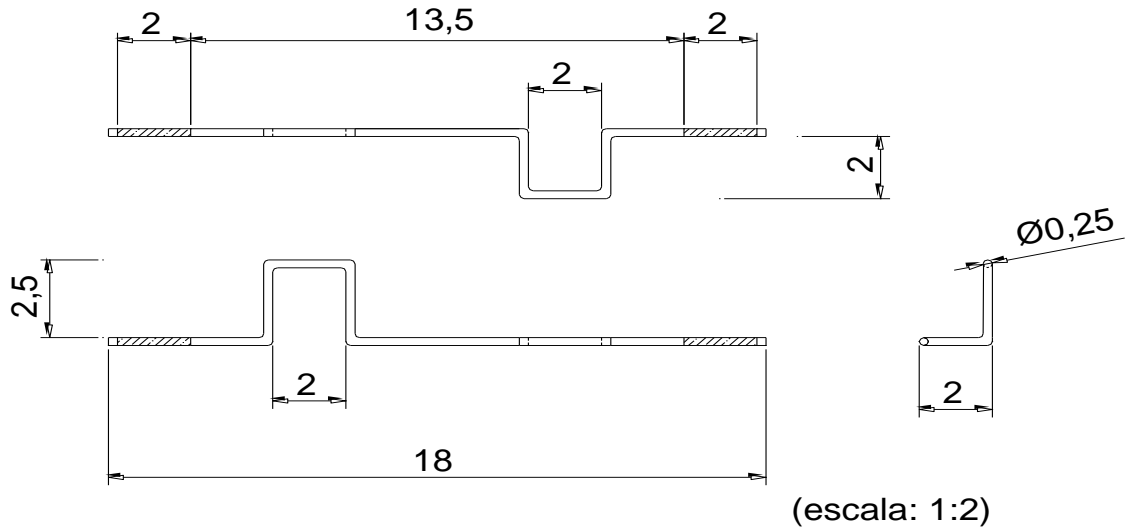


(escala: 1:1.7)

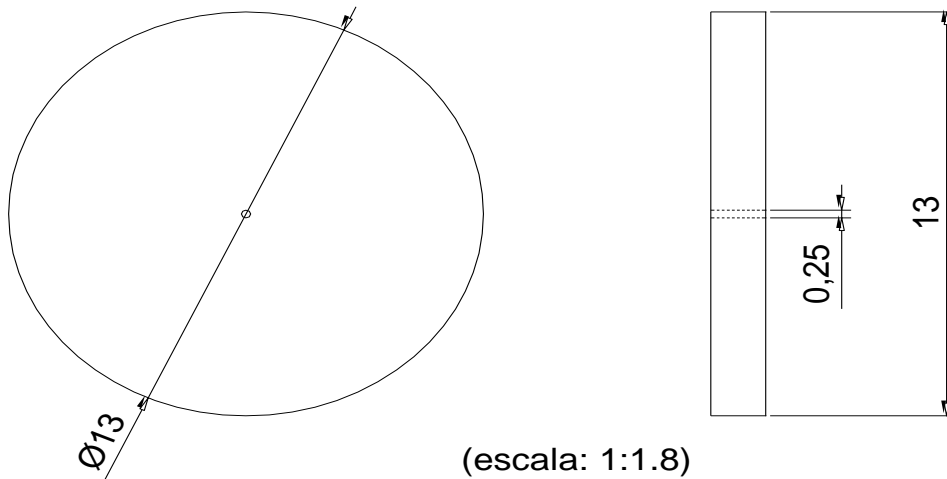
Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann			
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024			
Reynaldo Tellez R.	revisor				
Wilson Garcia M.	revisor	formato A4	plano soportes del motor	escala	unidad cm

## Anexo E: cigüeñal y volante

### cigüeñal de alambre acerado

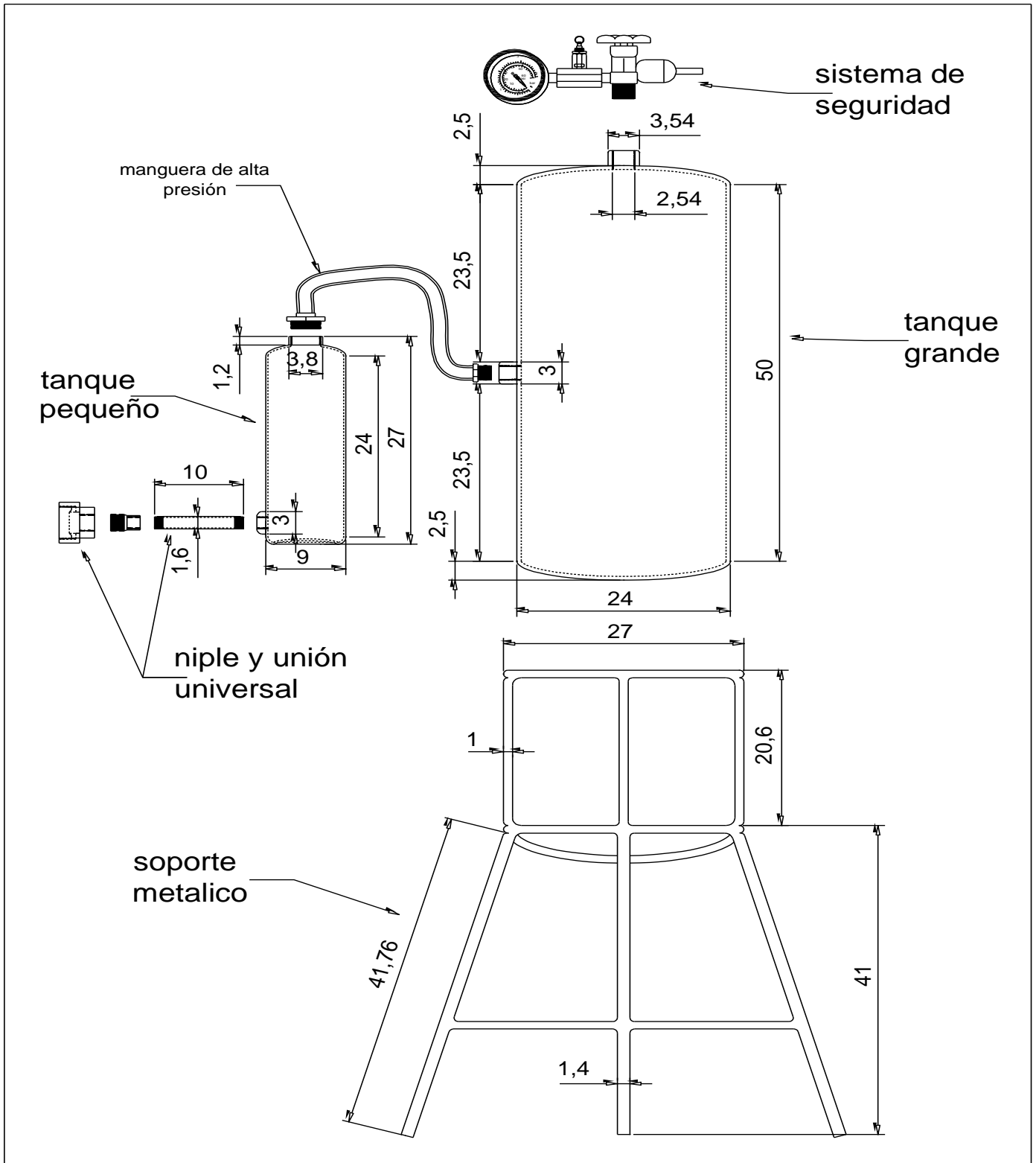


### volante de inercia



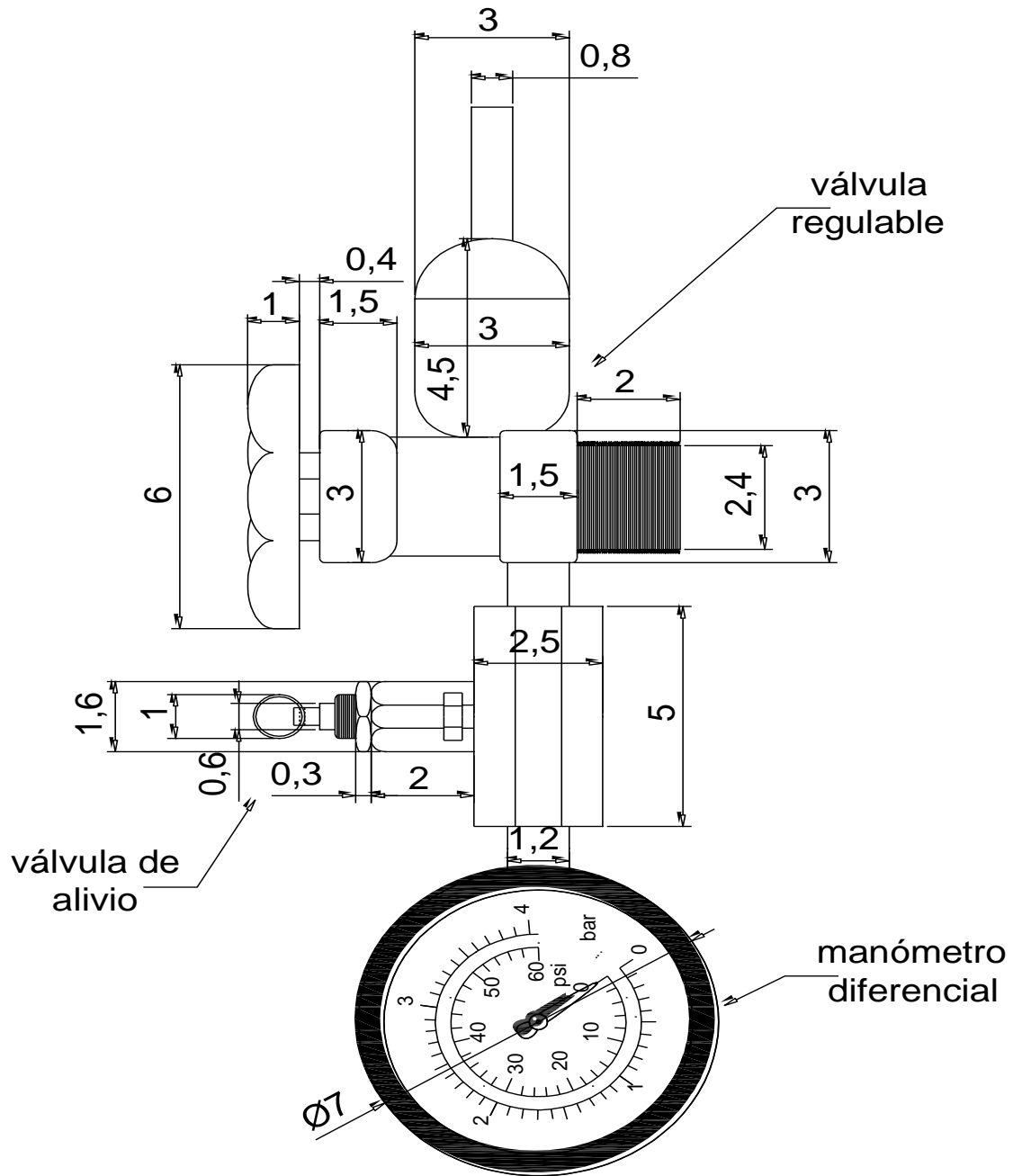
Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann		
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024		
Reynaldo Tellez R.	revisor			
Wilson Garcia M.	revisor	formato A4	plano cigüeñal y volante	unidad cm

## Anexo F: Tanques de Metal y Soporte



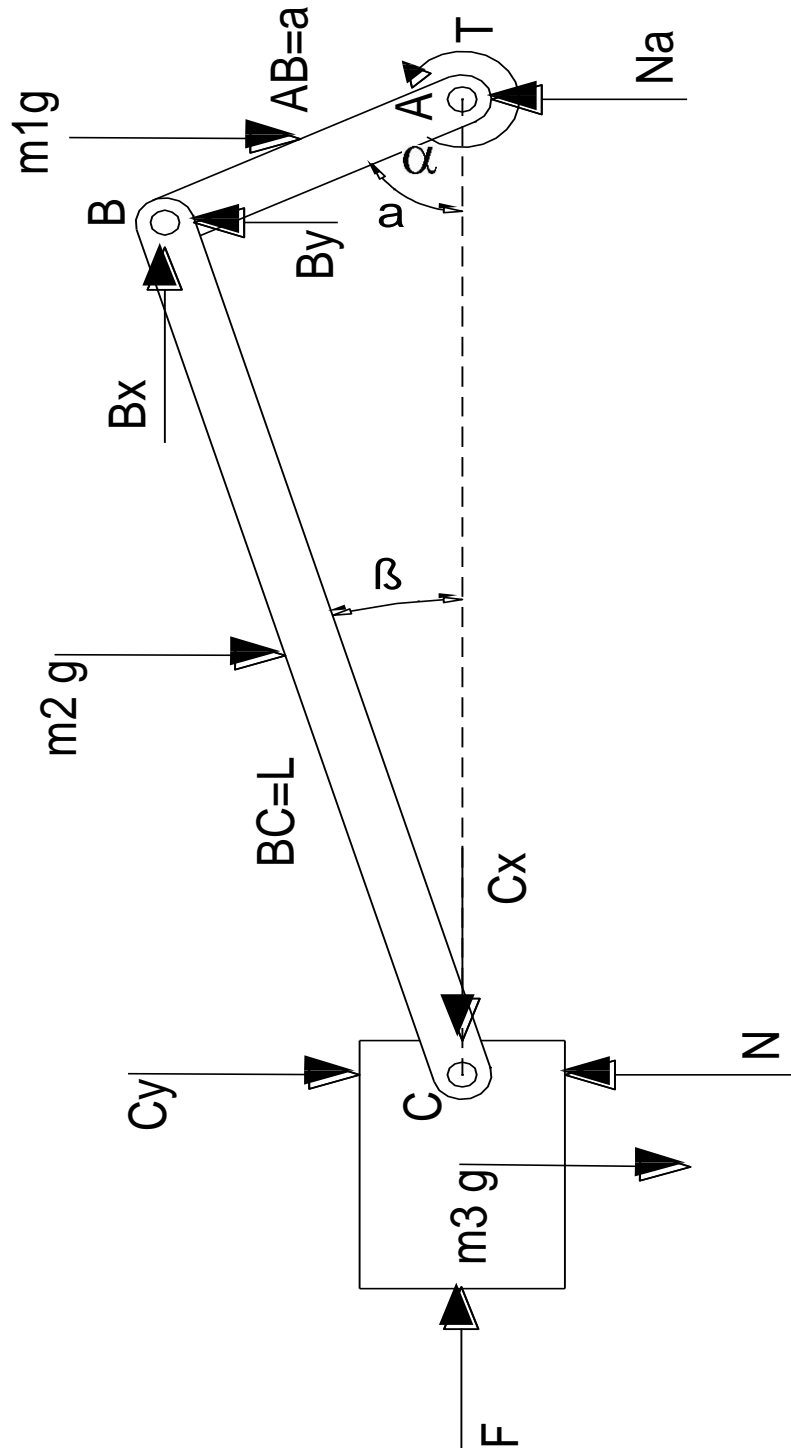
Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann			
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024			
Reynaldo Tellez R.	revisor				
Wilson Garcia M.	revisor	formato A4	piano tanques de metal y soporte	escala 1:6	unidad cm

## Anexo G: Sistema de Seguridad



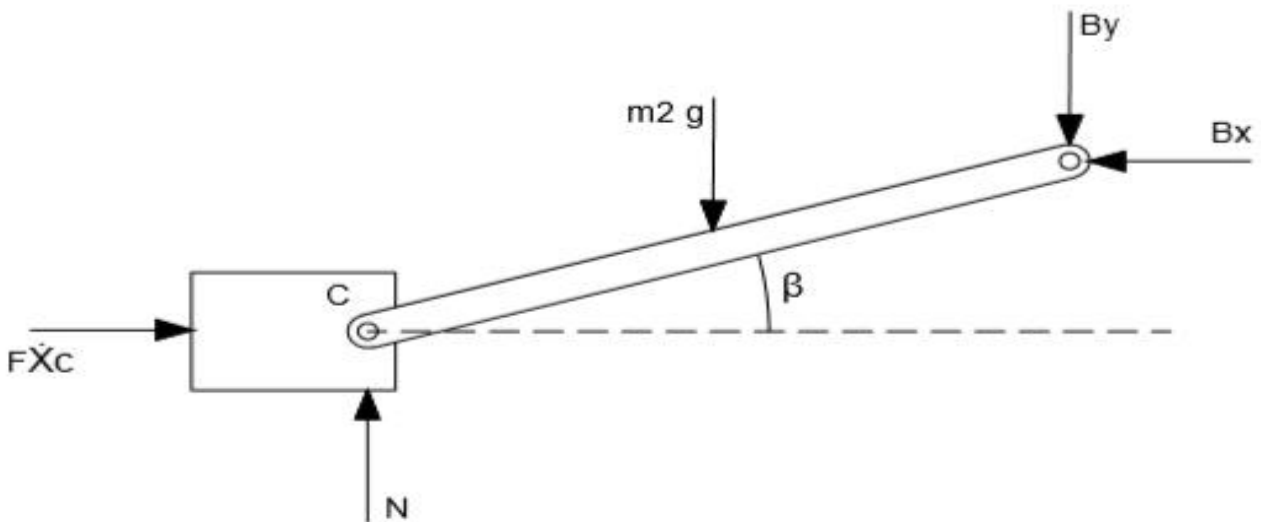
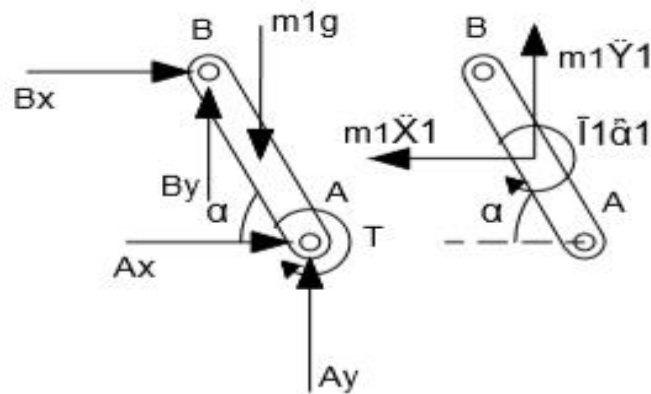
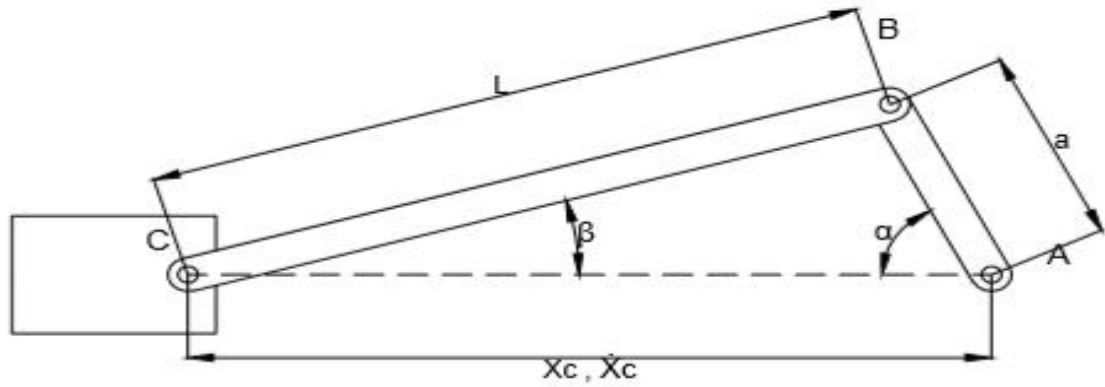
Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann			
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024			
Reynaldo Tellez R.	revisor				
Wilson Garcia M.	revisor	formato A4	plano sistema de seguridad	escala 1:1.25	unidad cm

## Anexo H: Esfuerzos Estáticos



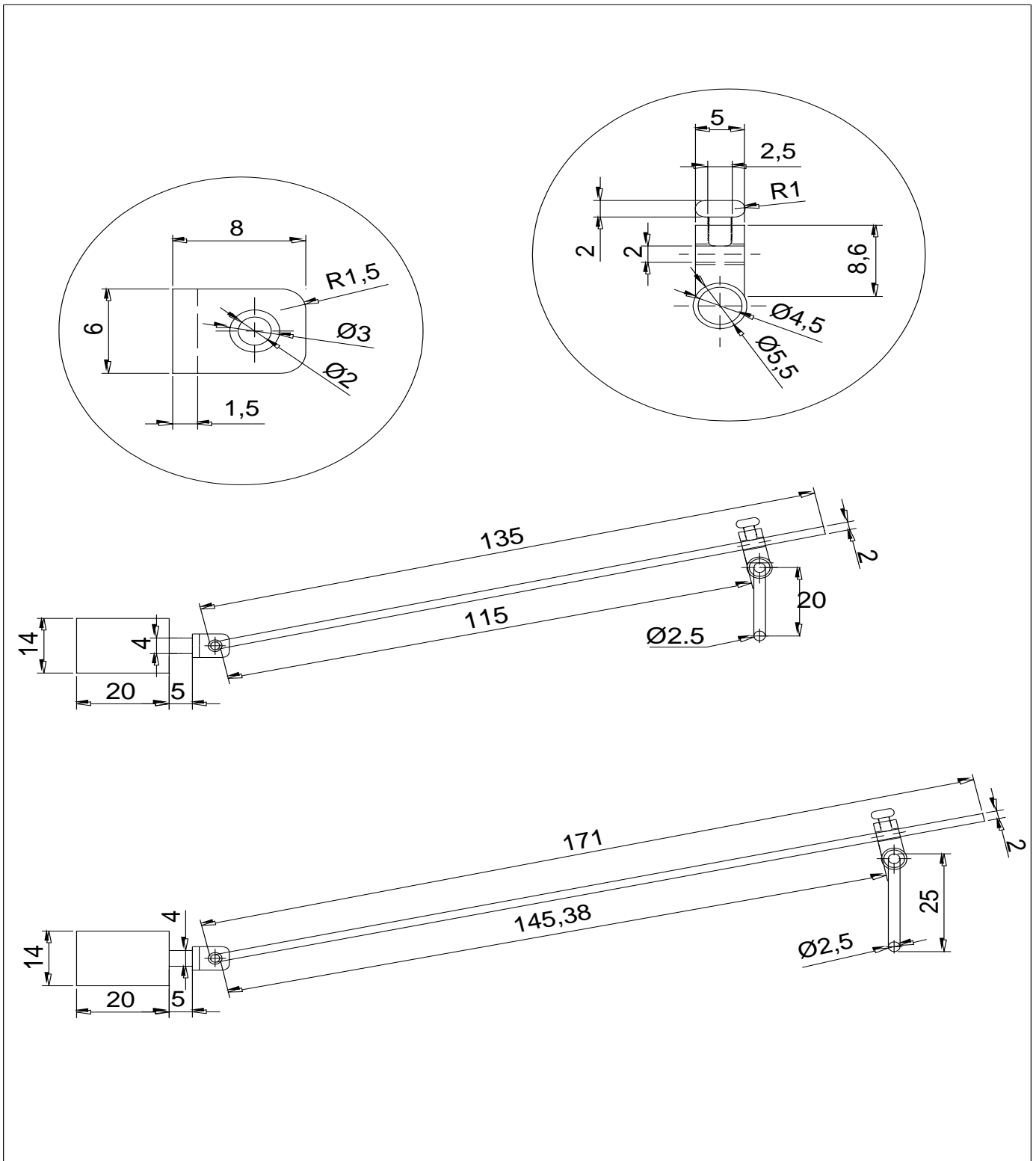
Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann		
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, a ño 2024		
Reynaldo Tellez R.	revisor			
Wilson Garcia M.	revisor	plano	esfuerzos estaticos	

### Anexo I: Esfuerzos Dinámicos



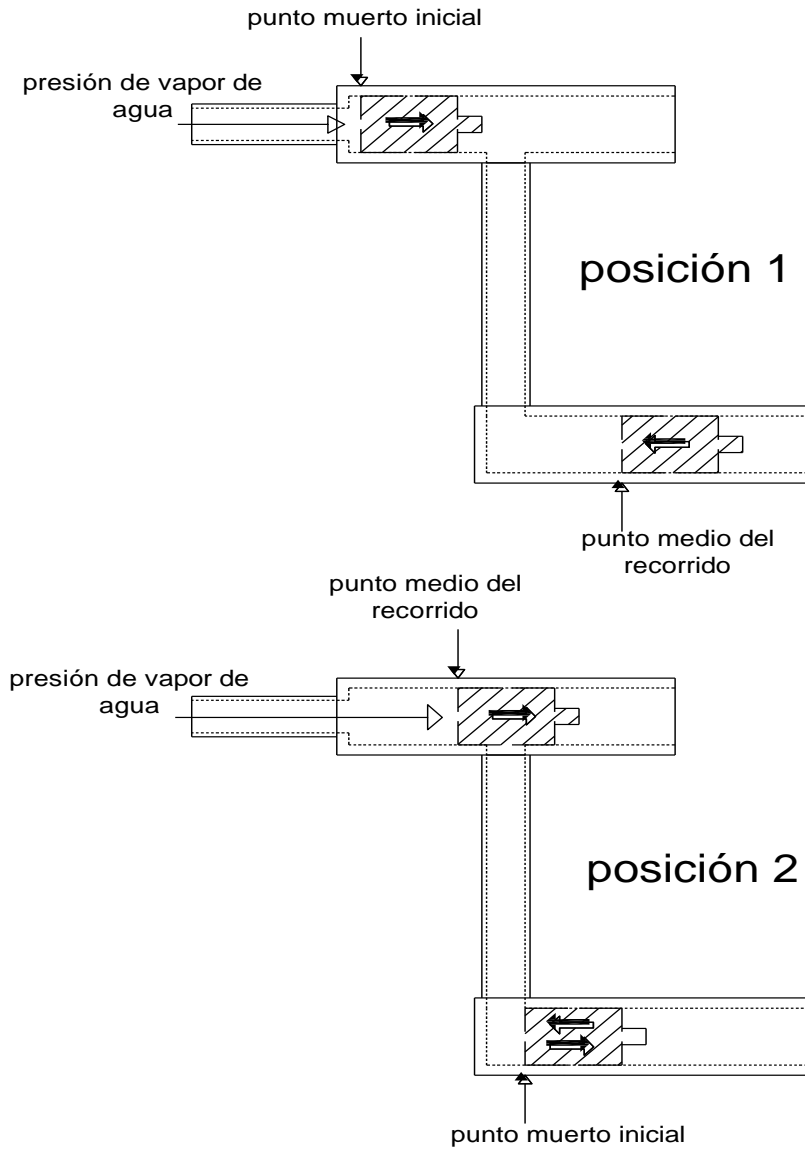
Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann		
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024		
Reynaldo Tellez R.	revisor			
Wilson Garcia M.	revisor	plano	esfuerzos dinámicos	

### Anexo J: grafico pistón - biela - cigüeñal

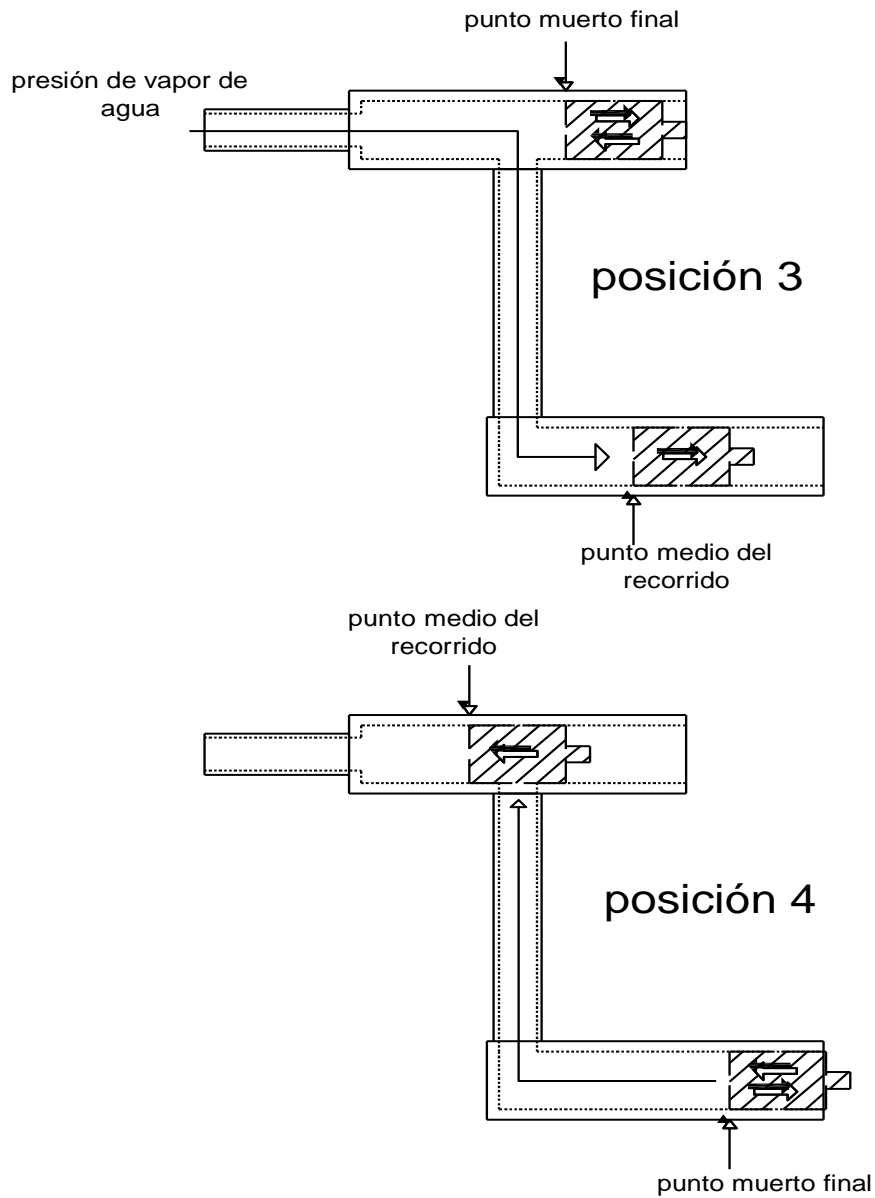


Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann			
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024			
Reynaldo Tellez R.	revisor				
Wilson Garcia M.	revisor	formato A4	plano grafico piston-biela-ciguenal	escala 1:1	unidad mm

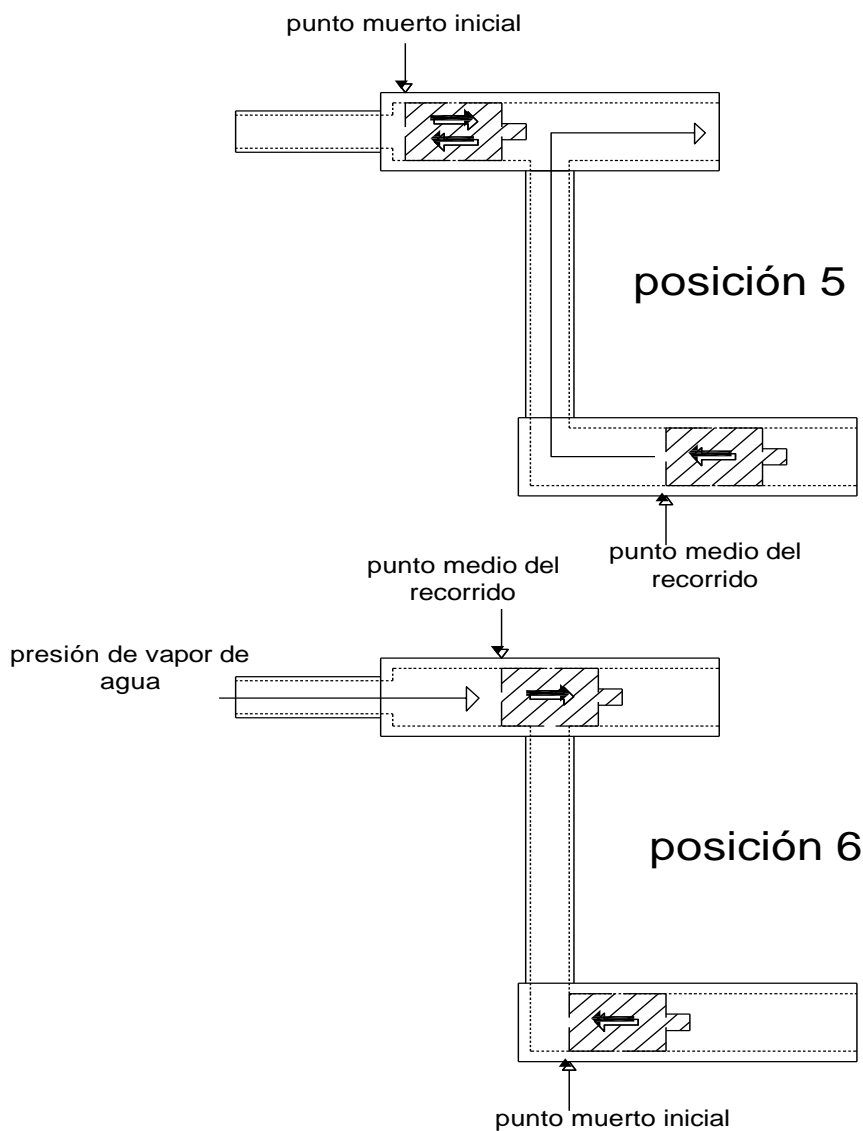
## Anexo K: Recorrido de los Pistones



Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann		
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024		
Reynaldo Tellez R.	revisor			
Wilson Garcia M.	revisor	formato A4	plano recorrido de los pistones	



Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann		
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024		
Reynaldo Tellez R.	revisor	2024		
Wilson Garcia M.	revisor	formato A4	plano recorrido de los pistones	



Ronald Ramirez A.	autor	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann		
Carlos Garvan G.	revisor	diseño de un prototipo de motor a vapor para producir energía mecánica y aprovechar un sistema solar térmico, año 2024		
Reynaldo Tellez R.	revisor			
Wilson Garcia M.	revisor	formato A4	plano recorrido de los pistones	

### Anexo L: Bienes del Proyecto

Cantidad	Detalle	Unidad de medida	Costo (S/)
1	Tanque metálico grande	Und	80
1	Soporte metálico	Und	220
1	Tanque metálico pequeño	Und	45
1	Manguera flexible de conexión	Und	40
1	Manómetro analógico de 4 bar	Und	40
1	Válvula reguladora metálica	Und	220
1	Unión universal de 1 pulgada	Und	20
3	Reductores metálicos de bronce de $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$ pulgada	Und	75
3	Cinta teflón para agua caliente	Und	7.5
2	Espray de pintura	Und	30

### Anexo M: Materiales para el Motor a Vapor

Cantidad	Detalle	Unidad de Medida	Costo (S/)
1	varilla de bronce de $\frac{3}{4}$ de pulgada de 50 cm	m	75
1	Tubo de cobre de $\frac{1}{2}$ de pulgada de 50 cm	m	50
1	Taco de madera para los soportes del motor	m <sup>2</sup>	25
1	Alambre galvanizado de $\frac{1}{8}$ de pulgada de 1m	m	15
1	Platina de acero de 30 cm	m	15
1	Rodamiento pequeño	und	5
1	Polea de madera	m <sup>2</sup>	25
1	Varilla de bronce de $\frac{3}{4}$ de pulgada	m	55
1	Volante de inercia de madera	m <sup>2</sup>	15
1	Plataforma plana de madera de 30 x 40 cm	m <sup>2</sup>	20
2	Volandas de metal	und	1
1	Rollo de Estaño para soldar	und	35
30	Tornillo de $\frac{3}{4}$ de pulgada	und	5
2	pegamento epoxi	und	40
2	Espray para pintar	und	20
8	Ángulos de 90° para sujeción de soportes	und	10

## Anexo N: Servicios y Presupuesto del Proyecto

### Detalle de los Servicios del Proyecto

Detalle	Costo (S/)
Internet	540
impresiones	220
Movilidad	540
tornero	300
Alimentación en el proyecto	250

### Presupuesto del Proyecto

Presupuesto Calculado Total	Monto (S/)
Presupuesto de bienes	577.5
Presupuesto para ensamble del motor a vapor	411
Presupuesto de servicios	1850
Total generales	2838.5

**Anexo O: Cuadro Comparativo Entre Producción de Energía Mecánica vs Aprovechamiento del Sistema Solar Térmico en la Región Tacna**

	Beneficios	Problemas y contaminación
Producción de energía mecánica	<p>En la región Tacna su generación, distribución y uso es económico por utilizar una energía abundante como es la energía solar.</p> <p>El motor a vapor es más eficiente que el trabajo manual, realizando tareas de manera más rápida y permanente por ser una máquina.</p> <p>El motor sustituye la labor del personal humano en la producción de energía mecánica disminuyendo los riesgos laborales.</p> <p>Es fácil de acceder en su manipulación y tiene una gran variedad de usos como la producción de electricidad.</p>	<p>A veces requiere una inversión inicial de dinero elevada, especialmente para ciertas instalaciones.</p> <p>Su disponibilidad y funcionamiento pueden depender de factores como fenómenos atmosféricos, la existencia de recursos naturales o la geografía de un lugar.</p> <p>La mala manipulación puede generar movimientos descontrolados causando daños o desgaste en materiales, equipos y hasta accidentes.</p> <p>Puede haber pérdidas de energía por fricción y otros factores al no tener un mantenimiento periódico antes de su uso.</p>
Aprovechamiento de sistema solar térmico	<p>Tiene un bajo costo en la producción de energía térmica, útil para el funcionamiento del motor a vapor y otras muchas actividades.</p> <p>Al utilizar una fuente inagotable de energía, tiene una confiabilidad a largo plazo por su fabricación.</p> <p>Este sistema térmico no contamina ya que tiene un bajo impacto ambiental al no requerir de materia prima fósil</p> <p>A diferencia de otras fuentes de energía esta no produce residuos que resulten peligrosos</p> <p>Puede funcionar solo después de su instalación inicial durante largos periodos de tiempo</p>	<p>El costo de este sistema térmico puede ser alto dependiendo de su capacidad</p> <p>Tiene una dificultad en el almacenamiento de energía térmica en comparación con el uso de combustibles fósiles</p> <p>Los tubos colectores tienen una baja eficiencia en un tercio de su capacidad teórica de producción</p> <p>Puede tener disminución en la producción de energía térmica por los días nublados y en las noches no a ver por falta de la energía solar</p> <p>Se debe de contar con espacios despejados para que no obstruyan el paso de los rayos solares a los tubos colectores</p>