

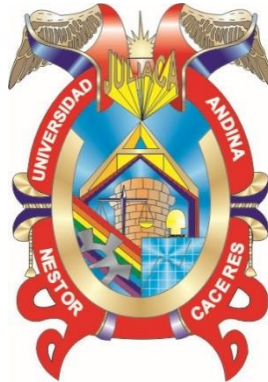


**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A  
UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL  
PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA  
EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**JULIACA - PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A  
UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL  
PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA  
EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA**

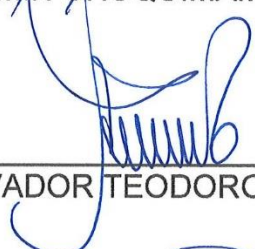
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

:   
\_\_\_\_\_  
Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

**PRIMER MIEMBRO**

:   
\_\_\_\_\_  
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
\_\_\_\_\_  
Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

**ASESOR DE TESIS**

:   
\_\_\_\_\_  
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA – P18**



#### RESOLUCIÓN DECANAL N° 1371-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 27 de octubre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025 - CU - 9373 presentado por el (la) Bachiller: **FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.** - **APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
- \* **1er Miembro** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- \* **2do Miembro** : Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

**ARTICULO SEGUNDO.** - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN.**

**ARTICULO TERCERO.** - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.** de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : jueves 06 de noviembre del 2025
- \* **HORA** : 15:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 204 - EPIIME

**ARTÍCULO CUARTO.** - **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. OSCAR V. VIANONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730

cc.  
Archivo  
interesado (n)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Eric Wily Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 930-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 27 de agosto del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU - 6068 por el señor (a): **FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 622-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 023 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPIME** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgr. Salvador Teodoro Valdivia Cardenas** de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 023 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: **PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

*[Signature]*  
**DR. OSCAR V. MAMONTI CALLA**  
DECANO (e)  
CIP 32730



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
*[Signature]*  
**DR. PABLO MAMONTI APEAO**  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 367-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 26 de mayo del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU- 1578, presentado el señor (a) **FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 166-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 007-2025 del integrante del comité de investigación **EPIME** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Salvador Teodoro Valdivia Cardenas** de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 007-2025- aprobando la propuesta de investigación titulado: **PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: **PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Ing. **ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.  
Archivo 2025  
Interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



# 22% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 20% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 14% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.


Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



### Metadatos Complementarios UANCV

<b>Título de la tesis</b>	
PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72883447
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0009-0894-7032">https://orcid.org/0009-0009-0894-7032</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8065-6533">https://orcid.org/0000-0001-8065-6533</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02406088
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Ing. CARLOS ALENJANDRO CACERES VARGAS



Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	29591476
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología e ingeniería mecánica – P18
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú  Departamento: Puno  Provincia: San Román  Distrito: Juliaca</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Latitud: S 15° 29' 36''</li> <li>- Longitud: O 70° 8' 8''</li> </ul>  <p><a href="https://maps.app.goo.gl/EjkhD2WunwBqCQxE9">https://maps.app.goo.gl/EjkhD2WunwBqCQxE9</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Abril 2025 – Septiembre 2025
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	Ingeniería mecánica <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00</a> Mecánica aplicada <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01</a>



UNIVERSIDAD ANDINA "INCASPOR CÁNDAMO NELLASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

*[Signature]*  
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo.....FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA.....identificado con DNI Nro. 72883447.....  
en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación,  Trabajo Académico denominada:

-

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA  
TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA  
EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

Asesorado por: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca \_\_\_\_\_ de NOVIEMBRE del 2025



-----  
FIRMA ASESOR



-----  
FIRMA TESISTA



Huella



## DEDICATORIA

A Dios por darme fortaleza, salud y perseverancia para cumplir con mis objetivos personales. A mis Padres por su permanente motivación, brindándome consejos y apoyo constante. A mis Hermanos que me vieron seguir adelante durante mi formación profesional. A mis familiares y amigos que me alentaron y brindaron su apoyo



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la bendición de vida y salud, que me permitió estudiar y culminar satisfactoriamente mi Carrera Profesional.

Mi agradecimiento especial a mis padres Epifanio Alberto y Karina, quienes me inculcaron valores y virtudes como también apoyo constante durante el proceso de mi formación profesional. A mis familiares y amigos por brindarme consejos que fueron indispensables en mi formación a lo largo de los años. También expresar mi gratitud al director y a todos los ingenieros de la Carrera Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, quienes me brindaron una formación profesional con extenso conocimiento, valores y experiencia.



## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	ix

### CAPÍTULO I

#### ASPECTOS GENERALES

1.1. Análisis de la situación problemática.....	1
1.2. Formulación del problema .....	2
1.2.1. Pregunta General.....	2
1.2.2. Preguntas Especificas .....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos de la investigación .....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Especificos.....	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.5.1. Hipótesis General .....	3
1.5.2. Hipótesis Especificas .....	4
1.6. Operacionalización de variables.....	5



**CAPÍTULO II**

**FUNDAMENTO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes ..... 6

    2.1.1. Antecedentes internacionales ..... 6

    2.1.2. Antecedentes nacionales ..... 8

    2.1.3. Antecedentes locales ..... 10

2.2. Bases teóricas ..... 12

    2.2.1. Turbocompresor ..... 12

    2.2.2. Principio de funcionamiento ..... 13

    2.2.3. Tipos de turbocompresor ..... 13

    2.2.4. Motor diesel de aspiración natural ..... 14

    2.2.5. Potencia del motor ..... 15

    2.2.6. Potencia indicada ..... 16

    2.2.7. Potencia efectiva ..... 16

    2.2.8. Ciclo brayton ..... 16

    2.2.9. Termodinámica en motores diesel ..... 18

    2.2.10. Parámetros del turbocompresor ..... 19

2.3. Definición de términos ..... 21

**CAPÍTULO III**

**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1. Métodos de investigación ..... 22

    3.1.1. Tipo de investigación ..... 22



3.2.2. Nivel de investigación..... 22

3.2.3. Enfoque de la investigación ..... 22

3.2. Ámbito de la investigación:..... 22

3.3. Población y muestra ..... 23

3.3.1. Población: ..... 23

3.3.2. Muestra: ..... 23

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos ..... 24

3.5.1. Técnicas ..... 24

3.5.2. Instrumentos ..... 24

3.6. Recogida de datos..... 24

**CAPÍTULO IV**

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Presentación ..... 25

4.2. Análisis de resultados..... 25

4.2.1. Datos de motor diésel marca Toyota..... 25

4.2.2. Parámetros atmosféricos en la ciudad de Juliaca ..... 26

4.2.3. Densidad del aire en la ciudad de Juliaca ..... 27

4.2.4. Consumo horario real ..... 27

4.2.5. Cálculo del turbocompresor ..... 28

2.2.6. Cálculo del compresor centrífugo ..... 29

4.2.7. Cálculo de la turbina a gas..... 44

4.3. Discusión de resultados ..... 61



CONCLUSIONES .....	62
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	64
ANEXOS.....	67
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	68



## RESUMEN

Los motores diésel de aspiración natural cuentan con precalentadores en cada cilindro para facilitar el arranque en temperaturas bajas; si uno de estos inyectores falla el motor no arranca. En la ciudad de Juliaca debido a su altitud presenta los siguientes defectos pérdida de potencia y contaminación al medio ambiente. Por estas razones el objetivo de la presente tesis es proponer la adaptación de un turbocompresor a un motor diésel marca Toyota de aspiración natural para mejorar potencia efectiva en la ciudad de Juliaca, 2025. Para la adaptación de un turbocompresor en un motor diésel de aspiración natural de 2.4 L de Marca Toyota; Se desarrolló un cálculo para determinar los parámetros requeridos según datos iniciales planteados, determinación de la potencia para la selección del turbocompresor adecuado según cilindrada del motor, La potencia calculada satisface la potencia nominal del motor, asimismo la pérdida de potencia por altitud, en este caso es aproximadamente 30%; al realiza la adaptación del turbocompresor se recupera esta pérdida. En el presente trabajo de investigación se demuestra que se puede recuperar la pérdida de potencia por altitud o presión instalando un turbocompresor de acuerdo a la cilindrada y potencia del motor, en este caso la potencia del motor es de 56 kW y según calculo la potencia del turbocompresor es de 50 KW esto indica que el turbocompresor a adaptarse cumple con la recuperación de la potencia

**Palabras claves:** turbocompresor, potencia efectiva, motor diésel



## ABSTRACT

Naturally aspirated diesel engines have preheaters in each cylinder to facilitate starting in low temperatures; if one of these injectors fails, the engine will not start. In the city of Juliaca, due to its altitude, it presents the following defects: loss of power and environmental pollution. For these reasons, the objective of this thesis is to propose the adaptation of a turbocharger to a Toyota naturally aspirated diesel engine to improve effective power in the city of Juliaca, 2025. For the adaptation of a turbocharger in a 2.4 L naturally aspirated Toyota diesel engine; A calculation was developed to determine the required parameters based on initial data raised, determining the power for the selection of the appropriate turbocharger according to the engine displacement. The calculated power satisfies the nominal power of the engine, also the power loss due to altitude, in this case it is approximately 30%; when the turbocharger is adapted, this loss is recovered. This research demonstrates that power loss due to altitude or pressure can be recovered by installing a turbocharger based on the engine displacement and power. In this case, the engine power is 56 kW, and according to calculations, the turbocharger power is 50 kW. This indicates that the turbocharger to be adapted meets the power recovery requirements.

**Keywords:** turbocharger, effective power, diesel engine



## INTRODUCCIÓN

El parque automotor de la ciudad de Juliaca de los vehículos, circulan aproximadamente 15000 de los cuales en el transporte urbano se observa el 40% de vehículos de aspiración natural con diferentes años de fabricación estos vehículos tienen defectos en el arranque en las mañanas por bajas temperaturas debido a la menor presión atmosférica según altitud. Por esta razón se propone como trabajo de investigación de adaptación de un turbocompresor a un motor diésel marca Toyota de aspiración natural para mejorar potencia efectiva en la ciudad de Juliaca, 2025.

Los vehículos equipados con motores diésel en los últimos años han evolucionado debido a que ahora se cuenta con inyectores electrónicos y dispositivos de sobrealimentación permitiendo menor consumo de combustible y niveles bajos de contaminación en comparación con los motores gasolineros. Sin embargo, para aproximarse al funcionamiento de los motores actuales, han sido fundamental la perfección del diseño de motores diésel y sus sistemas auxiliares principalmente la salida de gases de escape como resultado de la combustión de la mezcla interna de aire – combustible

El desarrollo y renovación de motores diésel antiguos de aspiración natural, es importante adaptación de un dispositivo sobrealimentador denominado turbocompresor que se ubica en la salida de gases de escape como aprovechamiento de la temperatura del flujo de gases de escape también denominado recuperación de la potencia. Su aplicación se basa en recuperación de la pérdida de potencia por altura debido a la baja presión.

El presente trabajo se desarrolla en 4 capítulos: En el Capítulo I. Aspectos generales como contenido de este capítulo se tiene análisis de situación problemática,



formulación del problema, objetivos hipótesis y variables. En el capítulo II. Se cuenta con los contenidos de antecedentes, marco teórico, marco conceptual. En el capítulo III. Metodología de la investigación: contiene tipo y nivel de investigación, ámbito de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos y recogida de datos. En el capítulo IV. Resultados: contiene análisis de resultados



## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1. Análisis de la situación problemática

En el mundo actual el motor de combustión interna es la máquina de mayor uso en el área del transporte, en su desarrollo tecnológico su eficiencia se ha incrementado desde 10% hasta 40% en los motores actuales.

Los fabricantes de vehículos, por generaciones diseñaron y probaron sus productos en condiciones ambientales estándares, tomando como referencia el nivel del mar obteniendo las mejores prestaciones en sus motores, pero cuando estas condiciones cambian, también cambia el rendimiento del motor, que en extremas alturas se tiene una considerable pérdida de la presión media efectiva y consecuentemente la reducción de la potencia del motor, por lo cual se cuenta con sistemas de compensación de altitud tanto en motores a gasolina como en motores a diésel, pero estos simplemente actúan sobre el consumo de combustible y no compensan la pérdida de potencia, además estos sistemas pierden su eficiencia si sobrepasan los 3000 m.s.n.m.



En el Perú por sus características topográficas los motores operan a altitudes significativas sobre el nivel del mar, cuya variable climática influye disminuyendo la potencia efectiva de los motores diésel de aspiración natural como consecuencia de la disminución de la presión atmosférica y densidad del aire.

En la ciudad de Juliaca debido a la altura en la que nos encontramos nuestros autos pierden cierta potencia debido a que la cantidad de oxígeno que debería entrar al cilindro es menor porque a mayor altura menor es la cantidad de oxígeno presente, esta desproporción no permite que se puede efectuar una combustión normal.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Pregunta General**

¿Cómo se puede proponer la adaptación de un turbocompresor a un motor diésel marca Toyota de aspiración natural para mejorar la potencia efectiva en la ciudad de Juliaca, 2025?

### **1.2.2. Preguntas Especificas**

¿Cuáles son los parámetros del motor diésel de aspiración natural Marca Toyota Hiace con año de fabricación 2004 en la ciudad de Juliaca?

¿Cuál es el turbocompresor adecuado para la adaptación al motor diésel marca Toyota Hiace con año de fabricación 2004 en la ciudad de Juliaca?

¿Cuánto es la mejora de la potencia efectiva del motor diésel marca Toyota Hiace en la ciudad de Juliaca?



### **1.3. Justificación**

Esta investigación se realiza porque los vehículos generalmente son fabricados a condiciones estándar, es decir, a nivel del mar. Por lo que en altitudes existe pérdida de potencia

Esta investigación se realiza para mejorar o compensar la potencia perdida en condiciones de altura

Esta investigación propone la adaptación del turbocompresor en el motor diésel de aspiración natural en la ciudad de Juliaca

### **1.4. Objetivos de la investigación**

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

Proponer la adaptación de un turbocompresor a un motor diésel marca Toyota de aspiración natural para mejorar la potencia efectiva en la ciudad de Juliaca, 2025

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

Determinar los parámetros del motor diésel de aspiración natural Marca Toyota Hiace con año de fabricación 2004 en la ciudad de Juliaca

Seleccionar el turbocompresor adecuado para la adaptación al motor diésel marca Toyota Hiace con año de fabricación 2004 en la ciudad de Juliaca

Determinar la mejora de la potencia efectiva del motor diésel marca Toyota Hiace en la ciudad de Juliaca

### **1.5. Hipótesis**

#### **1.5.1. Hipótesis General**

Si se propone la adaptación de un turbocompresor a un motor diésel de aspiración natural entonces se mejorará la potencia efectiva en condiciones de altura



## **1.5.2. Hipótesis Específicas**

Si se determina los parámetros del motor diésel de aspiración natural Marca Toyota Hiace con año de fabricación 2004 entonces se podrá seleccionar el turbocompresor adecuado

Si se selecciona el turbocompresor adecuado se podrá realizar la adaptación al motor diésel

Si se mejora la potencia efectiva entonces su funcionamiento será óptimo en condiciones de altura



### 1.6. Operacionalización de variables

**Tabla 1.**

*Operacionalización de variables*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Variable independiente: Adaptación del turbocompresor	Condiciones atmosféricas	Altitud	m.s.n.m. (metros sobre nivel del mar)
		Presión del medio ambiente	Pa (Pascal)
		Temperatura del medio ambiente	°K (Grados Kelvin)
	Turbocompresor	Presión de sobrealimentación	Pa (Pascal)
		Relación de presión	Adimensional
		Velocidad de rotación	rpm (revoluciones por minuto)
	Temperatura del aire comprimido	Temperatura en la salida del compresor/temperatura de admisión	°K (grados kelvin)
Eficiencia del compresor	Relación de compresión / eficiencia adiabática	% (porcentaje)	
Variable dependiente: Potencia del motor diésel	Potencia del motor	Potencia del motor	kW (kilowatt)
	Presión media efectiva	Presión media efectiva	Pa (Pascal)
	Régimen de giro	Velocidad del motor	rpm (revoluciones por minuto)

**Fuente:** Elaboración propia



## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

(Fernández, 2017). En su artículo titulada "Diseño de la adaptación de un turbocompresor a un motor a carburador de cuatro cilindros (Toyota 4A-F) para aumentar la presión media efectiva en la ciudad de La Paz" El objetivo de esta tesis es diseñar e implementar la adaptación de un turbocompresor en un motor Toyota 4A-F carburado para mejorar su rendimiento en altitudes elevadas, como la de La Paz (3,600 m.s.n.m.). La metodología empleada incluye cálculos termodinámicos, selección del turbocompresor adecuado y pruebas de simulación para evaluar la presión media efectiva y el consumo de combustible. Los resultados muestran que la sobrealimentación incrementa la potencia del motor en un 20-25% y mejora la eficiencia volumétrica en un 15%, aunque requiere ajustes en la relación aire-combustible y en el sistema de refrigeración.



(Mudarra, 2018). En su tesis titulada "Diseño y análisis de un turbocompresor para un grupo de sobrealimentación de un motor alternativo" La tesis tiene como objetivo diseñar y analizar un turbocompresor optimizado para mejorar la eficiencia de un motor alternativo en términos de potencia y consumo de combustible. Se emplea una metodología basada en modelado computacional mediante software de dinámica de fluidos (CFD) y análisis de termodinámica aplicada para simular el comportamiento del flujo de gases. Los resultados muestran que una correcta selección del tamaño del turbo y su configuración puede aumentar el par motor en un 30% y la eficiencia térmica en un 10%, con una reducción del consumo específico de combustible del 8%

(Reséndiz, 2022). En su artículo titulada "Análisis de los efectos producidos en un motor turbo-diésel por falla de compresión en el turbocompresor". El objetivo de esta investigación es evaluar los efectos de una falla en el turbocompresor sobre el rendimiento de un motor turbo-diésel, especialmente en su eficiencia y emisiones contaminantes. La metodología se basa en pruebas experimentales en un banco de motores, simulando diferentes niveles de fugas en el turbo y midiendo parámetros como la potencia, el consumo de combustible y las emisiones de NOx y partículas. Los resultados indican que una pérdida del 10% en la presión de sobrealimentación provoca una reducción del 15% en la eficiencia del motor y un aumento del 25% en las emisiones de NOx, evidenciando la importancia del mantenimiento del turbocompresor.



(Enriquez, 201). En su tesis titulado "Estudio termodinámico del motor Toyota turbo diésel modelo 2KD-FTV". Esta tesis se centra en el análisis termodinámico del motor Toyota 2KD-FTV, un motor turbo diésel de cuatro cilindros. El objetivo principal es evaluar el rendimiento y la eficiencia del motor mediante el estudio de sus parámetros operativos y la influencia del turbocompresor en su desempeño. La metodología incluye la recopilación de datos experimentales y su análisis utilizando modelos termodinámicos. Los resultados proporcionan una comprensión detallada del comportamiento del motor y ofrecen recomendaciones para optimizar su funcionamiento.

(Cofre, 2006). En su tesis titulada "Adaptación de un turbocargador VX29 IHI a un motor diésel Hino H07C de aspiración natural" El objetivo de este proyecto es adaptar un turbocargador VX29 IHI a un motor diésel Hino H07C originalmente de aspiración natural, con el fin de mejorar su desempeño sin comprometer su durabilidad. La metodología consiste en la selección del turbocompresor, análisis de compatibilidad, instalación del sistema de lubricación y escape modificado, seguido de pruebas de potencia y emisiones en banco de pruebas. Los resultados indican un aumento del 25% en la potencia del motor, mejor respuesta en bajas revoluciones y reducción en el consumo de combustible en un 10%, aunque se recomienda reforzar componentes internos para evitar fallas mecánicas debido al incremento de presión en la cámara de combustión.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

(Pérez, 2023). En su tesis titulado "Adaptación y análisis de un turbocompresor en un motor diésel Nissan TD27 para aplicaciones agrícolas". Esta tesis se enfoca en la adaptación de un turbocompresor en un motor diésel Nissan TD27 utilizado en maquinaria agrícola. Se detallan las modificaciones realizadas, los desafíos



encontrados durante el proceso y los resultados obtenidos en términos de incremento de potencia y eficiencia operativa, así como el impacto en la productividad agrícola.

(Ruiz, 2022). En su tesis titulado "Adaptación de un turbocompresor en un motor Toyota 1HZ para aplicaciones en transporte pesado" Esta tesis aborda la adaptación de un turbocompresor en el motor Toyota 1HZ, utilizado comúnmente en transporte pesado. Se detallan las modificaciones realizadas, los desafíos encontrados durante el proceso y los resultados obtenidos en términos de incremento de potencia y eficiencia operativa.

(Cordero, 2000). En su tesis titulada "Diseño y adaptación de un sistema de turbocompresión para el motor diésel Toyota 1KD-FTV" Este estudio desarrolla un plan para la instalación de un banco de pruebas destinado a turbocompresores en motores diésel de uso automotriz, considerando el creciente número de motores sobrealimentados y el desarrollo tecnológico en este campo.

(Quispe, 2020). En su tesis titulado "Análisis termodinámico del motor Deutz BF4L914 en la selección de un enfriador de aire de carga al sistema de admisión". En esta investigación, se realiza un análisis termodinámico del motor Deutz BF4L914, que utiliza un turbocompresor para mejorar la eficiencia volumétrica y la potencia del motor. El estudio evalúa la influencia de la temperatura del aire de admisión en el rendimiento del motor y cómo un intercooler puede optimizar la relación de compresión del turbocompresor. Se aplican cálculos termodinámicos para determinar la efectividad del sistema y se comparan diferentes opciones de intercoolers para seleccionar el más adecuado.



(Alvis & Valdez, 2023). En su tesis titulado "Análisis de la deformación mecánica en la cámara de combustión de un motor convertido (GNV) de capacidad 1497cc.". Este estudio examina la deformación mecánica de los componentes de la cámara de combustión en un motor convertido para operar con Gas Natural Vehicular (GNV), incluyendo la influencia de un turbocompresor en la distribución de cargas térmicas y mecánicas. Se analizan los efectos del aumento de la presión de sobrealimentación en el pistón, la culata y las paredes del cilindro. Los resultados permiten determinar los límites estructurales del motor y las posibles mejoras en el diseño para incrementar la eficiencia sin comprometer la durabilidad del sistema.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

(Velarde, 2023). En su tesis titulada "Análisis de la influencia de la altitud de Puno sobre la potencia efectiva de un motor de combustión interna otto de aspiración natural.". Los resultados que se obtuvieron para las condiciones ambientales de Puno fueron de una presión atmosférica de 490,7151 mm Hg, densidad del aire 0,783 Kg/m<sup>3</sup> y 19,91% de oxígeno. Las conclusiones son que la variación del porcentaje de oxígeno es mínima en la composición del aire en Puno y, que la disminución de la presión atmosférica influye en la disminución de la densidad del aire es el parámetro principal que influye en la pérdida de 36% de la potencia efectiva del motor Otto con respecto a la potencia efectiva al nivel del mar.

(Huaccallo, 2017). En su tesis titulada "Balance térmico experimental de funcionamiento de un motor de combustión interna diésel en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno". Los resultados obtenidos en el balance térmico experimental del motor Diesel establecen que el motor tiene un deficiente aprovechamiento del calor útil ( $Q_1 = 23,62\%$ )



necesario para efectuar el trabajo efectivo del motor lo cual se explica a que las pérdidas a través de los gases de escape están con un exceso de 12.14% por lo menos. De igual manera en pérdidas por radiación y otros factores se han incrementado en un 1,28% por lo menos.

(Ramos, 2018). En su tesis titulado "Estudio y análisis experimental comparativo de los productos de la combustión de un motor gasolinero estacionario Brigg Stratton de 5 HP al nivel del mar (Ilo - Moquegua) y a 3827 metros sobre el nivel del mar (Puno)" Los resultados experimentales que se obtendrán en la tesis como resultado del estudio y análisis termodinámico de los productos de la combustión, llamados también gases de combustión o humos, serán: Relación aire combustible real o ideal, Composición aproximada del combustible (gasolina). Perdidas debido a la combustión incompleta (debido a la presencia de monóxido de carbono: CO). Exceso o deficiencia de aire en la combustión.

(Quenta, 2017). En su tesis titulada "Análisis termodinámico del sistema de refrigeración y efectos en el rendimiento del motor SY1033DFH4 utilizando agua natural y refrigerante vistony en la empresa Antares Arquitectos SRL en la ciudad de Cusco". Los resultados obtenidos demuestran que, utilizando agua natural como fluido refrigerante en el sistema de refrigeración, este extrae mayor calor que el refrigerante vistony 50/50 (coolant antifreeze) en un promedio de 10.47 KW,

(Borda, 2009). En su tesis titulada "Análisis de los factores (mezcla aire combustible) que influyen sobre los parámetros efectivos de la toxicidad de un motor a inyección electrónica y dual (Gasolina GLP) en la Ciudad de Puno". Los resultados obtenidos demuestran que el GLP contamina menos que la gasolina, en regímenes de trabajo

de mínimo a medio, pero a medida que se incremente el esfuerzo del motor estos parámetros tienden a converger, como veremos en los datos y gráficos respectivos, haciéndonos concluir que el uso del GLP es apropiado en vehículos que tengan un régimen de trabajo de ligero a medio.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Turbocompresor

Es un dispositivo mecánico que utiliza la energía de los gases de escape de un motor para impulsar una turbina, la cual a su vez comprime el aire que entra en el motor.

Un turbocompresor emplea la energía de los gases de escape que no se aprovecha de otra forma para proporcionar más oxígeno para la combustión; esto se hace por medio de un compresor accionado por un ventilador de turbina, que comprime el aire de admisión.

Estrictamente los turbo alimentadores solo mantienen la potencia del motor hasta cuando este se encuentre funcionando a 3.000 metros sobre el nivel del mar. De esta altura en adelante existirá pérdida de potencia (aunque poca) a pesar de que el motor este turboalimentado

**Figura 1.**

*Turbocompresor*





### 2.2.2. Principio de funcionamiento

La turbina es impulsada por los gases de escape; esta esta conecta al eje de un compresor centrífugo; este aspira y comprime el aire atmosférico hacia el múltiple de admisión y el aire comprimido aumenta la presión y temperatura.

El turbocompresor eleva el rendimiento volumétrico

$$\eta_v = \frac{m_{\text{aire real}}}{m_{\text{aire teórico}}}$$

Donde:

$\eta_v$ : Eficiencia volumetrica

$m_{\text{aire real}}$ : Masa de aire real

$m_{\text{aire teórico}}$ : Masa de aire teórico

### 2.2.3. Tipos de turbocompresor

Existen diferentes tipos de turbocompresor los cuales son:

- Geometría fija: Sencillo y sin partes móviles internas. Una de sus ventajas es la demora en la entrega de potencia
- Geometría variable: Con alabes móviles que controlan el flujo de los gases de escape aumentando la potencia y par de motor
- De dos etapas: es la combinación de dos turbocompresores una en serie y otra en paralelo para un óptimo rendimiento
- Twin – turbo: Estos utilizan dos turbocompresore usados para motores de altas potencia

## **2.2.4. Motor diésel de aspiración natural**

Un motor diésel de aspiración natural es un motor de combustión interna que aspira aire a través de la presión atmosférica. También se le conoce como motor atmosférico o convencional.

### **Figura 2.**

*Motor diésel*



### **Principio de funcionamiento**

El ciclo diésel comprende de cuatro tiempos

Admisión: Es cuando el pistón desciende e ingresa aire

Compresión: El pistón asciende comprimiendo el aire

Combustión: Se inyecta el combustible inflamándose por la temperatura del aire comprimido

Expansión: La combustión genera presión provocando el descenso del pistón, produciendo el trabajo

Escape: El pistón asciende y expulsa los gases que se produjeron en la combustión



## Características

- No tiene inducción forzada a través de un turbocompresor o un sobrealimentador
- La entrada de aire depende de la presión atmosférica
- El aire penetra en la cámara de combustión por el vacío que los pistones generan con su movimiento
- Cuanto más aire entra en las cámaras de combustión, más combustible se puede añadir, lo que genera explosiones más potentes y mayor potencia

## Ventajas

- Ofrece una respuesta lineal y rápida en carretera, ideal para disfrutar de trayectos largos y sin pérdida de potencia
- Es menos complejo que un motor turbo, por lo que es menos propenso a sufrir averías y será más duradero

## Desventajas

- Para igualar la potencia ofrecida por un propulsor turbo, un motor de aspiración necesitará mayores dimensiones

### 2.2.5. Potencia del motor

Es la cantidad de trabajo que realiza por unidad de tiempo durante la combustión, dado por la siguiente ecuación

$$N = \frac{W}{t}$$

Donde:

*W*: Trabajo

*t*: Tiempo



## 2.2.6. Potencia indicada

Es la potencia que se genera dentro del cilindro por la combustión del combustible, dada por la siguiente ecuación:

$$N_i = \frac{P_{mi} V_{hi} n \tau}{60}$$

Donde:

$P_{mi}$ : Presión media indicada

$V_{hi}$ : Cilindrada del motor

$n$ : Velocidad del motor

$\tau$ : Numero de tiempos

## 2.2.7. Potencia efectiva

Es la potencia que esta disponible en el cigüeñal, sin pérdidas

$$N_e = \frac{2\pi n T}{60}$$

Donde:

$n$ : Velocidad del motor

$T$ : Torque

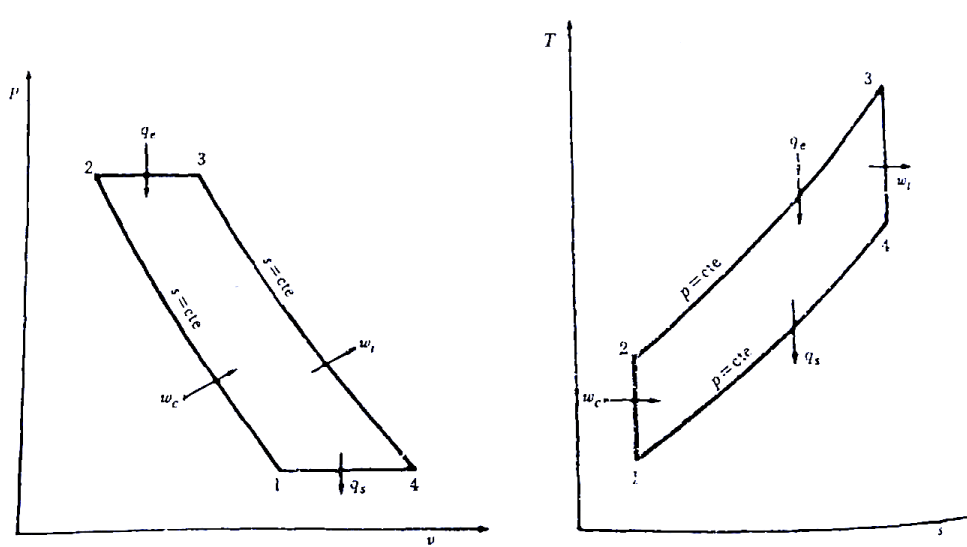
## 2.2.8. Ciclo Brayton

Ciclo Brayton – Joule, se caracteriza por compresión isoentrópica, toma de calor a presión constante, expansión isoentrópica y expulsión de calor a presión contante.

Este ciclo es el más generalizado

**Figura 3.**

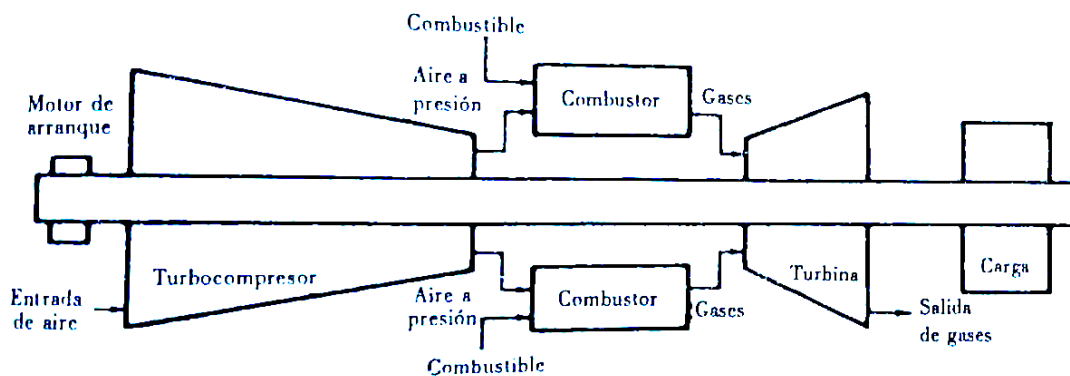
Ciclo Brayton



Fuente: (Polo, 1984)

**Figura 4.**

Esquema de una turbina de gas simple o de circuito cerrado



Fuente: (Polo, 1984)



## 2.2.9. Termodinámica en motores diésel

La termodinámica es la ciencia que estudia los efectos del calor, el trabajo y la energía en un sistema. En el caso de un motor diésel, se analiza principalmente el Ciclo Diesel, que consta de cuatro procesos:

1. Compresión adiabática del aire (sin pérdida de calor).
2. Combustión a presión constante (inyección del diésel y encendido por compresión).
3. Expansión adiabática (trabajo útil del motor).
4. Escape de los gases quemados

En este ciclo, se aplican las leyes de la termodinámica, entre ellas:

Primera Ley de la Termodinámica: Conservación de la energía (la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma). En el motor, el calor del combustible se transforma en trabajo mecánico.

Segunda Ley de la Termodinámica: La eficiencia de la conversión de calor a trabajo nunca es del 100%. Siempre hay pérdidas (por ejemplo, por el calor del escape).

### Ley de los gases ideales

$$PV = nRT$$

Donde:

P: Presión de aire

V: Volumen

n: Numero de moles de aire

R: Constante universal de los gases

T: temperatura del aire



Esta ley muestra que si la presión disminuye (como ocurre en altura), entonces la cantidad de oxígeno por volumen también disminuye, afectando la combustión.

El turbocompresor incrementa la presión del aire de admisión, mejorando la densidad del aire y, por tanto, la cantidad de oxígeno disponible.

### **Flujo masico del aire**

El motor requiere una cantidad específica de aire (oxígeno) para quemar el combustible eficientemente. Esto se calcula con el flujo másico de aire:

$$\dot{m} = \rho A v$$

Donde:

$\dot{m}$ : Flujo másico del aire

$\rho$ : Densidad del aire

A: Area de la admision

v: Velocidad del aire

### **2.2.10. Parámetros del turbocompresor**

Compresor

Grado de elevación de la presión:

$$\pi = \frac{P_4}{P_1}$$

Donde:

$P_4$ : Presion estatica en la salida de voluta del compresor

$P_1$ : Presión en la entrada del rodete



## Trabajo adiabático del compresor

$$W_{ad} = \frac{k}{k-1} RT_1 \left( \pi^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)$$

Donde:

*k*: Índice adiabático

*R*: Constante de gases ideales

*T*<sub>1</sub>: Temperatura total en la entrada del rodete

*π*: Grado de elevación de presión

## Trabajo del compresor

$$W_c = 102.5 (T_4 - T_1) \frac{kgm}{kg}$$

Donde:

*T*<sub>1</sub>: Temperatura total en la entrada del rodete

*T*<sub>4</sub>: Temperatura total en la salida del compresor

## Rendimiento del compresor

$$\eta_c = \frac{W_{ad}}{W_c}$$

Donde:

*W*<sub>ad</sub>: Trabajo adiabático del compresor

*W*<sub>c</sub>: Trabajo del compresor



## 2.3. Definición de términos

- **Turbocompresor:** Es un sistema de sobrealimentación que usa una turbina centrífuga para accionar mediante un eje coaxial con ella, una rueda compresora para comprimir gases. Este tipo de sistemas se suele utilizar en motores de combustión interna alternativos
- **Motor diésel:** Es un tipo de motor de combustión interna que utiliza la compresión del aire para encender el combustible
- **Potencia del turbocompresor:** Se refiere a su capacidad para aumentar la potencia y el rendimiento de un motor.
- **Potencia del motor:** Es la capacidad de un motor para realizar trabajo en un período de tiempo determinado
- **Altitud:** Se refiere a la distancia vertical de un punto en la Tierra con respecto al nivel medio del mar.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Métodos de investigación

##### 3.1.1. *Tipo de investigación*

La presente investigación es una investigación aplicada toma teorías y conocimientos existentes para aplicarlos en la solución de problemas específicos en áreas como la ingeniería, la medicina o la tecnología, buscando resultados.

##### 3.2.2. *Nivel de investigación*

La presente investigación es de nivel correlacional es un tipo de estudio que busca determinar la relación entre dos o más variables, sin manipularlas

##### 3.2.3. *Enfoque de la investigación*

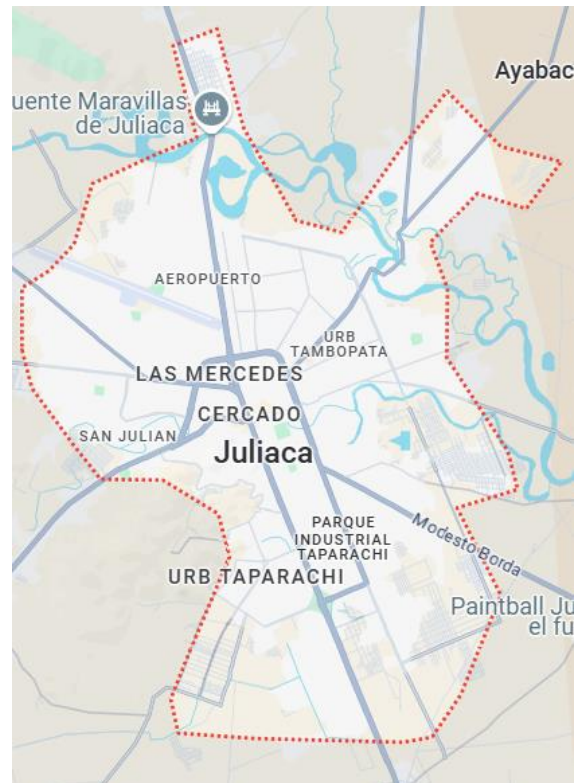
La presente investigación es de enfoque mixto es una estrategia que combina métodos cuantitativos y cualitativos para obtener resultados mas robustos

#### 3.2. **Ámbito de la investigación:**

Esta investigación se desarrolla en la ciudad de Juliaca que se encuentra a una altitud de 3825 m.s.n.m.; con las siguientes coordenadas 15°30'09"S 70°08'00"O

## Figura 5.

Ubicación de la ciudad de Juliaca



Fuente: <https://maps.app.goo.gl/4D5TWwr8vSFwKUmR8>

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población:

En la presente investigación se tiene como población los motores diésel de aspiración natural de la ciudad de Juliaca

#### 3.3.2. Muestra:

En la presente investigación se tiene como muestra un motor diésel de aspiración natural de 2.4L de marca Toyota Hiace de año de fabricación 2004



## 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### 3.5.1. Técnicas

- Observación
- Recolección de información
- Procedimiento de cálculo

### 3.5.2. Instrumentos

- Documentos
- Catálogo de especificaciones técnicas del vehículo
- Microsoft Excel

## 3.6. Recogida de datos

Para desarrollar la presente investigación se realizó recolección de información de los vehículos de motor diésel de aspiración natural, se tiene como muestra un motor diésel de 2.4L de cilindrada de marca Toyota Hiace. Según los parámetros del motor se realiza el procedimiento de cálculo del turbocompresor que se muestra a continuación:



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Presentación

En este capítulo se presentan los resultados de la propuesta de adaptación de un turbocompresor para mejorar la potencia efectiva de un motor diésel de aspiración natural en la ciudad de Juliaca

#### 4.2. Análisis de resultados

##### 4.2.1. Datos de motor diésel marca Toyota

Marca	: Toyota Hiace
Año de fabricación	: 2004
Tipo de motor	: Motor diésel de aspiración natural
Ciclo del motor	: 4 tiempos, 8 válvulas
Número de cilindros	: 4 cilindros en línea
Cilindrada del motor	: 2446 cc (2400 cc)



Relación de compresión : 22.3

Sistema de combustible : Inyección indirecta (pre cámara)

Potencia : 56 KW a 4000 rpm

Diámetro : 92 mm

Carrera : 92 mm

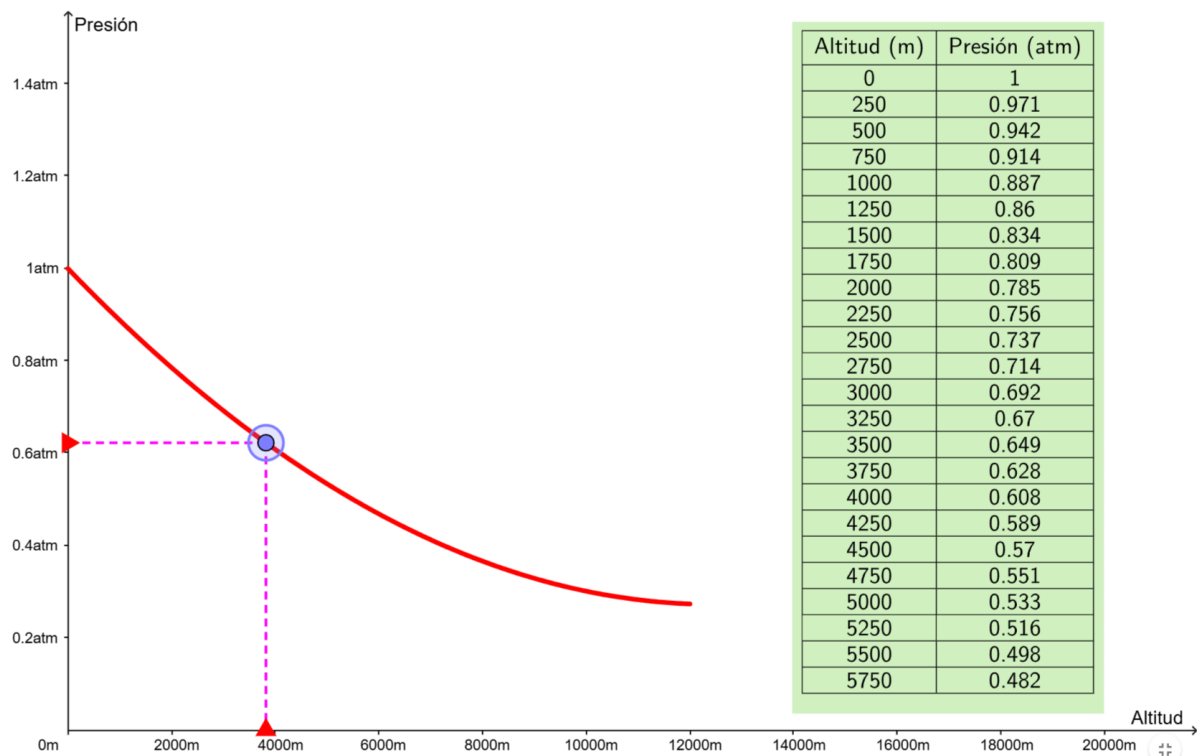
### 4.2.2. Parámetros atmosféricos en la ciudad de Juliaca

Altitud en Juliaca : 3825 m.s.n.m.

Presión atmosférica a 3825 m.s.n.m. : 0.62 bar

### Figura 6.

Curva de presión atmosférica vs altitud



Fuente: <https://www.geogebra.org/m/JXZ8T7Bf>



Temperatura atmosférica a 3825 m.s.n.m. : 13 °C

### 4.2.3. Densidad del aire en la ciudad de Juliaca

$$\rho_0 = \frac{P_0}{R T_0}$$

Donde:

$P_0$ : Presión del medio ambiente en la ciudad de Juliaca = 0.62 bar = 62 kPa

$T_0$ : Temperatura del medio ambiente en la ciudad de Juliaca = 13°C = 286°K

$R$ : Constante de gases ideales =  $0.287 \frac{KJ}{kg \text{ } ^\circ K}$

Reemplazando los valores a la ecuación

$$\rho_0 = \frac{62}{0.287 * 286}$$

$$\rho_0 = 0.76 \frac{kg}{m^3} = 0.76 \frac{gr}{l}$$

### 4.2.4. Consumo horario real

$$\eta_v = \frac{G_a}{G_t}$$

Donde:

$G_a$ : Consumo horario del aire  $\frac{kg}{h}$

$G_t$ : Consumo horario teórico del aire  $\frac{kg}{h}$

$$G_a = \eta_v G_t$$

$$G_a = \eta_v V_{hi} \rho_a \frac{n}{2} 60$$



Donde:

$\eta_v$ : eficiencia volumetrica = 80%

$V_{hi}$ : Cilindrada del motor = 2400 cc = 2.4 l

$\rho_a$ : densidad del aire =  $0.76 \frac{gr}{l}$

$n$ : velocidad del motor = 4000 rpm

Reemplazando los valores a la ecuación:

$$G_a = 0.8 * 2.4 l * 0.76 \frac{gr}{l} * \frac{4000rpm}{2} * 60$$

$$G_a = 175104 \frac{gr}{h} = 175 \frac{kg}{h} * \frac{1h}{3600 s} = 0.05 \frac{kg}{s}$$

#### 4.2.5. Cálculo del turbocompresor

Para el cálculo del turbocompresor se tiene los siguientes datos iniciales:

Presión de sobrealimentación:  $P_k = 1.2 bar$

Condiciones del medio ambiente en la ciudad de Juliaca

- Presión del medio ambiente en la ciudad de Juliaca:  $P_0 = 0.62 bar$
- Temperatura del medio ambiente en la ciudad de Juliaca:  $T_0 = 13^\circ C = 286^\circ K$

Densidad del aire con sobrealimentación

$$\rho_k = \frac{P_k}{R T_k}$$

Donde:

$P_k$ : temperatura de sobrealimentación =  $339.13^\circ K$



$$\rho_k = \frac{120}{0.287 * 339.13}$$

$$\rho_k = 1.24 \frac{kg}{m^3}$$

Caudal del aire:

$$G_a = \eta_v V_{hi} \rho_k \frac{n}{2} 60$$

$$G_a = 0.8 * 2.4 l * 1.24 \frac{gr}{l} * \frac{4000rpm}{2} * 60$$

$$G_a = 285696 \frac{gr}{h} = \frac{kg}{h} * \frac{1h}{3600 s} = 0.08 \frac{kg}{s}$$

$$G_a = 0.08 kg/s$$

Coefficiente de barrido:  $\varphi_b = 1.1$ , se recomienda (1.05 – 1.15)

Rendimiento indicado del motor:  $\eta_i = 0.45$

Poder calorífico del combustible:  $H_u = 10250 \frac{kcal}{kg}$

Cantidad teórica de aire:  $L_0 = 14.7 \frac{kg}{kg}$

Coefficientes de conservación de la presión:

- En la entrada del compresor:  $\sigma_{en} = 0.95$
- Entre la voluta y el colector de admisión:  $\sigma_{tub} = 0.95$
- En la salida de la turbina:  $\sigma_s = 0.95$

Los índices adiabáticos

- Para el aire:  $k = 1.4$
- Para el gas:  $k = 1.33$

Rendimiento mecánico del turbocompresor:  $\eta_{mtc} = 0.95$

### 2.2.6. Cálculo del compresor centrífugo

Se considera un compresor con rodete semicerrado y alabes radiales. Para un mayor rendimiento del compresor elegimos un difusor de aletas



## Grado de elevación de presión

Se tiene la presión de sobrealimentación

$$P_k = 1.2 \text{ bar}$$

Presión total en la entrada

$$P^*_1 = \sigma_{en} * P_0$$

$$P^*_1 = 0.95 * 0.62 \text{ bar} = 0.59 \text{ bar}$$

Presión total en la salida de la voluta

$$P^*_4 = \frac{P_k}{\sigma_{tub}}$$

$$P^*_4 = \frac{1.2 \text{ bar}}{0.95} = 1.26 \text{ bar}$$

Grado de elevación de presión según parámetros de frenado:

$$\pi^*_c = \frac{P^*_4}{P^*_1}$$

$$\pi^*_c = \frac{1.26 \text{ bar}}{0.59 \text{ bar}} = 2.14$$

## Trabajo adiabático del compresor

$$W^*_{ad} = \frac{k}{k-1} RT^*_1 \left( \pi^*_c \frac{k-1}{k} - 1 \right)$$

$$W^*_{ad} = \frac{1.4}{1.4-1} * 0.287 \frac{KJ}{kg \text{ } ^\circ K} * 286 \text{ } ^\circ K * \left( 2.14 \frac{1.4-1}{1.4} - 1 \right)$$



$$W^*_{ad} = 69.83 \frac{KJ}{kg}$$

Convirtiendo a kgm/kg

$$69.83 \frac{KJ}{kg} = 69.83 \frac{KNm}{kg} * 101.97 \frac{kgm}{KN kg} = 7120.9 \frac{kgm}{kg}$$

Velocidad tangencial del rodete en el diámetro exterior

$$U_2 = \sqrt{\frac{W^*_{ad} g}{H^*}}$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{7120.9 \frac{kg m}{kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}}{0.7}}$$

$$U_2 = 316 \frac{m}{s}$$

Parámetros de la entrada de cascada giratoria guía del rodete

Adoptamos la relación

$$\frac{c_1}{U_2} = 0.34 \text{ (Se recomienda } 0.25 - 0.4)$$

Velocidad en la entrada de cascada giratoria guía

$$c_1 = \frac{c_1}{U_2} U_2$$

$$c_1 = 0.34 * 316 \frac{m}{s} = 107.44 \frac{m}{s}$$



El número  $\lambda$  en la entrada de cascada giratoria guía  $T^*_1 = T_0$

$$\lambda_1 = \frac{c_1}{a_{cr}} = \frac{c_1}{\sqrt{\frac{2k}{k+1} gRT^*_1}}$$

$$\lambda_1 = \frac{107.44 \frac{m}{s}}{\sqrt{\frac{2 * 1.44}{1.44 + 1} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.287 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ K} * 286^\circ K}}$$

$$\lambda_1 = 0.0344$$

Según las tablas de las funciones gasodinámicas se tiene:

Para  $\lambda_1 = 0.0344$

$$M_1 = 0.0274$$

$$\tau(\lambda_1) = \frac{T_1}{T^*_1} = 0.9998$$

$$\pi(\lambda_1) = \frac{P_1}{P^*_1} = 0.9995$$

Temperatura, presión y peso específico del aire en la entrada de cascada giratoria guía

$$T_1 = T^*_1 - \frac{c_1^2}{2000} = T_1 = T^*_1 \tau(\lambda_1) = 286^\circ K * 0.9998 = 285.94^\circ K$$

$$P_1 = P^*_1 \pi(\lambda_1) = 0.59 \text{ bar} * 0.9995 = 0.589 \text{ bar}$$

$$\gamma_1 = \frac{P_1}{R T_1} = \frac{58.9 \text{ KPa}}{0.287 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ K} * 286^\circ K} = 0.72 \frac{kg}{m^3}$$



Velocidades, ángulos y dimensiones geométricos en la entrada de cascada giratoria guía

Adoptamos

$$\frac{D_1}{D_2} = 0.59 \quad (\text{se recomienda } 0.45 - 0.65)$$

Velocidad tangencial en el diámetro exterior de cascada giratoria guía

$$U_1 = U_2 \frac{D_1}{D_2} = 316 \frac{m}{s} * 0.59$$

$$U_1 = 186.44$$

El ángulo de trabajo del flujo en cascada giratoria guía

$$tg(\beta_1) = \frac{c_1}{U_1}$$

$$tg(\beta_1) = \frac{107.44 \frac{m}{s}}{186.44 \frac{m}{s}} = 0.5762$$

$$\beta_1 = 30^\circ$$

Velocidad relativa en el diámetro exterior de cascada giratoria guía

$$w_1 = \frac{c_1}{\sin \beta_1}$$

$$w_1 = \frac{107.44 \frac{m}{s}}{\sin 30^\circ} = \frac{107.44 \frac{m}{s}}{0.5} = 215 \frac{m}{s}$$

$$M_{w_1} = \frac{w_1}{a_1} = \frac{w}{\sqrt{gkRT_1}}$$



$$M_{w_1} = \frac{215 \frac{m}{s}}{\sqrt{9.81 \frac{m}{s^2} * 1.4 * 29.3 \frac{kgm}{kg \text{ } ^\circ K} * 286^\circ K}}$$

$$M_{w_1} = 0.634$$

El área de entrada en cascada giratoria guía

$$F_1 = \frac{G_a}{\gamma_1 c_1}$$

$$F_1 = \frac{0.56 \frac{kg}{s}}{0.72 \frac{kg}{m^3} * 107.44 \frac{m}{s}}$$

$$F_1 = 0.010 m^2$$

El diámetro exterior de cascada giratoria guía (*Adoptamos  $D_0 = 40mm$* )

$$D_1 = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi} + D_0^2}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 * 0.010m^2}{3.1416} + (0.04m)^2}$$

$$D_1 = 0.12 m$$

El diámetro exterior del rodete

$$D_2 = \frac{D_1}{\frac{D_1}{D_2}}$$

$$D_2 = \frac{120 mm}{0.59}$$

$$D_2 = 203 mm$$



Verificamos la relación  $\frac{D_0}{D_2}$

$$\frac{D_0}{D_2} = \frac{40mm}{203mm} = 0.197 \quad (\text{se recomienda } 0.15 - 0.25)$$

Parámetros de flujo en la salida del rodete con un numero de alabes del rodete de  $z=18$

Coefficiente de potencia:

$$\mu = \frac{1}{1 + \frac{2}{z}}$$

$$\mu = \frac{1}{1 + \frac{2}{8}} = 0.9$$

Los componentes radial y tangencial de la velocidad

$$c_{2r} = c_1 = 107.44 \frac{m}{s}$$

$$c_{2u} = \mu U_2 = 0.9 * 316 \frac{m}{s} = 284 \frac{m}{s}$$

La velocidad absoluta en la salida del rodete

$$c_2 = \sqrt{c_{2r}^2 + c_{2u}^2}$$

$$c_2 = \sqrt{\left(107.44 \frac{m}{s}\right)^2 + \left(284 \frac{m}{s}\right)^2}$$

$$c_2 = 304 \frac{m}{s}$$

Angulo de salida del flujo del rodete

$$tg \alpha_2 = \frac{c_{2r}}{c_{2u}}$$



$$\operatorname{tg}(\alpha_2) = \frac{107.44 \frac{m}{s}}{284 \frac{m}{s}} = 0.38$$

$$\alpha_2 = 20^\circ 45'$$

Temperatura en la salida del rodete

Adoptamos el coeficiente de rozamiento del disco con aire

$$\alpha = 0.04 \quad (\text{se recomienda } 0.03 - 0.06)$$

$$T_2 = T_1 + \left( \mu + \alpha - \frac{\mu_2^2}{2} \right) \frac{U_2^2}{102.5 * 9.81}$$

$$T_2 = 286^\circ K + \left( 0.9 + 0.04 - \frac{0.9^2}{2} \right) \frac{\left( \frac{316m}{s} \right)^2}{102.5 * 9.81}$$

$$T_2 = 339.13^\circ K$$

$$T^*_2 = T^*_1(\mu + \alpha) \frac{U_2^2}{102.5 * 9.81}$$

$$T^*_2 = 286^\circ K(0.9 + 0.04) \frac{\left( \frac{316m}{s} \right)^2}{102.5 * 9.81}$$

$$T^*_2 = 379.4^\circ K$$

Presión en la salida del rodete

$$P_2 = P_1 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n_1}{n_1-1}}$$

Adoptamos  $n_1 = 1.45$  (se recomienda 1.45 – 1.55)



$$P_2 = 0.59 \text{ bar} \left( \frac{339.13}{286} \right)^{\frac{1.45}{1.45-1}}$$

$$P_2 = 1.09 \text{ bar}$$

Peso específico del aire en la salida del rodete

$$\gamma_2 = \frac{P_2}{RT_2}$$

$$\gamma_2 = \frac{109 \text{ KPa}}{0.287 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * 339.13^\circ\text{K}}$$

$$\gamma_2 = 1.12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

El número de Mach en la salida del rodete

$$M_2 = \frac{c_2}{a_2} = \frac{c_2}{20.1\sqrt{T_2}}$$

$$M_2 = \frac{304 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20.1\sqrt{339.13^\circ\text{K}}}$$

$$M_2 = 0.82$$

El ancho del rodete en la salida

$$b_2 = \frac{G_a}{\pi D_2 c_{2r} \gamma_2}$$

$$b_2 = \frac{0.56 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{3.1416 * 0.203\text{m} * 107.44 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$



$$b_2 = 0.0073 \text{ m} = 7.3 \text{ mm}$$

Parámetros en la entrada del difusor de aletas

Adoptamos la relación

$$\frac{D_2'}{D_2} = 1.1; \quad D_2' = 1.1 D_2$$

$$D_2' = 1.1 * 203\text{mm} = 224\text{mm}$$

Velocidad absoluta en la entrada del difusor de aletas

$$c_2' = c_2 \frac{1}{\frac{D_2'}{D_2}}$$

$$c_2' = 304 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{1}{1.1}$$

$$c_2' = 276.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Temperatura y presión en la entrada del difusor de aletas

$$T_2' = T_2 + \frac{c_2^2 - (c_2')^2}{2000}$$

$$T_2' = 339.13^\circ\text{K} + \frac{\left(304 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(276.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2000}$$

$$T_2' = 347.14^\circ\text{K}$$

$$P_2' = P_2 \left(\frac{T_2'}{T_2}\right)^{\frac{n_2'}{n_2'-1}}$$

Adoptamos  $n_2' = 1.8$  (se recomienda 1.8 – 2.0)



$$P_2' = 1.09 \text{ bar} \left( \frac{347.14^\circ\text{K}}{339.13^\circ\text{K}} \right)^{\frac{1.8}{1.8-1}}$$

$$P_2' = 1.15 \text{ bar}$$

El número de Mach en la entrada del difusor de aletas

$$M_2' = \frac{c_2'}{20.1\sqrt{T_2}}$$

$$M_2' = \frac{276.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20.1\sqrt{339.13^\circ\text{K}}}$$

$$M_2' = 0.75$$

Parámetros en la salida del difusor de aletas

Adoptamos:

$$b_2' = b_2 = 7.3 \text{ mm}$$

$$\frac{b_3}{b_2'} = 1.2; \quad b_3 = 1.2 * b_2 = 1.2 * 7.3 = 9 \text{ mm}$$

$$\alpha_2' = \alpha_2 = 20^\circ 45'$$

$$\alpha_3 - \alpha_2' = 12 - 18^\circ = 15^\circ 15'$$

$$\alpha_3 = 15^\circ 15' + \alpha_2' = 15^\circ 15' + 20^\circ 45' = 36^\circ$$

$$\frac{D_3}{D_2} = 1.45 \quad (\text{se recomienda } 1.3 - 1.5)$$

Índice politrópico

$$n_3 = 1.6 \quad (\text{se recomienda } 1.6 - 1.8)$$



Diámetro en la salida del difusor de aletas

$$D_3 = D_2 \frac{D_3}{D_2}$$

$$D_3 = 203mm * 1.45 = 294mm$$

Determinamos la temperatura  $T_3$  y la velocidad en la salida del difusor de aletas  $c_3$ ;

se tiene las siguientes ecuaciones:

$$\frac{c_3}{c_2'} = \frac{D_2' \sin \alpha_2'}{D_3 \sin \alpha_3} \left( \frac{T_2'}{T_3} \right)^{\frac{1}{n_3-1}} \frac{b_2'}{b_3}$$

$$(c_2')^2 + 2000 T_2' = c_3^2 + 2000 T_3$$

$$c_3 = \frac{224mm}{294mm} * \frac{\sin 20^\circ 45'}{\sin 36^\circ} * \left( \frac{347.14^\circ K}{T_3} \right)^{\frac{1}{1.6-1}} * \frac{7.3 mm}{9mm} * 276.4 \frac{m}{s}$$

$$c_3 = 0.7619 * 0.6023 * \left( \frac{347.14^\circ K}{T_3} \right)^{1.67} * 0.81 * 276.4 \frac{m}{s}$$

$$c_3 = 102.74 \left( \frac{347.14^\circ K}{T_3} \right)^{1.67}$$

$$(c_2')^2 + 2000 T_2' = c_3^2 + 2000 T_3$$

$$c_3^2 + 2000 T_3 = \left( 276.4 \frac{m}{s} \right)^2 + 2000 * 347.14^\circ K$$

$$c_3^2 + 2000 T_3 = 770676$$

Finalmente:

$$T_3 = 380^\circ K$$



$$c_3 = 103 \frac{m}{s}$$

La presión en la salida de aletas

$$P_3 = P_2' \left( \frac{T_3}{T_2'} \right)^{\frac{n_3}{n_3-1}}$$

$$P_3 = 1.15 \text{ bar} \left( \frac{380^\circ K}{347.14^\circ K} \right)^{\frac{1.6}{1.6-1}}$$

$$P_3 = 1.46 \text{ bar}$$

Parámetros en la salida de la voluta del compresor

Adoptamos:

Velocidad en la salida de la voluta  $c_4 = 60 \frac{m}{s}$

Índice politrópico  $n_4 = 1.8$

$$T_4 = T_3 + \frac{c_3^2 - c_4^2}{2000}$$

$$T_4 = 380^\circ K + \frac{\left(103 \frac{m}{s}\right)^2 - 60^2}{2000}$$

$$T_4 = 384^\circ K$$

$$P_4 = P_3 \left( \frac{T_4}{T_3} \right)^{\frac{n_4}{n_4-1}}$$

$$P_4 = 1.46 \text{ bar} \left( \frac{384^\circ K}{380^\circ K} \right)^{\frac{1.8}{1.8-1}}$$



$$P_4 = 1.54 \text{ bar}$$

$$P_4' = P_3 \left( \frac{T_4'}{T_3} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$P_4' = 1.46 \text{ bar} \left( \frac{379.4^\circ K}{380^\circ K} \right)^{\frac{1.4}{1.4-1}}$$

$$P_4' = 1.51 \text{ bar}$$

$$T_4' = T_2' = T_k' = 379.4^\circ K$$

Parámetros principales del compresor

El grado de elevación de presión:

$$\pi_c' = \frac{P_4'}{P_1'}$$

$$\pi_c' = \frac{1.51 \text{ bar}}{0.59 \text{ bar}}$$

$$\pi_c' = 2.56$$

$$\pi_c = \frac{P_4}{P_1'}$$

$$\pi_c = \frac{1.54 \text{ bar}}{0.59 \text{ bar}}$$

$$\pi_c = 2.61 \text{ bar}$$

La magnitud de  $\pi_c'$  es mayor que la necesaria

Rendimiento del compresor



$$\eta_c' = \frac{\pi_c'^{0.286} - 1}{\frac{T_4'}{T_1} - 1}$$

$$\eta_c' = \frac{(2.56)^{0.286} - 1}{\frac{379.4^\circ K}{286^\circ K} - 1}$$

$$\eta_c' = 0.94$$

$$\eta_c = \frac{\pi_c^{0.286} - 1}{\frac{T_4'}{T_1} - 1}$$

$$\eta_c = \frac{(2.61)^{0.286} - 1}{\frac{379.4^\circ K}{286^\circ K} - 1} = 0.95$$

Coeficiente de empuje

$$\bar{H}' = \frac{W_{ad}'}{\frac{U_2^2}{g}}$$

$$W^*_{ad} = \frac{1.4}{1.4 - 1} * 0.287 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ K} * 286 \cdot ^\circ K * \left( 2.56^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1 \right)$$

$$W^*_{ad} = 88.61 \frac{KJ}{kg}$$

Convirtiendo a kgm/kg

$$88.61 \frac{KJ}{kg} = 88.61 \frac{KNm}{kg} * 101.97 \frac{kgm}{KN \cdot kg} = 9035.89 \frac{kgm}{kg}$$

$$\bar{H}' = \frac{9035.89 \frac{kgm}{kg}}{\frac{\left( 316 \frac{m}{s} \right)^2}{9.81 \frac{m}{s^2}}} = 0.89$$



Si se consideró anteriormente  $\bar{H}' = 0.7$ ; determinamos el nuevo valor de  $U_2$

Por consiguiente, se puede disminuir

$$U_2 = 316 \frac{m}{s} \sqrt{\frac{0.7}{0.89}}$$

$$U_2 = 281 \frac{m}{s}$$

La frecuencia de rotación del compresor

$$n_c = \frac{60U_2}{\pi D_2}$$

$$n_c = \frac{60 * 281 \frac{m}{s}}{3.1416 * 0.203 m} = 26437 \text{ rpm}$$

Para esta frecuencia de rotación y la velocidad tangencial el compresor tendrá los siguientes parámetros

$$\pi'_c = 2.56; \quad \pi_c = 2.61 \text{ bar}; \quad \eta'_c = 0.94; \quad \eta_c = 0.95$$

#### **4.2.7. Cálculo de la turbina a gas**

La relación entre el caudal del gas en la turbina y el caudal de aire en el compresor (despreciamos las fugas)

$$\frac{G_g}{G_a} = 1 + \frac{1}{\alpha L_0} = 1 + \frac{1}{1.4 * 14.7} = 1.048$$

Temperatura del aire en la salida del compresor



$$T_c' = T_4' = T_1' \left( 1 + \frac{\pi_c'^{0.286} - 1}{\eta_c'} \right)$$

$$T_c' = T_4' = 286^\circ K \left( 1 + \frac{(2.56)^{0.286} - 1}{0.94} \right)$$

$$T_c' = T_4' = 380^\circ K$$

Temperatura del gas en la entrada de la turbina ( $T_g'$ )

Capacidad calorífica media del gas (previamente adoptamos la temperatura del gas  $T_g' = 1000^\circ K$ )

$$C_{p_r} = 0.234 + \frac{0.035 T_g'}{1000 \sqrt{\alpha \varphi_b}}$$

$$C_{p_r} = 0.234 + \frac{0.035 * 1000^\circ K}{1000 \sqrt{1.4 * 1.1}}$$

$$C_{p_r} = 0.262 \frac{kcal}{Kg \text{ gr}}$$

$$T_g' = T_0' = \frac{C_{p_a}}{C_{p_r}} \frac{1}{\frac{G_g}{G_a}} T_c' + \frac{H_u(1 - \eta_i - \psi_p)}{\alpha \varphi_b L_0 C_p \frac{G_g}{G_a}}$$

Si  $C_{p_a} = 0.24 \frac{kcal}{kg \text{ gr}}$  y Adoptamos la magnitud  $\psi_p = 0.165$  (se recomienda 0.15 – 0.20)

$$T_g' = T_0' = \frac{0.24 \frac{kcal}{kg \text{ gr}}}{0.262 \frac{kcal}{kg \text{ gr}}} * \frac{1}{1.048} * 380^\circ K + \frac{10250 \frac{kcal}{kg} (1 - 0.45 - 0.165)}{1.4 * 1.1 * 14.7 * 0.262 \frac{kcal}{Kg \text{ gr}} * 1.048}$$

$$T_g' = T_0' = 968^\circ K$$

Grado de disminución de la presión en la turbina



$$1 - \frac{1}{\pi_t^{0.25}} = \frac{102.5}{118} \frac{T_1'}{T_g'} \frac{\pi_c'^{0.286} - 1}{\eta_c' \eta_t \eta_{mtc}} \frac{1}{\frac{G_g}{G_a}}$$

$$1 - \frac{1}{\pi_t^{0.25}} = \frac{102.5}{118} * \frac{286^\circ K}{968^\circ K} * \frac{(2.56)^{0.286} - 1}{0.94 * 0.81 * 0.95} * \frac{1}{1.048}$$

$$1 - \frac{1}{\pi_t^{0.25}} = 0.11$$

$$\pi_t = \left( \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{\pi_t^{0.25}}\right)} \right)^4$$

$$\pi_t = \left( \frac{1}{1 - (0.11)} \right)^4 = 1.6$$

El trabajo y la velocidad adiabático en la turbina:

$$W_{ad} = \frac{k}{k-1} R T_0' \left(1 - \frac{1}{\pi_t^{0.25}}\right)$$

$$W_{ad} = \frac{1.33}{1.33-1} 29.3 \frac{kgm}{kg \text{ } ^\circ K} * 968^\circ K * (0.11)$$

$$W_{ad} = 12565 \frac{kgm}{kg}$$

$$c_{ad} = \sqrt{2gW_{ad}}$$

$$c_{ad} = \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} * 12565 \frac{kgm}{kg}}$$

$$c_{ad} = 497 \frac{m}{s}$$



La relación  $\frac{U}{c_{ad}}$  en la turbina

Adoptamos el grado de reacción  $\rho = 0.3$  (se recomienda 0.2 – 0.45)

$$\frac{U}{c_{ad}} = 0.42 + 0.35\rho$$

$$\frac{U}{c_{ad}} = 0.42 + 0.35 * 0.3$$

$$\frac{U}{c_{ad}} = 0.525$$

Velocidad tangencial en el diámetro medio de la turbina

$$U = \frac{U}{c_{ad}} c_{ad}$$

$$U = 0.525 * 497 \frac{m}{s} = 261 \frac{m}{s}$$

Las velocidades reducidas en la salida de la caja de tobera

$$\lambda_{ad} = \frac{c_{ad}}{a_{cr4}} = \frac{c_{ad}}{18.1\sqrt{T_0'}}$$

$$\lambda_{ad} = \frac{497 \frac{m}{s}}{18.1\sqrt{968 \text{ } ^\circ K}}$$

$$\lambda_{ad} = 0.88$$

$$\lambda_{c_{1t}} = \lambda_{ad}\sqrt{1 - \rho}$$

$$\lambda_{c_{1t}} = 0.88 * \sqrt{1 - 0.3}$$

$$\lambda_{c_{1t}} = 0.74$$



Adoptamos el coeficiente de velocidad en la salida de la caja de tobera

$$\lambda_{c_1} = \varphi \lambda_{ad} \sqrt{1 - \rho} = \varphi \lambda_{c_{1t}}$$

$$\lambda_{c_1} = \varphi \lambda_{c_{1t}} = 0.96 * 0.74$$

$$\lambda_{c_1} = 0.71$$

$$c_1 = \lambda_{c_1} a_{cr_1}$$

$$c_1 = \lambda_{c_1} 18.1 \sqrt{T_0'}$$

$$c_1 = 0.71 * 18.1 \sqrt{968 \text{ } ^\circ K}$$

$$c_1 = 400 \frac{m}{s}$$

Al saber las magnitudes  $\lambda_{c_1}$  y  $\lambda_{c_{1t}}$  en las tablas de las funciones gasodinámicas

hallamos:

$$\pi(\lambda_{c_1}) = \frac{P_1'}{P_1} = 0.7419$$

$$\pi(\lambda_{c_{1t}}) = 0.7223$$

$$M_{c_1} = \frac{c_1}{a} = 0.6826$$

$$\tau(\lambda_{c_1}) = \frac{T_1}{T_1'} = 0.9286$$

$$q(\lambda_{c_1}) = 0.9011$$

La presión en la entrada de la caja de la tobera



$$P_0' = P_0 \pi_t$$

$$P_0' = 0.62 \text{ bar} * 1.6$$

$$P_0' = 1 \text{ bar}$$

Presión estática en la salida de la turbina

$$P_2 = \frac{P_0}{\sigma_s}$$

$$P_2 = \frac{0.62 \text{ bar}}{0.95}$$

$$P_2 = 0.65 \text{ bar}$$

Parámetros del flujo en la salida de la caja de tobera

$$P_1 = P_0' \pi(\lambda_{c_{1t}})$$

$$P_1 = 1 \text{ bar} * 0.7223$$

$$P_1 = 0.7223 \text{ bar}$$

$$P_1' = \frac{P_1}{\pi(\lambda_{c_1})}$$

$$P_1' = \frac{0.7223 \text{ bar}}{0.7419}$$

$$P_1' = 0.97 \text{ bar}$$

$$T_1 = T_0' \tau(\lambda_{c_1})$$

$$T_1 = 968^\circ K * 0.9286$$



$$T_1 = 899 \text{ }^\circ\text{K}$$

Las componentes acial y tangencial de la velocidad en la salida de la caja de tobera

Elegimos el  $\alpha_1 = 18^\circ$ ;  $\sin \alpha_1 = 0.308$ ;  $\cos \alpha_1 = 0.950$

$$\lambda_{c_{1u}} = \lambda_{c_1} \cos \alpha_1 = 0.71 * 0.950 = 0.675$$

$$\lambda_{c_{1a}} = \lambda_{c_1} \sin \alpha_1 = 0.71 * 0.308 = 0.219$$

$$M_{c_{1a}} = M_{c_1} \sin \alpha_1 = 0.6826 * 0.308 = 0.210$$

Ángulo de entrada del flujo en los álabes del trabajo

$$\tan \beta_1 = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1 - \frac{U}{c_1}}$$

$$\tan \beta_1 = \frac{0.308}{0.950 - \frac{261 \frac{m}{s}}{400 \frac{m}{s}}} = 1.05$$

$$\beta_1 = 46.74^\circ; \sin \beta_1 = 0.724; \cos \beta_1 = 0.6896$$

Velocidad relativa del flujo en la entrada de los alabes de trabajo

$$M_{w_1} = \frac{M_{c_{1a}}}{\sin \beta_1}$$

$$M_{w_1} = \frac{0.210}{0.724} = 0.29$$

Al saber  $M_{w_1}$  por las tablas de funciones gasodinámicas determinamos:



$$\lambda_{w_1} = 0.31$$

$$\tau(\lambda_{w_1}) = 0.9864$$

$$\pi(\lambda_{w_1}) = 0.9463$$

$$q(\lambda_{w_1}) = 0.4724$$

Temperatura total de los alabes de trabajo

$$T_{w_1}' = \frac{T_1}{\tau(\lambda_{w_1})}$$

$$T_{w_1}' = \frac{899^\circ K}{0.9864} = 911^\circ K$$

La velocidad relativa del flujo en la entrada de los alabes de trabajo:

$$w_1 = \lambda_{w_1} 18.1 \sqrt{T_{w_1}'}$$

$$w_1 = 0.31 * 18.1 \sqrt{911^\circ K}$$

$$w_1 = 169 \frac{m}{s}$$

Grado de disminución en los alabes de trabajo

Presión total en los alabes de trabajo

$$P_{w_1}' = \frac{P_1}{\pi(\lambda_{w_1})}$$

$$P_{w_1}' = \frac{0.7223 \text{ bar}}{0.9463}$$

$$P_{w_1}' = 0.76 \text{ bar}$$

$$\pi_{al} = \frac{P_2}{P_{w_1}'}$$



$$\pi_{al} = \frac{0.65 \text{ bar}}{0.76 \text{ bar}}$$

$$\pi_{al} = 0.86$$

Según las tablas de las funciones gasodinámicas y en función  $\pi_{al}$ : si el coeficiente de velocidad de los alabes  $\psi = 0.95$

$$\lambda_{w_{2t}} = \lambda(\pi_{al}) = 0.51$$

$$\lambda_{w_2} = \psi \lambda_{2t} = 0.95 - 0.51 = 0.44$$

$$\pi(\lambda_{w_2}) = 0.8940$$

$$\tau(\lambda_{w_2}) = 0.9726$$

$$q(\lambda_{w_2}) = 0.6425$$

Temperatura en la salida del rodete

$$T_2 = T'_{w_2} \tau(\lambda_{w_2})$$

$$\text{Si } T'_{w_1} = T'_{w_2} = 911^\circ K$$

$$T_2 = 911^\circ K * 0.9726$$

$$T_2 = 886^\circ K$$

Velocidad de sonido en la salida de los álabes de trabajo

$$a_2 = \sqrt{k g R T_2}$$

$$a_2 = \sqrt{1.33 * 9.81 \frac{m}{s^2} * 29.3 \frac{Kg \cdot m}{kg \cdot ^\circ K} * 886^\circ K}$$

$$a_2 = 582 \frac{m}{s}$$



Numero de mach en la salida de los alabes de trabajo

$$M_{2U} = \frac{U}{a_2}$$

$$M_{2U} = \frac{261 \frac{m}{s}}{582 \frac{m}{s}} = 0.37$$

Adoptamos el ángulo de salida del flujo de los álabes  $\beta_2$

$$\beta_2 = 25^\circ; \quad \sin \beta_2 = 0.421; \quad \cos \beta_2 = 0.905$$

Entonces:

$$M_{c2a} = M_{w_2} \sin \beta_2 = 0.4134 * 0.421 = 0.17$$

$$M_{c2U} = M_{w_2} \cos \beta_2 - M_{2U} = 0.4134 * 0.905 - 0.37 = 0.0062$$

Angulo de salida del flujo de los álabes de trabajo en el movimiento absoluto  $\alpha_2$

$$\tan \alpha_2 = \frac{M_{c2a}}{M_{c2U}} = \frac{0.17}{0.0062} = 27.42$$

$$\alpha_2 = 1.93^\circ; \quad \sin \alpha_2 = 0.34; \quad \cos \alpha_2 = 0.999$$

Velocidades absoluta y relativa en la salida de los álabes de trabajo

$$M_{c_2} = \frac{M_{c2a}}{\sin \alpha_2} = \frac{0.17}{0.34} = 0.5$$

Al saber la magnitud  $M_{c_2}$

$$\lambda_{c_2} = 0.53$$

$$\tau(\lambda_{c_2}) = 0.9602$$

$$\pi(\lambda_{c_2}) = 0.8491$$

$$q(\lambda_{c_2}) = 0.7445$$



Temperatura en la salida de los alabes de trabajo

$$T_2' = \frac{T_2}{\tau(\lambda_{c_2})}$$

$$T_2' = \frac{886^\circ K}{0.9602} = 922.72^\circ K$$

La velocidad relativa en la salida de los alabes de trabajo:

$$w_2 = \lambda_{w_2} 18.1 \sqrt{T_{w_2}'}$$

$$w_2 = 0.53 * 18.1 \sqrt{911^\circ K} = 290 \frac{m}{s}$$

La velocidad absoluta en la salida de los alabes de trabajo

$$c_2 = \lambda_{c_2} 18.1 \sqrt{T_2'}$$

$$c_2 = 0.53 * 18.1 \sqrt{922.72^\circ K} = 291^\circ K$$

Grado de disminución de la presión en la turbina según los parámetros de frenado

$$\pi_t' = \pi_t \pi(\lambda_{c_2})$$

$$\pi_t' = 1.6 * 0.8491$$

$$\pi_t' = 1.36$$

Rendimiento de la turbina

a) El rendimiento de la holgura radial para la holgura radial relativa  $\frac{\delta}{l} = 0.02$

$$\eta_j = 1 - 1.5 \frac{\delta}{l}$$



$$\eta_j = 1 - 1.5 * 0.02$$

$$\eta_j = 0.97$$

b) El rendimiento de la turbina en la periferia del rodete

$$\eta_{u'} = \frac{1 - \frac{T_2'}{T_0'}}{1 - \frac{1}{\pi_t'^{0.25}}}$$

$$\eta_{u'} = \frac{1 - \frac{922.72 \text{ }^\circ\text{K}}{968 \text{ }^\circ\text{K}}}{1 - \frac{1}{1.36^{0.25}}}$$

$$\eta_{u'} = 0.71$$

$$\eta_u = \frac{1 - \frac{T_2'}{T_0'}}{1 - \frac{1}{\pi_t^{0.25}}}$$

$$\eta_u = \frac{1 - \frac{922.72 \text{ }^\circ\text{K}}{968 \text{ }^\circ\text{K}}}{0.11}$$

$$\eta_u = 0.6$$

c) Rendimiento adiabático

$$\eta_{ad} = \frac{1 - \frac{886 \text{ }^\circ\text{K}}{968 \text{ }^\circ\text{K}}}{0.11}$$

$$\eta_{ad} = 0.73$$

d) Rendimiento interno

$$\eta_t = \eta_u \eta_j$$

$$\eta_t = 0.6 * 0.97$$

$$\eta_t = 0.67$$

e) Rendimiento según los parámetros de frenado

$$\eta_t' = \eta_{u'} \eta_j$$

$$\eta_t' = 0.71 * 0.97$$



$$\eta'_t = 0.69$$

Las áreas axiales en la salida de la caja de tobera y del rodete

$$F_1 = \frac{G_g \sqrt{T_1'}}{0.389 q (\lambda_{c_1}) P_1' \times 10^4 \sin \alpha_2}$$

Caudal de gas:  $G_g = G_a \frac{G_g}{G_a} = 0.08 * 1.048 = 0.09 \frac{kg}{s} * 1.5 = 0.14 \frac{kg}{s}$

$$G_g = 0.14 \frac{kg}{s}$$

$$F_1 = \frac{0.59 \frac{kg}{s} \sqrt{968^\circ K}}{0.389 * 0.9011 * 0.97 \times 10^4 * 0.308}$$

$$F_1 = 0.018 m^2$$

$$F_2 = \frac{G_g \sqrt{T_2'}}{0.389 q (\lambda_{c_2}) P_2' \times 10^4 \sin \alpha_2}$$

Presión total en la salida de la turbina

$$P_2' = \frac{P_0'}{\pi_t} = \frac{1 bar}{1.36} = 0.74 bar$$

$$F_2 = \frac{0.59 \frac{kg}{s} \sqrt{922.72^\circ K}}{0.389 * 0.7445 * 0.74 bar \times 10^4 * 0.34}$$

$$F_2 = 0.025 m^2$$

Diámetro medio de la turbina

$$D_m = \frac{60 U}{\pi n_t}$$



$$n_c = n_t = 26437 \text{ rpm}$$

$$D_m = \frac{60 * 261 \frac{m}{s}}{3.1416 * 26437 \text{ rpm}}$$

$$D_m = 0.19 \text{ m}$$

Altura de los alabes en la salida de la caja de tobera ( $l_1$ ) y en la salida del rodete ( $l_2$ )

$$l_1 = \frac{F_1}{\pi D_m}$$

$$l_1 = \frac{0.018 \text{ m}^2}{3.1416 * 0.19 \text{ m}}$$

$$l_1 = 0.03 \text{ m} = 30 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{F_2}{\pi D_m}$$

$$l_2 = \frac{0.025 \text{ m}^2}{3.1416 * 0.19 \text{ m}}$$

$$l_2 = 0.042 \text{ m} = 42 \text{ mm}$$

$$\frac{D_m}{l_2} = \frac{190\text{mm}}{42\text{mm}} = 4.5$$

Se recomienda 3.5 – 6

Esfuerzo de tracción en los alabes de trabajo debido a las fuerzas centrifugas

$$\sigma_t = 0.1k \frac{\gamma}{g} \frac{l_2}{D_m} U^2$$

$$\sigma_t = 0.1 * 1.4 * \frac{8.2 \frac{g}{cm^3}}{9.81 \frac{m}{s^2}} * \frac{1}{4.5} * \left(261 \frac{m}{s}\right)^2$$



$$\sigma_t = 1900 \frac{kg}{cm^2}$$

Peso específico del material del álabe (aleación E1437B)

$$\gamma = 8.2 \frac{g}{cm^3}$$

Coefficiente de la forma de sección del alabe

$$k = 1 + \frac{F_{per}}{F_r} = 1.4 \quad \left( \text{se recomienda } \frac{F_{per}}{F_r} = 0.4 - 0.8 \right)$$

Para la temperatura  $t_{al} = 638^\circ C$  el limite de resistencia del material elegido para

10000 horas de trabajo es igual a  $3500 \frac{kg}{cm^2}$

Coefficiente de seguridad para los alabes

$$ns = \frac{\sigma_1}{\sigma_t} = \frac{3500}{1900}$$

$$ns = 1.8$$

Se recomienda obtener  $ns = 1.3 - 1.8$

Potencia de la turbina

$$N_t = \frac{G_g W_{ad} \eta_t \eta_{mtc}}{75}$$

$$N_t = \frac{0.14 \frac{kg}{s} * 12565 \frac{kgm}{kg} * 0.7 * 0.95}{75}$$

$$N_t = 17 \text{ hp} = 13 \text{ kw}$$



## Potencia del motor a 3825 m.s.n.m.

$$N_h = N_m \frac{\rho_h}{\rho_{n.m.}}$$

Donde:

$N_h$ : Potencia del motor a 3825 m. s. n. m.

$N_m$ : Potencia nominal del motor a nivel del mar = 56kW

$\rho_h$ : Densidad del aire a 3825 m. s. n. m. =  $0.77 \frac{kg}{m^3}$

$\rho_{n.m.}$ : Densidad del aire a nivel del mar =  $1.225 \frac{kg}{m^3}$

$$N_h = 56 * \frac{0.77}{1.225}$$

$$N_h = 37 kW$$

## Potencia del motor sobrealimentado a 3825 m.s.n.m.

$$N_{m.s.} = N_t + N_h$$

Donde:

$N_{m.s.}$ : Potencia del motor sobrealimentado (con turbo) a 3825 m. s. n. m.

$N_t$ : Potencia de la turbina

$N_h$ : Potencia del motor sin turbo a 3825 m. s. n. m.

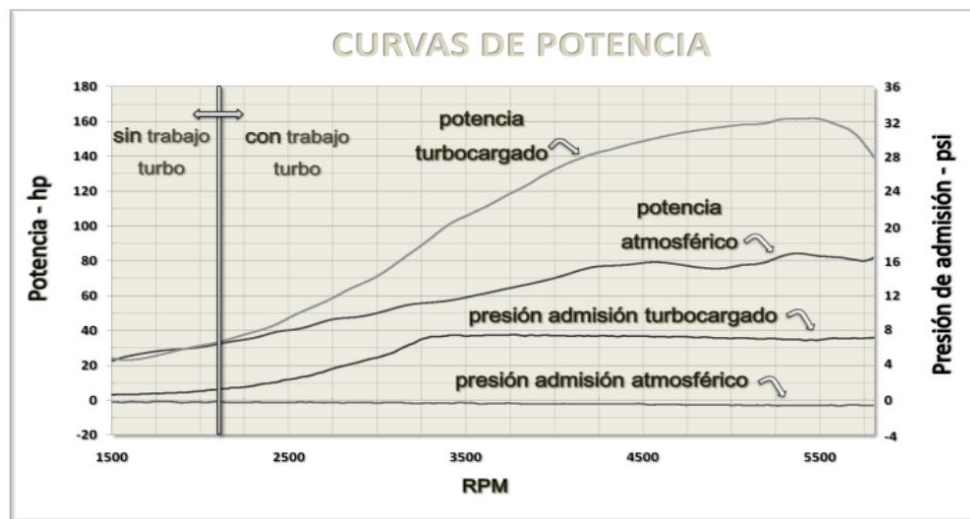
$$N_{m.s.} = 13 + 37$$

$$N_{m.s.} = 50 kW$$

La potencia del turbocompresor requerida para la adaptación, se tiene una potencia nominal del motor a nivel del mar es 56KW y trabajando a una altitud de 3825 metros es de 30%; se pierde 17 a 20 KW. La potencia según cálculo del turbocompresor es 50 KW, esto justifica la recuperación de potencia.

**Figura 7.**

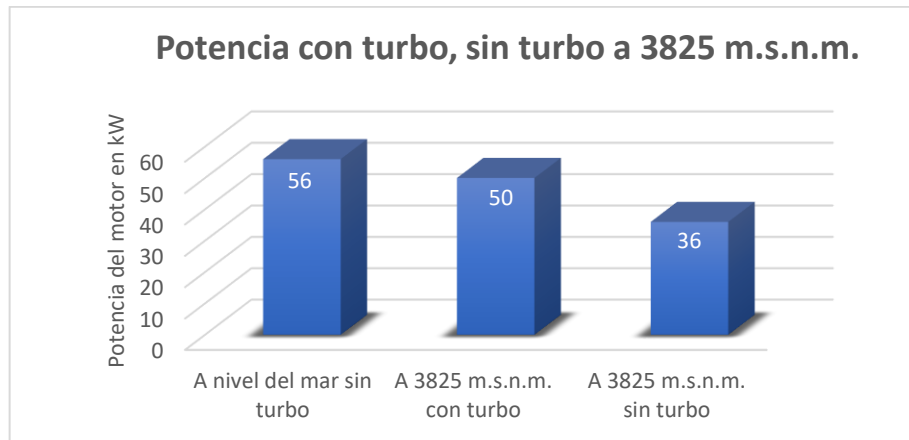
*Curvas de potencia y presión de admisión*



**Fuente:** (Rios & Gaviria, 2011)

**Figura 8.**

*Potencia con turbo, sin turbo a 3825 m.s.n.m.*



**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3. Discusión de resultados

La potencia del turbocompresor requerida para la adaptación, se tiene una potencia nominal del motor a nivel del mar es 56KW y trabajando a una altitud de 3825 metros es de 30%; se pierde 17 a 20 KW. La potencia del motor según cálculo con turbocompresor es 50 KW, esto justifica la recuperación de potencia

La operación de motores diésel en condiciones de gran altitud presenta reducciones significativas en la potencia efectiva debido a la menor densidad del aire. Según Heywood (2018), los motores atmosféricos pueden perder entre 3% y 4% de potencia por cada 300 m de elevación, lo que coincide con la caída observada antes de la instalación del turbocompresor. En esta investigación, el motor mostró una pérdida cercana al 25–30%, coherente con los valores teóricos y con los reportados por Ferguson & Kirkpatrick (2015), quienes señalan que a 3800 m la densidad del aire disminuye casi un 40%.



## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Se desarrolló la propuesta de adaptación de un turbocompresor a un motor diésel de aspiración natural de 2.4 litros de cilindrada con una potencia de 56 KW a una velocidad del motor de 4000 rpm para mejorar la pérdida de potencia en condiciones de altura

**SEGUNDA:** Se determinó los parámetros necesarios del motor como: la presión de sobrealimentación requerida 1.2 bar, condiciones de medio ambiente a 3825 metros sobre el nivel del mar, con estos datos iniciales se determinó los parámetros del compresor centrífugo

**TERCERA:** Se determinó los parámetros necesarios del turbocompresor como: relación de caudal de la turbina y compresor, temperatura del aire en la salida del compresor, temperatura del gas en la entrada de la turbina, grado de disminución de la presión de turbina, trabajo y velocidad adiabática de la turbina y otros parámetros necesarios.

**CUARTA:** La potencia del turbocompresor requerida para la adaptación, se tiene una potencia nominal del motor a nivel del mar es 56KW y trabajando a una altitud de 3825 metros es de 30%; se pierde 17 a 20 KW. La potencia del motor según cálculo con turbocompresor es 50 KW, esto justifica la recuperación de potencia



## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda todos los motores de aspiración natural que trabaja a altura requiere de adaptación de un turbocompresor para recuperar la potencia pérdida

**SEGUNDA:** Se recomienda para adaptación de turbocompresor realizar un cálculo de los parámetros del motor a adaptarse para saber con precisión el flujo de gas en el escape

**TERCERA:** Para seleccionar un turbocompresor a adaptarse a un motor diésel sin turbo. Se recomienda realizar un análisis justificativo para una mejor selección de capacidad del turbocompresor

**CUARTA:** Se recomienda mediante análisis se debe determinar la potencia del turbocompresor y luego comparar si satisface la pérdida de potencia por altitud de los motores de combustión interna



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvis, J. M., & Valdez, R. L. (2023). *Análisis de la deformación mecánica en la cámara de combustión de un motor convertido (GNV) de capacidad 1497cc.* Universidad Nacional del centro del Perú.
- Borda, F. R. (2009). *Análisis de los factores (mezcla aire combustible) que influyen sobre los parámetros efectivos de la toxicidad de un motor a inyección electrónica y dual (Gasolina GLP) en la Ciudad de Puno.* Universidad Nacional del Altiplano.
- Cofre, L. R. (2006). *Adaptación de un turbocargador VX29 IHI a un motor diésel Hino H07C de aspiración natural.* Universitat Politècnica del Ejército.
- Cordero, H. E. (2000). *Estudio para la instalación de un banco de pruebas para turbocompresores en motores diésel de uso automotriz.* Universidad Nacional de Ingeniería.
- Enriquez, L. E. (201). *Estudio termodinámico del motor Toyota turbo diésel modelo 2KD-FTV.* Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.
- Fernández, D. O. (2017). *Diseño de la adaptación de un turbocompresor a un motor a carburador de cuatro cilindros (Toyota 4A-F) para aumentar la presión media efectiva en la ciudad de La Paz.* Ecuador: Universidad Mayor de San Andrés.
- Huacalco, H. W. (2017). *Balance térmico experimental de funcionamiento de un motor de combustión interna diesel en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.* Universidad Nacional del Altiplano.
- Lastra, L., & Patrakhaltsev, N. (1998). *Un método alternativo de compensación de las pérdidas de potencia y economía de los motores diésel cuando funcionan en la altura.* Universidad Nacional de Ingeniería.



- Mudarra, J. (2018). *Diseño y análisis de un turbocompresor para un grupo de sobrealimentación de un motor alternativo*. Universidad de Sevilla.
- Peréz, J. (2023). *Adaptación y análisis de un turbocompresor en un motor diésel Nissan TD27 para aplicaciones agrícolas*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Quenta, E. J. (2017). (Universidad Técnica del Norte, 2012). *En su tesis titulada "Módulo didáctico del turbocompresor de geometría variable". Esta tesis desarrolla un módulo didáctico sobre el turbocompresor de geometría variable, explicando su funcionamiento y ventajas en la*. Universidad Nacional del Altiplano .
- Quispe, E. (2020). *Análisis termodinámico del motor Deutz BF4L914 en la selección de un enfriador de aire de carga al sistema de admisión*. Universidad Nacional del centro del Perú.
- Ramos, A. (2018). *Estudio y análisis experimental comparativo de los productos de la combustión de un motor gasolinero estacionario Brigg Stratton de 5 HP al nivel del mar (Ilo - Moquegua) y a 3827 metros sobre el nivel del mar (Puno)*. Universidad Nacional del Altiplano .
- Reséndiz, M. (2022). *Análisis de los efectos producidos en un motor turbo-diésel por falla de compresión en el turbocompresor*. Ecuador: Universidad Autónoma de Queretaro.
- Rios, L. C., & Gaviria, L. G. (2011). Sistematización del método de selección de un turbocompresor, en el diseño de un sistema turboalimentado usando mezclas etanol-gasolina. *Scientia Et Technica*, XVI(49), 30-36.  
<https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922625006>
- Ruiz, F. (2022). *Adaptación de un turbocompresor en un motor Toyota 1HZ para aplicaciones en transporte pesado*". Universidad Nacional de Ingeniería.



Velarde, G. (2023). *Análisis de la influencia de la altitud de Puno sobre la potencia efectiva de un motor de combustión interna otto de aspiración natural.*  
Universidad Nacional del Altiplano.



## ANEXOS



### Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><b>Problema General</b> ¿Cómo se puede proponer la adaptación de un turbocompresor a un motor diésel marca Toyota de aspiración natural para mejorar la potencia efectiva en la ciudad de Juliaca, 2025?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Proponer la adaptación de un turbocompresor a un motor diésel marca Toyota de aspiración natural para mejorar la potencia efectiva en la ciudad de Juliaca, 2025</p>	<p>Esta investigación se realiza porque los vehículos generalmente son fabricados a condiciones estándar, es decir, a nivel del mar. Por lo que en altitudes existe pérdida de potencia Esta investigación se realiza para mejorar o compensar la potencia perdida en condiciones de altura Esta investigación propone la adaptación del turbocompresor en el motor diésel de aspiración natural en la ciudad de Juliaca</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptación del turbocompresor</li> </ul> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Potencia efectiva del motor diésel</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Aplicativa</p> <p><b>Enfoque de investigación:</b> Mixto (cualitativo – cuantitativo)</p> <p><b>Población y muestra</b> <b>Población:</b> En la presente investigación se tiene como población los motores diésel de aspiración natura de la ciudad de Juliaca <b>Muestra:</b> En la presente investigación se tiene como muestra un motor diésel de aspiración natural de 2.4L</p>
<p><b>Problemas Específicos</b> P.E.1: ¿Cuáles son los parámetros del motor diésel de aspiración natural en la ciudad de Juliaca?</p> <p>P.E.2: ¿Cuál es el turbocompresor adecuado para la adaptación al motor diésel marca Toyota en la ciudad de Juliaca?</p> <p>P.E.3: ¿Cuánto es la mejora de la potencia efectiva del motor diésel marca Toyota en la ciudad de Juliaca?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b> O.E.1: Determinar los parámetros del motor diésel de aspiración natural en la ciudad de Juliaca</p> <p>O.E.2: Seleccionar el turbocompresor adecuado para la adaptación al motor diésel marca Toyota en la ciudad de Juliaca</p> <p>O.E.3: Determinar la mejora de la potencia efectiva del motor diésel marca Toyota en la ciudad de Juliaca</p>			



## ANEXO 1 FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

### AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega:      / 11 / 2025

#### 1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: FREDY GONZALO GALLEGOS CHAIÑA

Dirección: Jr. Víctor Velasquez N°167 - Juliaca

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 72883447

Teléfono: 951628905 email: gonzalogc212@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Asesor: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR A UN MOTOR MARCA  
TOYOTA DE ASPIRACIÓN NATURAL PARA MEJORAR LA POTENCIA EFECTIVA  
EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): Turbocompresor, Potencia efectiva, Motor diésel

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1, 2</sup>?  
2

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



## 2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

## 3. Licencias:

### a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- No autorizo.

### b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



### Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA – P18

Firma de Autor



huella digital

- NOVIEMBRE - 2025

Fecha