



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TEMA:

EVALUACIÓN DEL EMPUJE DE UN MOTOR DE REACCIÓN CONSTRUIDO A  
PARTIR DE UN TURBO CARGADOR DE UN MOTOR DE ENCENDIDO POR  
COMPRESIÓN.

AUTORES: ERICK SEBASTIAN MONTENEGRO REYES

JOSÉ DAVID TUGUMBANGO CABASCANGO

DIRECTOR: ING. ERIK PAUL HERNANDEZ RUEDA MSc.

IBARRA, 2022

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "EVALUACIÓN DEL EMPUJE DE UN MOTOR DE REACCIÓN CONSTRUIDO A PARTIR DE UN TURBO CARGADOR DE UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN." presentado por los señores: Montenegro Reyes Erick Sebastian con número de cédula 1004003669 y Tugumbango Cabascango José David con número de cédula 103974399, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 04 días del mes de enero del 2021

Atentamente

**ERIK PAUL  
HERNANDEZ  
RUEDA**

Firmado digitalmente por  
ERIK PAUL HERNANDEZ  
RUEDA  
Fecha: 2022.01.05  
17:39:34 -05'00'

Ing. Erik Paul Hernández Rueda Msc.

**DIRECTRO DEL TRABAJO DE GRADO**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004003669		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Montenegro Reyes Erick Sebastian		
DIRECCIÓN:	Princesa Paccha y Tupac Yupanqui - Ibarra		
EMAIL:	esmontenegror@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2 650 091	TELÉFONO MÓVIL:	0994968788

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003974399		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Tugumbango Cabascango José David		
DIRECCIÓN:	Flores Vásquez y 16 de julio - Natabuela		
EMAIL:	jdtugumbangoc@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2 535 206	TELÉFONO MÓVIL:	0981325193

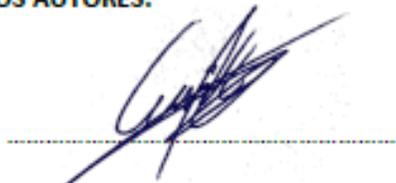
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	TEMA: EVALUACIÓN DEL EMPUJE DE UN MOTOR DE REACCIÓN CONSTRUIDO A PARTIR DE UN TURBO CARGADOR DE UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN
AUTOR (ES):	Montenegro Reyes Erick Sebastian, Tugumbango Cabascango José David
FECHA:	10/01/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.

## 2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de enero de 2022

### LOS AUTORES:



MONTENEGRO REYES ERICK SEBASTIAN  
1004003669.



TUGUMBANGO CABASCANGO JOSÉ DAVID  
1003974399

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado a mis padres, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica como de vida. Fueron quienes me enseñaron el valor de la perseverancia, el sacrificio del trabajo duro, el deseo de salir adelante, por apoyarme en los momentos más difíciles y porque finalmente todos sus esfuerzos se ven reflejados al culminar esta etapa de mi vida.

A mis tías quienes contribuyeron compartiendo su conocimiento, sus experiencias y aportaron valores para mi formación ética, profesional, personal y por incentivarme en cada momento para que consiga el objetivo que me he planteado desde que inicié mi vida universitaria.

A mi novia Cris y su familia, por estar siempre pendientes de mí, por su cariño, su apoyo y sobre todo comprensión.

**Erick Sebastian Montenegro Reyes**

Este logro conseguido se lo dedico a mis amados padres Jorge Tugumbango y Rosa Cabascango, pues siempre estuvieron apoyándome, ya sea en los buenos y malos momentos que pasé durante mi vida; tanto cotidiana como estudiantil, enseñándome el valor de la perseverancia, a no decaer durante los malos momentos de mi vida, a cumplir con mis objetivos trazados, en especial éste, su esfuerzo y trabajo duro me han sido gratificantes siendo éste el resultado.

A mi amada hija Angela Tugumbango, por ser mi fuente de motivación e inspiración para mi superación.

A mi amada esposa Jessica Moreta, por su cariño y comprensión, motivándome cada instante a conseguir mi objetivo profesional, apoyándome en mis tareas diarias como cabeza de hogar, e incentivándome a ser día a día mejor persona.

**José David Tugumbango Cabascango**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primero a Dios por bendecirme cada día y haberme brindado salud, vida, por guiarme para escoger esta grandiosa carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz y por la gran oportunidad de culminar esta difícil pero gratificante etapa de mi vida.

A mis padres Wilson y Ximena por haberme brindado su apoyo de manera incondicional durante toda la vida, siendo un ejemplo de esfuerzo y perseverancia, lo que me permitió esforzarme cada día para no defraudarlos.

A toda mi familia por incentivar me para que consiga el objetivo que me he planteado desde que inicié mi vida universitaria, por haberme dado el aliento para que me forme académicamente, por haberme inculcado valores que me permiten escalar este peldaño, por todos sus consejos, frases de ánimo y apoyo, que me sirvieron para seguir y poder culminar una etapa más de enseñanza.

A la Universidad técnica del Norte, en especial a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, que me brindó la oportunidad de cristalizar mi anhelo de superación profesional, a mis distinguidos maestros de la carrera y en especial al tutor y opositores de este trabajo de investigación Ing. Paúl Hernández MSc., Ing. Jorge Melo MSc. e Ing. Carlos Mafla MSc., por su guía permanente a lo largo de la realización del mismo.

**Erick Sebastian Montenegro Reyes**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme vida y salud y en especial la oportunidad de haber iniciado en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, hoy en día mi profesión; por las caídas que me han servido para aprender y levantarme cada vez más fuerte y con ganas de superarme tanto académicamente como en la vida cotidiana.

A mis padres, pues su apoyo incondicional nunca faltó y es por ellos y para ellos este título, pues su orgullo y sonrisa para mí es lo más gratificante.

A mi esposa e hija por comprenderme cuando no podía estar con ellas, por ser la fuente que me motiva día a día ser mejor persona y ahora un mejor profesional, por estar junto a mí en momentos buenos y malos de mi vida

A la Universidad Técnica del Norte, en especial a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas por permitirme formarme en sus aulas como un profesional más. A mis docentes de carrera a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, en especial a mi tutor y opositores, ya que gracias a su paciencia, valores y principios han forjado en mí las ganas de superación.

**José David Tugumbango Cabascango**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	xxi
<b>INTRODUCCIÓN</b>	xxiii
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>1.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Justificación	1
1.3 Alcance	2
1.4 Turbomáquinas	3
1.4.1 Clasificación	3
1.5 Ecuación de euler	5
1.6 Fuerza de empuje horizontal en superficies planas	10
1.7 Antecedentes del motor de reacción	11
1.8 Descripción y campo de aplicación del motor a reacción	13
1.9 Tipos de motor a reacción	14
1.9.1 Turborreactor	14
1.9.2. Turboventilador	15
1.9.3. Turbohélice	17

1.9.4. Motor cohete	19
1.10 Combustible que se usa en los motores de reacción	20
1.11 Proceso de encendido	20
1.12 Componentes básicos de un turborreactor	20
1.12.1 Difusor de admisión	21
1.12.2 Compresores	22
1.12.3 Cámara de combustión	23
1.12.4 Turbina	24
1.12.5 Tobera de escape	24
1.12.6 Sistemas auxiliares	25
1.12.7 El turbo cargador	28
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>31</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.</b>	<b>31</b>
2.1 Materiales	31
2.1.1 Cortadora plasma	31
2.1.2 Torno	32
2.1.3 Tronzadora	33
2.1.4 Soldadora	34
2.1.5 Turbo	35
2.1.6 Cámara de combustión	36
2.1.7 Camisa	36

2.1.8 Difusor de aire	37
2.1.9 Bases	38
2.1.10 Tubo de admisión	39
2.1.11 Tobera de escape	40
2.1.12 Bomba hidráulica	41
2.1.13 Radiador de aceite	42
2.1.14 Bomba de agua	43
2.1.15 Radiador de agua	44
2.1.16 Mangueras de baja presión	45
2.1.17 Manguera de alta presión	46
2.1.18 Batería	47
2.1.19 Inversor de corriente	48
2.1.20 Módulo de chispa	48
2.1.21 Bujía	49
2.1.22 Tanque de gas	50
2.1.23 Soplador	51
2.1.24 Tacómetro digital	52
2.1.25 Balanza digital	53
2.2 Metodología de la investigación	54
2.2.1 Tipo de investigación	54
2.2.2 Flujograma.	55
2.2.3 Construcción de la cámara de combustión	56

2.2.4 Selección del vehículo y construcción de las bases del motor de reacción	59
2.2.5 Ubicación de los sistemas auxiliares del motor de reacción	59
2.2.6 Instalación de manómetros	62
2.2.7 Construcción de la tobera de escape.	62
2.2.8 Análisis del empuje del motor de reacción.	63
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>65</b>
<b>3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>65</b>
3.1 Datos obtenidos en las pruebas de empuje y su análisis correspondiente.	65
3.1.1 Explicación general del turbo	67
3.2 Curva característica de empuje del motor de reacción.	67
3.3 Cálculo del empuje necesario para obtener un movimiento	69
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>70</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>70</b>
4.1 Conclusiones	70
4.2 Recomendaciones.	71
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>76</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>TABLA NÚM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
2.1	Especificaciones cortadora plasma	31
2.2	Especificaciones Torno	32
2.3	Especificaciones Torno	34
2.4	Especificaciones tipo de soldadura	35
2.5	Especificaciones Turbo	36
2.7	Especificaciones tubo camisa	37
2.8	Especificaciones tubo difusor	38
2.9	Especificaciones plancha de acero	39
2.10	Especificaciones tubo de admisión	40
2.11	Especificaciones tobera de escape	41
2.12	Especificaciones bomba eléctrica	42
2.13	Especificaciones radiador de aceite	43
2.14	Especificaciones bomba eléctrica sumergible	44
2.15	Especificaciones radiador de agua	45
2.16	Especificaciones manguera baja presión	46
2.17	Especificaciones manguera alta presión	47

<b>2.18</b> Especificaciones batería	47
<b>2.19</b> Especificaciones inversor de corriente	48
<b>2.20</b> Especificaciones módulo de chispa	49
<b>2.21</b> Especificaciones bujía	50
<b>2.22</b> Especificaciones tanque de gas	51
<b>2.23</b> Especificaciones soplador	51
<b>2.24</b> Especificaciones tacómetro digital	52
<b>2.25</b> Especificaciones balanza digital	53
<b>3.1</b> Resultados de las pruebas	66
<b>3.2</b> Media aritmética	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>NÚM</b>		
1.1	Clasificación de las Turbomáquinas	4
1.2	Triangulo de velocidades	5
1.3	Corte transversal de la bomba	6
1.4	Triángulo de Velocidades	7
1.5	Triángulo de velocidad de entrada	7
1.6	Triángulo de velocidad de salida	8
1.7	Triángulos de velocidades ecuación de Euler	8
1.8	Esquema de la fuerza de empuje horizontal	10
1.9	Patente Lorin's 1908	11
1.10	Patente Lorin's 1913	12
1.11	Patente Guillaume 1921	12
1.12	Esquema de un turborreactor	14
1.13	Parte móvil de un compresor	15
1.14	Corte de un motor Rolls Royce Trent 100	16
1.15	Esquema de un turbofán	17
1.16	Turbohélice en operación	18

<b>1.17</b>	Transbordador espacial estadounidense	19
<b>1.18</b>	Esquema de un motor de cohete	19
<b>1.19</b>	Componente del motor de reacción	21
<b>1.20</b>	Difusor de admisión	22
<b>1.21</b>	Fotografía del rotor de compresor del De Havilland Ghost	23
<b>1.22</b>	Cámara individual	23
<b>1.23</b>	Turbina de dos escalones del turbohélice Bristol Tesen	24
<b>1.24</b>	Tobera de salida del Rolls Royce Nene	25
<b>1.25</b>	Sistema de lubricación y refrigeración	27
<b>1.26</b>	Sistema de encendido	28
<b>1.27</b>	Turbo cargador automotriz	29
<b>1.28</b>	Funcionamiento del turbo	30
<b>2.1</b>	Cortadora	31
<b>2.2</b>	Torno	32
<b>2.3</b>	Tronzadora DEWALT	34
<b>2.4</b>	Soldadura MIG	35
<b>2.5</b>	Turbo	36
<b>2.6</b>	Tubo de 5 pulgadas	37
<b>2.8</b>	Difusor de aire	38

<b>2.9</b>	<b>Plancha de acero</b>	<b>39</b>
<b>2.10</b>	<b>Tubo de 2 pulgadas</b>	<b>40</b>
<b>2.11</b>	<b>Tobera de escape</b>	<b>41</b>
<b>2.12</b>	<b>Bomba Hidráulica</b>	<b>42</b>
<b>2.13</b>	<b>Radiador de aceite</b>	<b>43</b>
<b>2.14</b>	<b>Bomba de agua</b>	<b>44</b>
<b>2.15</b>	<b>Radiador de agua</b>	<b>45</b>
<b>2.16</b>	<b>Manguera 5/8"</b>	<b>46</b>
<b>2.17</b>	<b>Manguera 1/4"</b>	<b>46</b>
<b>2.18</b>	<b>Batería</b>	<b>47</b>
<b>2.19</b>	<b>Inversor de corriente</b>	<b>48</b>
<b>2.20</b>	<b>Módulo de chispa</b>	<b>49</b>
<b>2.21</b>	<b>Bujía</b>	<b>50</b>
<b>2.22</b>	<b>Tanque de gas</b>	<b>51</b>
<b>2.23</b>	<b>Soplador</b>	<b>51</b>
<b>2.24</b>	<b>Tacómetro digital</b>	<b>52</b>
<b>2.25</b>	<b>Balanza digital</b>	<b>53</b>
<b>2.26</b>	<b>Proceso Metodológico proceso de construcción de la cámara</b>	<b>55</b>

<b>2.27</b>	<b>Vista Superior</b>	<b>56</b>
<b>2.28</b>	<b>Vista Frontal</b>	<b>56</b>
<b>2.29</b>	<b>Torno en funcionamiento</b>	<b>56</b>
<b>2.30</b>	<b>Señalamiento de puntos</b>	<b>58</b>
<b>2.31</b>	<b>Difusor de aire</b>	<b>57</b>
<b>2.32</b>	<b>Corte de anillo</b>	<b>57</b>
<b>2.33</b>	<b>Perforación</b>	<b>57</b>
<b>2.34</b>	<b>Soldadura</b>	<b>57</b>
<b>2.35</b>	<b>Soldadura del anillo en el difusor</b>	<b>58</b>
<b>2.36</b>	<b>Cámara con entrada de gas y bujía</b>	<b>58</b>
<b>2.37</b>	<b>Adaptación de la bujía</b>	<b>58</b>
<b>2.38</b>	<b>Soldadura de bases</b>	<b>59</b>
<b>2.39</b>	<b>Base de la cámara de combustión</b>	<b>59</b>
<b>2.40</b>	<b>Entrada de gas con chicler</b>	<b>60</b>
<b>2.41</b>	<b>Instalación de las mangueras</b>	<b>61</b>
<b>2.42</b>	<b>Acople de sensor de temperatura</b>	<b>61</b>
<b>2.43</b>	<b>Instalación de manómetros</b>	<b>62</b>
<b>2.44</b>	<b>Tablero en funcionamiento</b>	<b>62</b>
<b>2.45</b>	<b>Diseño de la Tobera</b>	<b>63</b>
<b>2.46</b>	<b>Tubo de escape reducido</b>	<b>63</b>

<b>2.47</b> Motocicleta estable para las posteriores pruebas	64
<b>3.1</b> Curva característica de empuje en función de la presión de combustible.	68
<b>3.2</b> Curva característica de empuje en función del régimen.	68
<b>3.3</b> Diagrama de cuerpo libre	69

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

<b>ECUACIÓN NÚM</b>	<b>PÁGINA</b>
[1.1] Entrada del álabe	6
[1.2] Salida del álabe	6
[1.3] Fuerza que actúa sobre los álabes	9
[1.4] Momento resultante	9
[1.5] Trabajo interior en el eje del rodete	9
[1.6] Segunda forma de ecuación de euler	9
[1.7] Fuerza de empuje horizontal	10
[1.8] Fuerza total	10
[1.9] Rozamiento dinámico	10

**ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXOS</b>	<b>PÁGINAS</b>
<b>NÚM</b>	
<b>ANEXO I</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO II</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO III</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO IV</b>	<b>88</b>

## RESUMEN

El presente documento corresponde a un estudio realizado en un motor de reacción construido a partir de un turbocargador de un motor (Motor de Encendido por Compresión) MEC. El objetivo fue determinar el empuje que genera este tipo de motor a diferentes presiones de combustible, para este caso se usó el (Gas Licuado de Petróleo) GLP.

Como primer paso se realizó el diseño de la cámara de combustión y tobera de escape con ayuda del software SOLIDWORKS, las medidas para su fabricación fueron experimentales, las mismas que están basadas en la previa investigación bibliográfica. Los materiales que se usaron para la construcción de la cámara de combustión fueron seleccionados con el fin de soportar las elevadas temperaturas que genera la cámara de combustión. El turbo compresor usado es de geometría variable por lo que es necesario instalar los sistemas de lubricación y de refrigeración, para evitar el desgaste prematuro de los elementos y un sobrecalentamiento de este.

El vehículo que se utilizó para realizar las pruebas de empuje fue una motocicleta tipo pasola modelo Panthom GT5, la cual fue ideal para instalar los sistemas que conforman el motor de reacción. Una vez instalado todos los sistemas se procedió a realizar las pruebas con ayuda de una balanza digital, para obtener los datos de funcionamiento con las diferentes presiones de combustible, con el fin de adquirir un promedio relevante de cada presión, teniendo como presión mínima 4 psi y como presión máxima 50 psi.

Finalmente, el motor de reacción generó un empuje de 9,57 N el mismo que no fue suficiente para obtener un movimiento del vehículo de prueba, por lo que se considera que es necesario un turbo compresor de dimensiones mayores con presiones máximas de trabajo superiores a 20 psi.

## ABSTRACT

This document corresponds to a study carried out on a jet engine built from a turbocharger of an MEC engine (Compression Ignition Engine), the objective was to determine the thrust generated by this type of engine at different fuel pressures, to in this case, LPG (Liquefied Petroleum Gas) was used.

As a first step, the design of the combustion chamber and exhaust nozzle was carried out with the help of SolidWorks software, the measures planned for its manufacture were experimental, the same ones that are based on previous bibliographic research. The materials used for the construction of the combustion chamber were selected to withstand the high temperatures generated by the combustion chamber, the turbocharger used is of variable geometry, so it is necessary to install the lubrication and oil systems. cooling, to avoid premature wear of the elements and their overheating.

The vehicle used to carry out the thrust tests was a Panthom model pasola motorcycle, which was ideal for installing the systems that make up the jet engine, once all the systems were installed, the tests were carried out, with the help of A digital scale was used to obtain operating data with the different fuel pressures, in order to obtain a relevant average of each pressure, with a minimum pressure of 4 psi and a maximum pressure of 50 psi.

Finally, the jet engine generated a thrust of 4.7 N, which was not enough to obtain a movement of the test vehicle, so it is considered that a larger turbocharger with maximum working pressures greater than 20 psi.

## INTRODUCCIÓN

Un motor de reacción, a pesar de tener varias aplicaciones, es principalmente utilizado en aviones comerciales y aviones de combate, además “se han convertido cada vez más y más en una fuente confiable de potencia de eje o propulsión y calor en los campos comercial, industrial y automotriz y en otras aplicaciones”(Khan & Tlili, 2019).

“El diseño tradicional de un motor a reacción es un proceso que compromete diferentes aspectos, incluidos el proceso del material, la transferencia de calor , la aerodinámica , la integridad estructural, el control, el sistema mecánico y la fabricación”(Han, 2017).

Para la elaboración del motor de reacción se busca economizar los costos con materiales de fácil acceso y sobre todo que cumplan con los requerimientos del sistema, así como también se necesita encontrar materiales automotrices como el turbocompresor, bomba de aceite, reservorios, radiadores, tanque de gas, etc., que se encuentren en buen estado y que funcionen correctamente.

El objetivo principal es determinar si el motor de reacción que se construye con los elementos automotrices logra generar un empuje capaz de desplazar el vehículo de prueba, además este proyecto de investigación ayuda en el fortalecimiento del conocimiento tecnológico, físico y de ingeniería, de esta forma se podrá observar el funcionamiento y a su vez generar inspiración para elaborar futuros proyectos en base a este tema.

## **CAPÍTULO I**

### **1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **1.1 OBJETIVOS**

##### **1.1.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el empuje de un motor de reacción construido a partir de un turbo cargador de un motor de encendido por compresión.

##### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar bibliográficamente los sistemas y componentes de un motor de reacción.
- Diseñar y simular la cámara de combustión y tobera de escape del motor de reacción.
- Construir la cámara de combustión y tobera de escape.
- Montar el motor de reacción en una motocicleta y evaluar el empuje generado.

#### **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La investigación acerca de este tipo de fuente de energía se basa en la construcción de un motor de diferente propulsión a los motores comúnmente conocidos, siguiendo parámetros de diseño, construcción y experimentación.

Este proyecto de investigación ayudará con el fortalecimiento del conocimiento tecnológico, físico y de ingeniería, logrando generar un gran interés en el desarrollo de nuevos proyectos en los cuales forme parte el motor de reacción.

Según el Plan de desarrollo toda una vida implementada por el gobierno Nacional del año 2017 hasta el año 2021, menciona que uno de los ejes de trabajo del objetivo 5 que establece, impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera

redistributiva y solidaria, y se enmarca en el sub objetivo 5.6 que consiste en promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades; el presente proyecto contribuye a este objetivo del gobierno. (Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, 2017)

### **1.3 ALCANCE**

Para la elaboración del motor de reacción se buscará economizar los costos con materiales de fácil acceso y sobre todo que cumplan con los requerimientos del sistema, así como también se necesitará encontrar materiales automotrices como el turbocompresor, bobina de encendido, la bomba de aceite, tanque de gas, entre otros ejemplos, que se encuentren en buen estado y que funcionen correctamente.

El diseño de la cámara de combustión y de la boquilla de escape del motor de reacción se realizará en el software SolidWorks debido a que es una herramienta sofisticada y a su vez la universidad cuenta con la licencia para aprovechar al máximo sus funciones.

El empuje generado por el motor de reacción se determinará mediante fórmulas matemáticas que ya han sido propuestas, más adelante se comprobará experimentalmente el valor real generado por el motor.

Este proyecto proporcionará una ayuda para la reafirmación de conocimientos empíricos de la carrera, de esta forma se podrá observar su funcionamiento y a su vez generará inspiración para elaborar futuros proyectos en base a este tema.

## **1.4 TURBOMÁQUINAS**

Las turbomáquinas son los dispositivos de uso común que proporcionan energía o extraen energía de un fluido en movimiento mediante hélices o álabes giratorios, las bombas y los compresores suministran energía al fluido, con el resultado de que aumenta la presión en él, haciendo también que ocurra un flujo. La turbina extrae energía de un fluido y la convierte en alguna otra forma útil; por lo regular, en potencia eléctrica. . (González & Martínez de la calle, 2006)

Una Turbomáquina intercambia energía continuamente con un fluido y transforma la energía mecánica que entra por un eje a energía cinética y de presión que se le comunica al fluido o viceversa. El intercambio de energía se realiza en un rotor o impulsor provisto de álabes o paletas, el cual interactúa con el fluido a través del principio de conservación de cantidad de movimiento angular. . (González & Martínez de la calle, 2006)

En las turbomáquinas llamadas también máquinas de corriente, los cambios en la dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido juegan un papel esencial. El órgano transmisor de energía (conocido como rodete, rotor o impulsor) se mueve siempre con movimiento rotativo. El principio de funcionamiento de las turbomáquinas es la ecuación de Euler. (González & Martínez de la calle, 2006)

### **1.4.1 CLASIFICACIÓN**

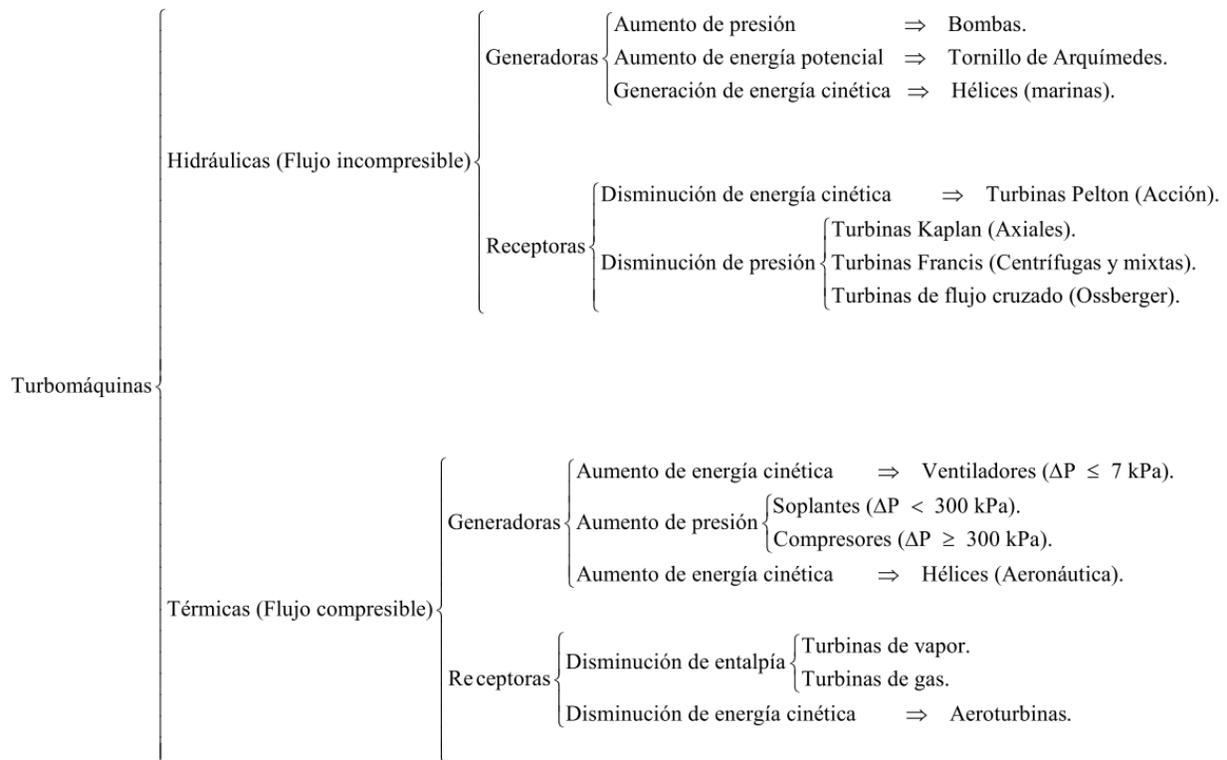
A continuación, se detallará la clasificación de las turbomáquinas.

#### ***1.4.1.1 Según el fluido de trabajo:***

- Turbomáquinas Hidráulicas (TH).
- Turbomáquinas Térmicas.

### 1.4.1.2 Según la dirección del intercambio de energía entre flujo y rodete:

- Turbomáquinas generadoras.
- Turbomáquinas motoras
- Turbomáquinas hidráulicas generadoras
- Turbomáquinas térmicas generadoras
- Turbomáquinas hidráulicas motoras
- Turbomáquinas térmicas motoras.



**Figura 1.1** Clasificación de las Turbomáquinas

Fuente: (González & Martínez Julián, 2006)

## 1.5 ECUACIÓN DE EULER

El intercambio de energía mecánica y de fluido en una turbomáquina se verifica únicamente en el rodete. Los restantes órganos de la máquina por donde circula el fluido son conductos o transformadores de energía que posee el fluido.

La ecuación que expresa la energía por unidad de masa intercambiada en el rodete es la ecuación de Euler. Esta ecuación constituye una base analítica para el diseño del órgano principal de una turbomáquina: el rodete. (Ingelibre, 2014)

La ecuación es de tal importancia que recibe el nombre de ecuación fundamental.

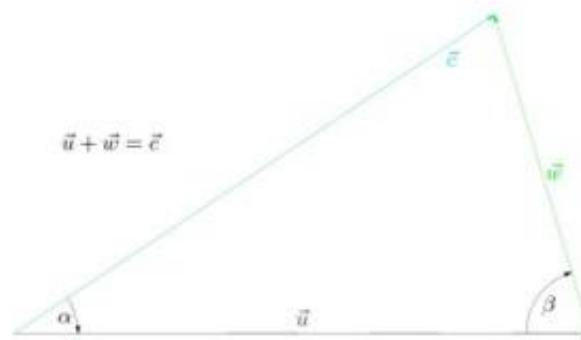
El triángulo de velocidades se refiere al triángulo formado por tres vectores de velocidad:

$c$ : velocidad absoluta del fluido

$w$ : velocidad relativa del rotor respecto al fluido

$u$ : velocidad lineal del rotor.

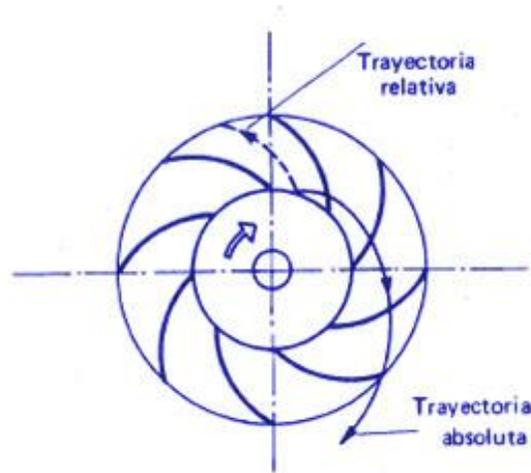
El ángulo formado entre la velocidad absoluta y relativa se denomina  $\alpha$  y el formado por la velocidad relativa y lineal se denomina  $\beta$ .



**Figura 1.2** Triangulo de velocidades

Fuente: (Ingelibre, 2014)

En el corte transversal de la bomba se representan la trayectoria relativa de una partícula de fluido en su paso por el rodete, la trayectoria absoluta en su paso por el rodete y entrada en la cámara espiral. La trayectoria relativa sigue naturalmente el contorno de los álabes, no así la trayectoria absoluta, porque los álabes del rodete están en movimiento. Si se trata de una corona fija las trayectorias absolutas y relativas coinciden.



**Figura 1.3** Corte transversal de la bomba

Fuente: (Ingelibre, 2014)

Como el rodete está girando a una velocidad angular  $\omega$ , sus álabes tienen en los puntos de entrada la velocidad tangencial  $u_1 (u_1 = \omega * r_1)$ . Así pues, el álabe recibe el flujo a la velocidad relativa  $w_1$ , diferencia vectorial de  $c_1$  y  $u_1$ :

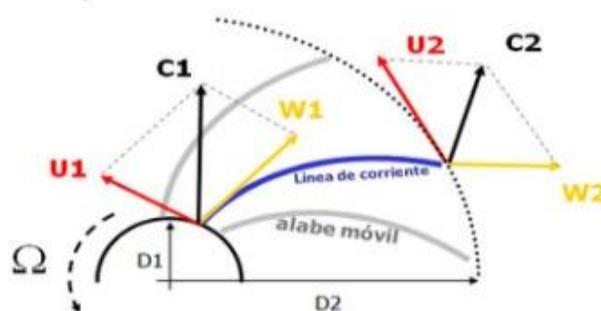
$$\vec{c}_1 = (\vec{u}_1 + \vec{w}_1) \quad [1.1]$$

A la salida del álabe se tiene:

$$\vec{c}_1 = (\vec{u}_1 + \vec{w}_2) \quad [1.2]$$

A la entrada existe un triángulo de velocidades, cuyos lados son  $c_1$ ,  $u_1$ , y  $w_1$ ; y en el recorrido del flujo a lo largo del rodete, el triángulo va cambiando de forma, resultando al final el de salida, de lados  $c_2$ ,  $u_2$ , y  $w_2$ .

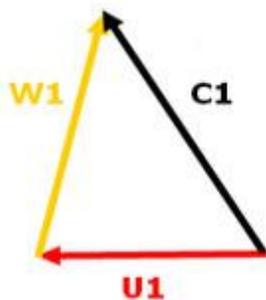
Por ejemplo, para una bomba tenemos:



**Figura 1.4** Triángulo de Velocidades

Fuente: (Ingelibre, 2014)

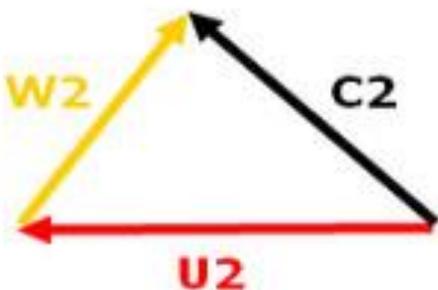
Formamos el triángulo de velocidad a la entrada:



**Figura 1.5** Triángulo de velocidad de entrada

Fuente: (Ingelibre, 2014)

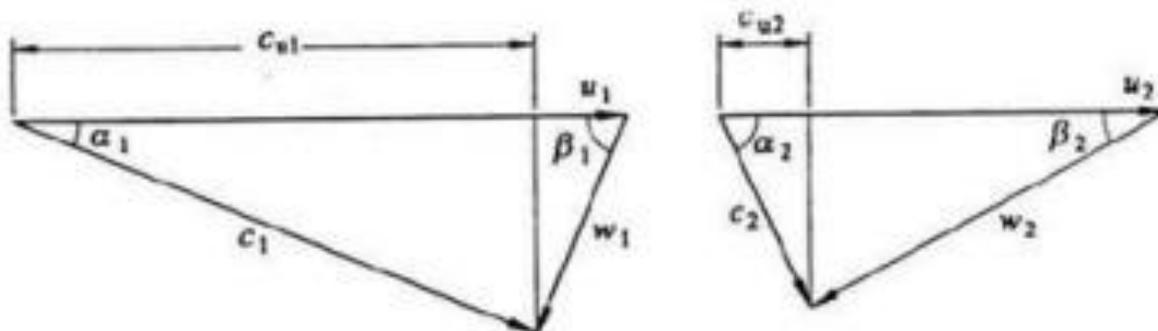
A la salida se tendrá:



**Figura 1.6** Triángulo de velocidad de salida

Fuente: (Ingelibre, 2014)

La ecuación de Euler es la ecuación fundamental para el estudio de las turbomáquinas, tanto térmicas como hidráulicas. Constituye, pues, la ecuación básica para el estudio de bombas, turbinas, expresando la energía intercambiada en el rodete de dichas máquinas.



**Figura 1.7** Triángulos de velocidades ecuación de Euler

Fuente: (Ingelibre, 2014)

Para el caso más general de las turbomáquinas de reacción, en las que las presiones de entrada y de salida del rodete son diferentes, la fuerza que actúa sobre los álabes de este vendría dada por la expresión:

$$\vec{F} = \vec{p}_1 \vec{S}_1 + \vec{p}_2 \vec{S}_2 + \dot{m}(\vec{c}_1 - \vec{c}_2) \quad [1.3]$$

Ahora bien, las fuerzas  $p_1 S_1$  y  $p_2 S_2$  que actúan a la entrada y salida del rodete, o son paralelas al eje, o cortan perpendicularmente al eje o cortan oblicuamente al eje. En cualquier caso, sus proyecciones sobre la dirección de  $u$  y su momento respecto al eje de giro es nulo: no contribuyen al par motor. Este par es provocado solo por las fuerzas  $m c_1$  y  $m c_2$  tanto en máquinas de acción como de reacción.

Las componentes tangenciales  $m c_{u1}$  y  $m c_{u2}$  son las únicas que producen trabajo cuando el rodete gira. El momento resultante respecto del eje de giro, o par motor  $M$ , que originan estas fuerzas sería la diferencia entre el momento  $M_1$  a la entrada y el momento  $M_2$  a la salida:

$$M = M_1 - M_2 = \dot{m} c_{u1} r_1 - \dot{m} c_{u2} r_2 \quad [1.4]$$

En turbinas, el momento disminuye a lo largo del rodete y el par motor resulta positivo ( $M > 0$ ); y en bombas ocurre lo contrario ( $M < 0$ ).

Por lo tanto, tendríamos que el trabajo interior en el eje del rodete que se consigue por cada  $kg$  de fluido que pasa por su interior es:

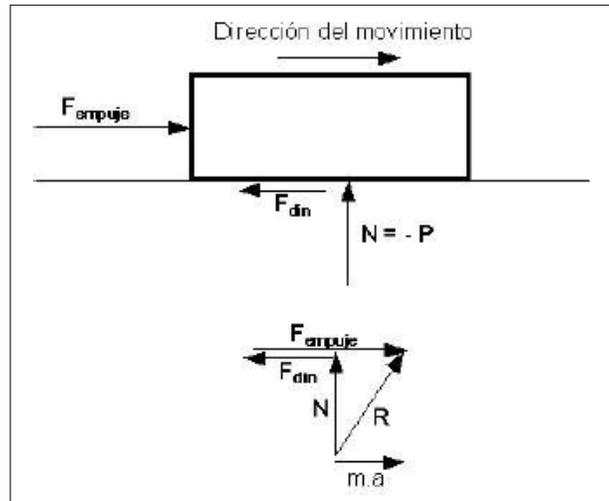
$$W_t = u_1 c_1 \cos \alpha_1 - u_2 c_2 \cos \alpha_2 \quad [1.5]$$

Si el desarrollo se hace para una bomba en lugar de para una turbina, se llega a la misma expresión, pero el trabajo será negativo.

Existe una segunda forma de la ecuación de Euler:

$$W_t = \left( \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \right) \quad [1.6]$$

## 1.6 FUERZA DE EMPUJE HORIZONTAL EN SUPERFICIES PLANAS



**Figura 1.8** Esquema de la fuerza de empuje horizontal

Fuente: (Alex Kibalion, 2015)

La fuerza de empuje horizontal en superficies planas es la fuerza horizontal necesaria para mover un objeto que se encuentra en una superficie horizontal. Según (Alex Kibalion, 2015) La fórmula para calcular la fuerza de empuje horizontal en superficie plana es la siguiente:

$$F_{empuje} = m * (\alpha - C_{din} * g) \quad [1.7]$$

Esta fuerza puede ser calculada de una forma sencilla, es necesario recordar la Segunda Ley de Newton, además, la fórmula para obtener el rozamiento dinámico. Por un lado, se debe tomar en cuenta que:

$$F_{total} = m * a \quad [1.8]$$

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que el rozamiento es la fricción que existe entre dos cuerpos con movimiento relativo, deslizándose uno sobre otro. Su fórmula es la siguiente:

$$F_{din} = C_{din} * N \quad [1.9]$$

Donde:

$F_{dim}$  es el rozamiento dinámico

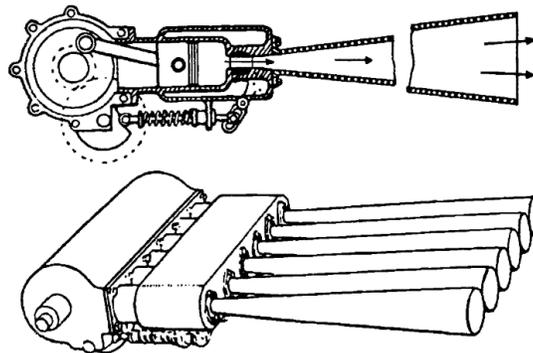
$C_{dim}$  es el coeficiente de rozamiento dinámico

$N$  es la fuerza normal

## 1.7 ANTECEDENTES DEL MOTOR DE REACCIÓN

Según (SáinzValentín, 2004) Se denomina motor de reacción al motor térmico en el que la energía liberada en la combustión se transforma en energía cinética de la corriente de gas que sale del motor. La fuerza que se obtiene de dicha corriente (empuje) sirve para impulsar. Esta característica es la que, en principio, diferencia a los motores de reacción de los motores de émbolo o alternativos.

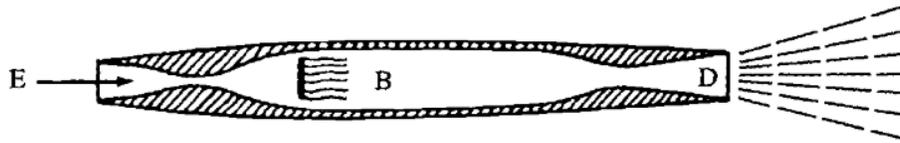
En 1908 Lorin patentó un motor a reacción basada en máquinas de pistón.



**Figura 1.9** Patente Lorin's 1908

Fuente: (Mattingly, 2006)

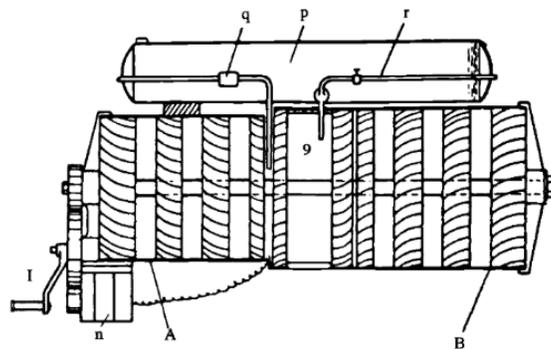
En 1913, Lorin patentó un motor a reacción en base a la compresión del pistón en super vuelo supersónico.



**Figura 1.10** Patente Lorin's 1913

Fuente: (Mattingly, 2006)

En 1921, M. Guillaume patentó un motor a reacción basado en una turbomáquina, el cual comprimía el aire de entrada por medio de un compresor axial hacia la cámara de combustión, para accionar el compresor se usó una turbina de flujo axial. (Mattingly, 2006)



**Figura 1.11** Patente Guillaume 1921

Fuente: (Mattingly, 2006)

Estas patentes describen el principio de propulsión a chorro, pero no fueron usadas ya que a principios de 1920 el aerovehículo tenía una capacidad de velocidad de vuelo máxima de 200 mph, y los motores de reacción tenían la capacidad de velocidad de vuelo de más de 600 mph, por lo que el motor a reacción no era compatible con los aerovehículos lentos. Además, a principios de 1920 se realizó un excelente estudio técnico sobre las posibilidades del usar la propulsión a chorro, los resultados del estudio fueron que el motor a reacción no se podía emplear de manera eficiente si el aerovehículo no superaba la velocidad de vuelo de 400 mph, ya que si se empleaba la

eficiencia aproximada era de 30-40%, muy baja a comparación de la hélice la cual podía alcanzar más del 80%. Con dichos resultados las industrias de motores de aviación, la comunidad científica y de Ingeniería no tenían ningún interés por este tipo de motor.

Estas patentes fueron olvidadas por mucho tiempo, hasta que en 1939 el retirado examinador de patentes Gohlke se enteró de la existencia de las primeras patentes del motor a reacción, las cuales fueron publicadas en una revisión sinóptica. En 1930 el británico Frank Whittle presento la primera patente de un turboreactor, el cual desde esa fecha hasta hoy en día se ha usado para motores de salida pequeña y media, específicamente para vehículos de control remoto.(Mattingly, 2006)

### **1.8 DESCRIPCIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DEL MOTOR A REACCIÓN**

Como se ha mencionado con anterioridad el principal problema del motor a reacción ha sido su bajo rendimiento, el cual se ha venido solucionando durante los últimos años, mejorando el rendimiento del turbocompresor y elevando la temperatura del gas de entrada.

Según (Martínez, 2007) como ventajas del motor a reacción se puede mencionar las siguientes:

- Tiempo reducido de puesta en marcha.
- Bajo coste por *kW* instalado.
- Poca exigencia de agua para su refrigeración.
- Capacidad de usar una amplia gama de combustibles.
- Gastos de mantenimiento reducidos.
- Potencia específica elevada.
- Se usa para la propulsión marina

- Automoción terrestre: automóviles, locomotoras, camiones o autobuses, aunque se encuentra en fase de desarrollo su gran ventaja sería el bajo índice de contaminación atmosférica característica de estos motores.
- Propulsión aeronáutica: ha sido la aplicación más importante desde los inicios del motor a reacción.

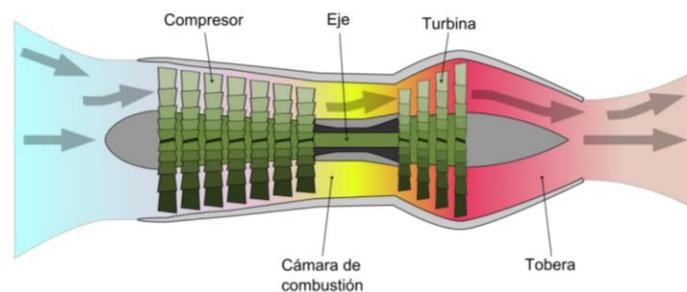
## 1.9 TIPOS DE MOTOR A REACCIÓN

Tenemos cuatro tipos de motores de reacción los cuales son los más importantes:

### 1.9.1 TURBORREACTOR

Este tipo de motor fue uno de los primeros que se usó en los aviones militares de caza y los aviones más antiguos. Este motor es de flujo axial lo que significa que el aire que se mueve dentro del él sigue la dirección del eje que une el compresor con la turbina, como partes principales podemos mencionar las siguientes:

- Compresor
- Cámara de combustión
- Turbina



**Figura 1.12** Esquema de un turborreactor

Fuente: (Oramas, 2015)

El compresor y la turbina están formadas por varios discos los cuales poseen álabes helicoidales en su circunferencia, los cuales son los encargados de desplazar el aire, entre el compresor y la turbina se intercalan discos móviles y fijos dispuestos de forma radial en las paredes del motor.



**Figura 1.13** Parte móvil de un compresor

Fuente: (Oramas, 2015)

Cuando el compresor gira se crea una diferencia de presiones los cuales se crea un vacío en el exterior y un aumento de presión en el interior, para equilibrar esa diferencias se ocupa una zona de baja presión provocando así la succión de aire al interior del motor, este pasa por conductos pequeños los cuales provoca que el aire entre a la cámara de combustión a alta presión donde se mezcla con el combustible y se produce la explosión de dicha mezcla, los gases producto de esa explosión salen por la tobera de escape pasando por la turbina la cual se encuentra conectada al compresor es decir está en constante movimiento cuando el motor esta encendido, provocando así el empuje del motor.

Algunos turboreactores de uso militar usan algunos componentes extras como los postquemadores los cuales aumentan en un 50 % la potencia, pero el consumo y el ruido del motor se elevan.

### **1.9.2. TURBOVENTILADOR**

El turboventilador es más conocido como turbofán y su nombre es dado por el ventilador de gran tamaño que tiene en su parte delantera, este motor es el más usado en la actualidad ya sea en

aviones de combate, comerciales, de línea, de carga o privados. A diferencia de estos de los turboreactores el turbofán es más complejo en su construcción por lo que su mantenimiento es caro, además son más eficientes en cuanto a consumo de combustible y emisión de ruidos.



**Figura 1.14** Corte de un motor Rolls Royce Trent 100

Fuente: (Oramas, 2015)

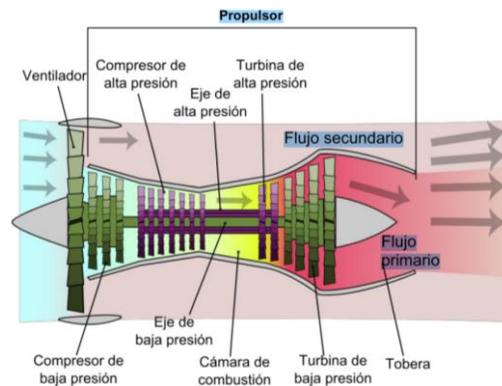
Un turboventilador se divide en dos partes fundamentales las cuales son:

- Ventilador o Fan: Se encarga de succionar el aire al interior del motor.
- Propulsor: elemento posee otras partes las cuales se mencionarán en orden por el cual el aire circula: compresor de baja presión, compresor de alta presión, cámara de combustión, turbina de alta presión, turbina de baja presión.

La característica principal de funcionamiento de este turboventilador es que divide el aire en flujo primario y flujo secundario, irónicamente el flujo secundario succiona el 80-90% del aire y brinda un empuje del 75-85%, mientras que el flujo primario succiona apenas succiona un 10-20% del aire, generando un empuje correspondiente al 15-25% (Moufadal, 2021).

El flujo secundario es dirigido hacia la parte trasera por el propio fan, mientras que el flujo primario entra en el propulsor para luego ser dirigido al compresor de baja presión, allí el aire se comprime y es dirigido al compresor de alta presión a una temperatura de 450 C, pasando por una serie alterna

de álabes fijos y móviles (Oramas, 2015). El compresor de alta presión comprime el aire aumentando su temperatura a 700 C para luego ser enviado a la cámara de combustión, rodeando los inyectores para evitar que la explosión tenga contacto con la pared de la cámara, evitando el derretimiento de esta, en la cámara de combustión el aire alcanza su presión y temperatura máxima, llegando a ser 1800 C (Moufadal, 2021). El aire producto de la combustión necesita salida, siendo esta la tobera, pero para llegar ahí necesita pasar por la turbina de alta presión y baja presión. La turbina de alta presión hace girar el compresor de alta presión y la turbina de baja presión hace girar al compresor de baja presión, en los motores modernos cada conjunto gira en dirección opuesta para aumentar su eficiencia. Al final del proceso los dos flujos se juntan (Moufadal, 2021).



**Figura 1.15** Esquema de un turbopropulsor

Fuente: (Oramas, 2015)

### 1.9.3. TURBOHÉLICE

Este tipo de motor usa la tecnología de la hélice y del turborreactor, se usa en aviones regionales y militares tácticos, ya que ofrece una respuesta más rápida a los cambios de aceleración que realice el piloto, además este motor tiene la capacidad de invertir su empuje en vuelo y son muy resistentes a la ingesta de elementos sólidos, lo que viene a ser perfecto en el uso de aeropuertos pequeños y no pavimentados.



**Figura 1.16** Turbohélice en operación

Fuente: (Alonso, 2015)

Este motor es muy similar al turbofán, la hélice sería considerada el fan, la diferencia sería que en este motor solo existe un grupo compresor-turbina y que el flujo secundario iría por fuera del motor. La hélice origina una diferencia de presión, en la parte delantera crea un vacío y detrás presuriza el aire, y la forma más fácil de aliviar esa diferencia de presión es empujar el motor hacia adelante.

El movimiento de la hélice lo provoca un turborreactor, una pequeña parte del aire succionado por la hélice ingresa al interior siguiendo el mismo proceso de los motores ya mencionados, el movimiento conseguido por la turbina mueve el compresor y la hélice, el movimiento antes de llegar a la hélice debe de pasar por un mecanismo reductor ya que la hélice tiene un límite y si el compresor gira más rápido se conseguirá aumentar la eficiencia.

Cabe mencionar que la inclinación de las palas puede variar su inclinación para cambiar la cantidad de aire y así adaptarse a cada instante de vuelo (Alonso, 2015).

#### 1.9.4. MOTOR COHETE

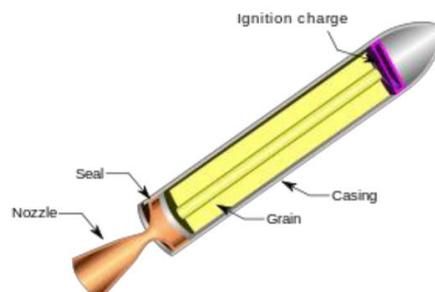
Este motor se usa en cohetes, misiles y vehículos aeroespaciales, estos motores tienen todos los materiales para generar combustión sin intervención del medio exterior, por lo que son los más potentes, pero a la vez los más ineficientes.



**Figura 1.17** Transbordador espacial estadounidense

Fuente: (Alonso, 2015)

El motor de cohete mezcla el aire y el combustible y realiza la combustión obteniendo aire presurizado que sale por la tobera, la misma que tiene forma de embudo y luego ensanchándose, haciendo que la salida de los gases sea diminuta, pero luego se permite la liberación de presión haciendo que el fluido se acelere y así produzca una mayor fuerza hacia atrás. La diferencia con los otros motores es que la combustión no realiza con el oxígeno del ambiente, estos motores tienen incorporado un depósito de oxígeno el mismo que servirá para la combustión (Alonso, 2015).



**Figura 1.18** Esquema de un motor de cohete

Fuente: (Alonso, 2015)

### **1.10 COMBUSTIBLE QUE SE USA EN LOS MOTORES DE REACCIÓN**

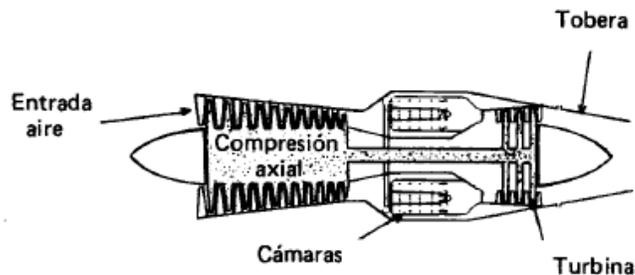
El combustible usado es el Keroseno de aviación, que corresponde a un producto intermedio entre la gasolina y los combustibles pesados. En general, pueden definirse los kerosenos como los productos que destilan entre 150 y 250 °C, coincidiendo, en realidad, con el petróleo de alumbrado, aunque se exigen para los de aviación unas ciertas condiciones de refinación. Cuando se parte de un crudo normal, sin elevadas proporciones de combustibles aromáticos o de azufre, no es preciso refinar los kerosenos que se obtengan, pudiendo utilizarse directamente en los turborreactores. Hay varios tipos, teniendo uno de los más comunes una densidad de 0,806 y un poder calorífico de 10,310 Kcal/Kg. Mezclando con el keroseno aceite lubricante a una proporción de 1 por 100, no se necesita engrase para la bomba de inyección que haya de impulsarlo. (E. Terradas, 2011)

### **1.11 PROCESO DE ENCENDIDO**

Para encender un motor a reacción se proyecta aire presurizado hacia la turbina del motor, de forma que este empiece a rotar hasta que alcance suficiente velocidad para que el motor absorba el suficiente aire como para empezar a inyectar combustible y el motor se mantenga girando por sí solo. Para conseguir el aire presurizado inicial se puede conectar al motor un generador de aire comprimido externo, o bien se puede usar el (Auxiliary Power Unit por sus siglas en inglés) APU un motor de combustión interna que se encuentra en aviones de cierto tamaño y que tienen el objetivo de suplir de energía eléctrica, hidráulica y neumática al avión cuando los motores principales estén apagados. (Oramas, 2015)

### **1.12 COMPONENTES BÁSICOS DE UN TURBORREACTOR**

Los componentes principales que conforman un turborreactor enumerado desde la entrada hasta la salida de los gases son:



**Figura 1.19** Componente del motor de reacción

Fuente: (Sáinz Díez, 2000)

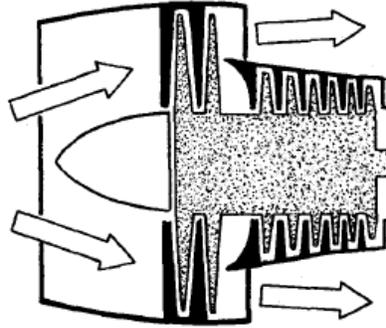
### 1.12.1 DIFUSOR DE ADMISIÓN

“De acuerdo con la misión que realiza, e independientemente de su forma geométrica, un difusor es un conducto en el cual la corriente fluida pierde velocidad y gana presión” (Rivero, 2018).

El difusor de admisión es un componente fundamental del turborreactor, debido a que el motor depende de este para funcionar correctamente, es el encargado de suministrar al motor la cantidad de aire necesaria, tomando en cuenta varios factores del aire como son: sin turbulencia, mínimas pérdidas por rozamiento, mayor recuperación de la presión dinámica, para transformarla en presión a la entrada del compresor.

El conducto de entrada es el encargado de succionar el aire que lo rodea a través del canal de admisión, cuando el motor se encuentra girando a altas revoluciones por minuto, antes de entrar en movimiento; por lo tanto, la presión de admisión en la entrada del compresor es levemente inferior a la presión atmosférica.

Al incrementar la velocidad del vehículo en movimiento, aumenta la presión dinámica a la entrada, así como también, las pérdidas internas por rozamiento del conducto. La presión a la entrada del compresor será igual o mayor a la presión atmosférica externa, es decir, existe una recuperación de presión por efecto dinámico.



**Figura 1.20** Difusor de admisión

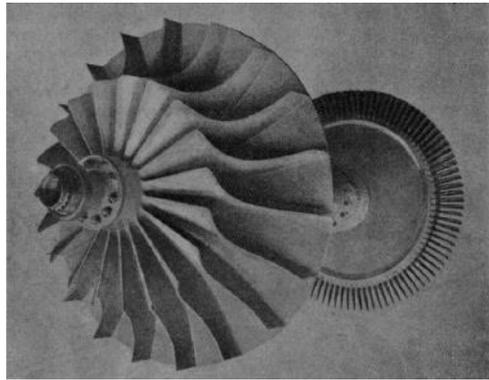
Fuente: (Sáinz Díez, 2000)

### 1.12.2 COMPRESORES

Son aquellos componentes que tienen como misión aumentar la energía del fluido por elevación de presión, mediante aplicación de un trabajo mecánico.

En el caso de los motores de reacción, los compresores reciben el nombre más propio de turbocompresores, comprimiendo el fluido de forma continua, a diferencia de los compresores volumétricos que, tomando una porción del volumen de fluido, lo comprimen independientemente del resto.

El turbocompresor comunica energía al fluido en un órgano llamado rotor o impulsor, y a continuación transforma dicha energía cinética en energía de presión, en un segundo órgano llamado estator o difusor. Al conjunto que forman el par de elementos rotor/estator, se denomina escalón de turbocompresor. (Rivero, 2018)



**Figura 1.21** Fotografía del rotor de compresor del De Havilland Ghost

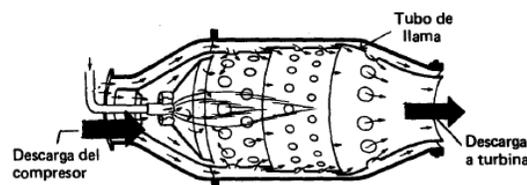
Fuente: (Esteban Terradas, 2018)

### 1.12.3 CÁMARA DE COMBUSTIÓN

“Es la zona del motor en donde se le suministra energía calorífica y todo el resto del motor se alimenta de esa energía, transformada en cinética en la turbina para mover el compresor y todos los accesorios” (Rivero, 2018).

El nivel de temperatura se eleva en el interior de la cámara de combustión, la misma que debe ser acorde al diseño del motor, la configuración de las cámaras y las turbinas.

Para obtener una combustión correcta, la presión dentro de la cámara debe ser constante. Para diseñar una cámara de combustión, se debe tomar muy en cuenta que las pérdidas de presión sean lo más pequeñas posibles.



**Figura 1.22** Cámara individual

Fuente: (Sáinz Díez, 2000)

#### 1.12.4 TURBINA

La misión de la turbina en un motor de reacción es convertir aproximadamente la tercera parte de la energía liberada en la combustión, en energía mecánica para mover el compresor y la caja de accesorios. Esta energía liberada es suma de las energías de presión y cinética. El resto de la energía pasa a la tobera para obtener empuje por el principio de acción-reacción (Sáinz Díez, 2000).

El flujo de aire, luego de haber sido combustionado y expulsado por el escape, genera un empuje, el cual no es suficiente para mover el vehículo sin la ayuda de una turbina. La turbina, que esta acoplada al compresor por medio de un eje, es la que brinda el giro necesario para que el compresor realice su trabajo, el mismo que consiste en aspirar el aire y comprimirlo para que ingrese a la cámara de combustión.



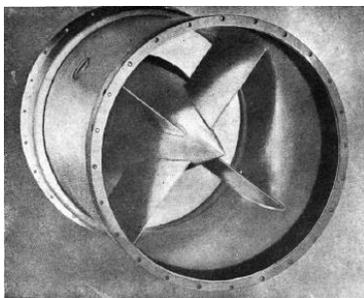
**Figura 1.23** Turbina de dos escalones del turbohélice Bristol Tesen

Fuente: (E. Terradas, 2011)

#### 1.12.5 TOBERA DE ESCAPE

La tobera expande los gases desde la turbina hasta la presión atmosférica, de manera que produzca un máximo empuje. En definitiva, tiene como misión transformar la entalpía del gas a la entrada de la tobera, en energía cinética del chorro de gas (Sáinz Díez, 2000).

La tobera de escape cumple con una importante función que tiene el turborreactor, la cual consiste en aprovechar el trabajo realizado por el conjunto (compresor, cámara de combustión y turbina), para generar un empuje máximo, aumentando la velocidad de flujo, gracias a la expansión o pérdida de presión, concluyendo correctamente el ciclo de trabajo del turborreactor.



**Figura 1.24** Tobera de salida del Rolls Royce Nene

Fuente: (E. Terradas, 2011)

### **1.12.6 SISTEMAS AUXILIARES**

Los sistemas auxiliares que conforman un turborreactor son: sistema de admisión de combustible, sistema de encendido, sistema de lubricación y refrigeración.

#### ***1.12.6.1 Sistema de admisión de combustible***

A partir de la invención de las turbinas de gas, estas fueron alimentadas con keroseno, debido a que el gas-oíl se hubiese congelado al momento de realizar las pruebas de vuelo. La demanda era grande, por lo que eran necesarios los productos cuya disponibilidad también sea grande. Al principio se utilizó gasolina de avión, pero el inconveniente es que eran demasiado volátiles.

Para el presente proyecto, el combustible a utilizar será el GLP (gas licuado de petróleo), por facilidad de uso y transporte, además, al ser un gas, no necesita ser atomizado o pulverizado mediante un sistema de inyección.

### ***1.12.6.2 Sistema de lubricación y refrigeración***

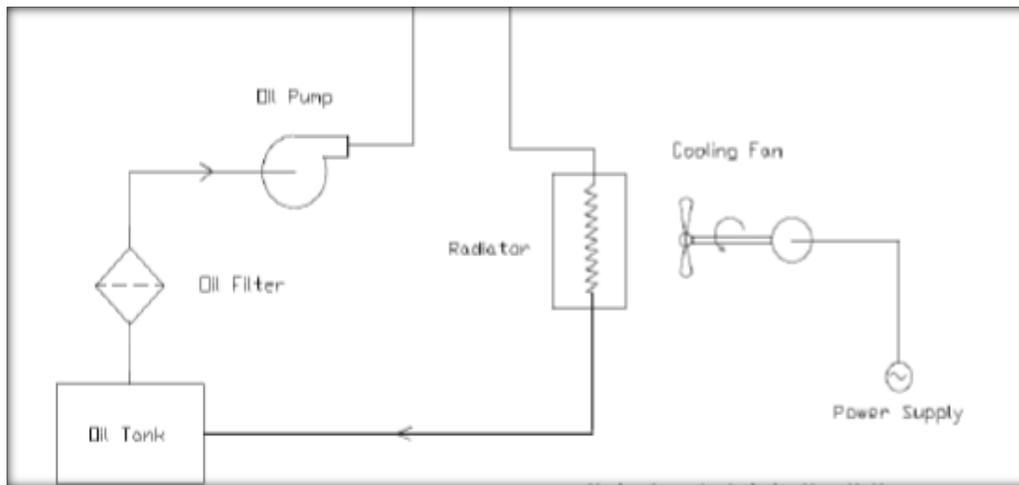
Un lubricante es cualquier sustancia natural o artificial que tenga propiedades aceitosas y que pueda ser usado para reducir la fricción entre dos superficies. De acuerdo con su procedencia, los lubricantes pueden ser de origen mineral, vegetal, animal o sintético.

Debido a las altas temperaturas que se alcanzan en los motores de reacción, se emplean casi exclusivamente aceites sintéticos, llamados así porque no proceden de aceites naturales. La composición de los aceites sintéticos es: 96% ésteres (ácidos inorgánicos y alcohol) y 4% aditivos (Sáinz Díez, 2000).

Las propiedades fundamentales del aceite para lubricación son:

- Altas características de antifricción.
- Poca variación de la viscosidad con la temperatura.
- Mantener alta fluidez a bajas temperaturas.
- Gran capacidad de refrigeración.
- Resistencia a la oxidación.
- No tener propiedades corrosivas, ni formar depósitos.

En un motor de reacción, los únicos componentes que requieren lubricación son los cojinetes de los ejes.(Sáinz Díez, 2000)



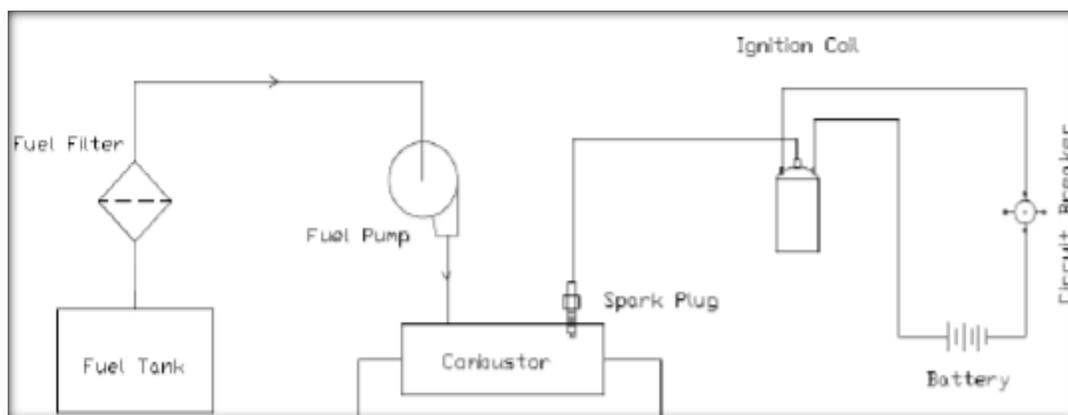
**Figura 1.25** Sistema de lubricación y refrigeración

Fuente: (Sáinz Díez, 2000)

### ***1.12.6.3 Sistema de Encendido***

“Su misión es producir mediante una corriente pulsatoria una chispa en la cámara y dar origen a la combustión de la mezcla aire-combustible” (Sáinz Díez, 2000).

El sistema de encendido que utilizará el turborreactor consta de: una bobina, un distribuidor y una bujía que se encargará de encender la mezcla aire-combustible, para lograr una combustión completa de la mezcla en el interior de la cámara de combustión.



**Figura 1.26** Sistema de encendido

Fuente: (Sáinz Díez, 2000)

### 1.12.7 EL TURBO CARGADOR

Los turbocargadores usados en la industria automotriz, comúnmente llamados “turbos”, son compresores centrífugos accionados por una turbina; las turbinas (compresora y de escape) comparten el mismo eje por lo que su movimiento es uniforme.

La turbina de escape aprovecha la energía térmica de los gases de escape para convertirlos en energía mecánica, la misma que permite generar el movimiento de la turbina compresora centrífuga. Esta turbina es la que se encarga de elevar la presión del aire aspirado, incrementando a su vez la densidad para ser introducido posteriormente al motor. Debido a que ingresa mayor cantidad de aire en un mismo volumen que ocupa la cámara de combustión, se consigue quemar más combustible y de esta manera se obtiene una mayor potencia.



**Figura 1.27** Turbo cargador automotriz

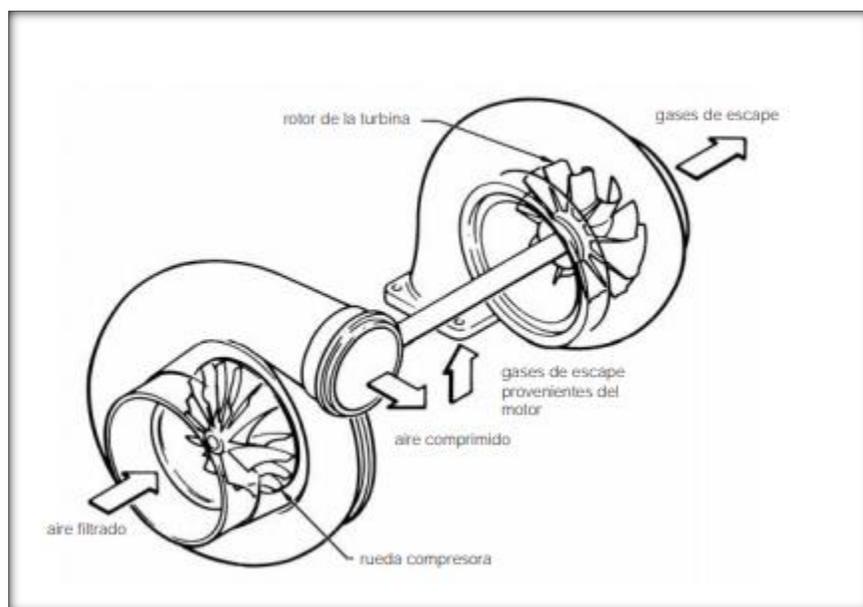
Fuente: (*Turbo Technologies*, 2019)

#### ***1.12.7.1 Funcionamiento del Turbocargador***

La turbina del turbocargador, formada por una rueda de turbina y una caja de turbina, convierte los gases de escape del motor en energía mecánica para accionar el compresor.

Los gases, que quedan restringidos por la zona de sección transversal del flujo de la turbina, experimentan una caída de presión y temperatura entre la toma y la salida. La turbina convierte esta caída de presión en energía cinética para accionar la rueda de la turbina.

En la cámara espiral (voluta) de dichas turbinas radiales o centrípetas, la presión de los gases de escape se convierte en energía cinética y los gases de escape de la circunferencia de la rueda son dirigidos a velocidad constante a la rueda de la turbina, que está diseñada de forma que para cuando los gases lleguen a la salida de la rueda, la práctica totalidad de la energía cinética esté transformada. (“BorgWarner Turbo Systems,” 2019)



**Figura 1.28** Funcionamiento del turbo

Fuente: (*Turbo Technologies*, 2019)

## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 2.1 MATERIALES

A continuación, se detalla una descripción de todos los componentes del motor de reacción, necesarios para realizar la prueba de funcionamiento y la evaluación del empuje.

##### 2.1.1 CORTADORA PLASMA

Para realizar los cortes de las piezas necesarias para la construcción de la cámara de combustión, se empleó una cortadora plasma como se observa en la figura 2.1.



**Figura 2.1** Cortadora

**Tabla 2.1** Especificaciones cortadora plasma

Especificaciones cortadora plasma	
Marca	BP
Modelo	CUT-60
Voltaje	220 V
Ciclo de trabajo	60%
Capacidad Max Corte	13 mm
Presión de aire requerida	60 psi

---

Compresor	Mínimo con banda de 2 HP
-----------	--------------------------

---

**Fuente:** (BPEcuador, 2021)

### 2.1.2 TORNO

En la fabricación y acabado de varias piezas necesarias para la construcción del motor de reacción, se utilizó un torno como se aprecia en la figura 2.2.



**Figura 2.2** Torno

**Tabla 2.2** Especificaciones Torno

---

Especificaciones Torno	
Marca	TURNER
Modelo	Turner 400x1000
Distancia entre puntos	1000 mm
Altura del centro	200 mm
Volteo sobre la cama	400 mm
Volteo sobre la brecha	506 mm
Diámetro sobre el carro	240 mm
Ancho de la bancada	210 mm

---

---

Diámetro del husillo	52 mm
Accesorio Nariz del husillo	DIN55029, D1-5
Rango de velocidad	45-2000 rpm
Alimentación longitudinal	0,06-2,78 mm/r
Alimentación transversal	0,01-0,72 mm/r
Rosca métrica	0,8-14 mm
Hilo de pulgada	2-28 TPI
Diámetro de la caña del contrapunto	45 mm
Viaje de la caña de contrapunto	100 mm
Cono morse	MT4
Fuerza de motor	2,4kw/2,0kw
Dimensiones	1950x780x1540 mm
Peso	900/1050 Kg

---

**Autor:** (Lamngeun, 2004)

### **2.1.3 TRONZADORA**

Para realizar los cortes en los materiales, especialmente en los tubos, se utilizó una tronzadora como se puede apreciar en la figura 2.3.



**Figura 2.3** Tronzadora DEWALT

**Tabla 2.3** Especificaciones Torno

Especificaciones Tronzadora	
Marca	DEWALT
Modelo	D28720-B3
Potencia	2200 W
Velocidad sin carga	3800 rpm
Disco	355 mm (14")
Eje	25,4 mm (1")
Peso	37,4 lbs

**Fuente:** ("Catálogo DeWalt Center Ecuador," 2021)

#### 2.1.4 SOLDADORA

El ensamble de la cámara de combustión se lo llevó a cabo mediante el proceso de soldadura MIG. En la Figura 2.4 se observa la soldadora empleada.



**Figura 2.4** Soldadura MIG

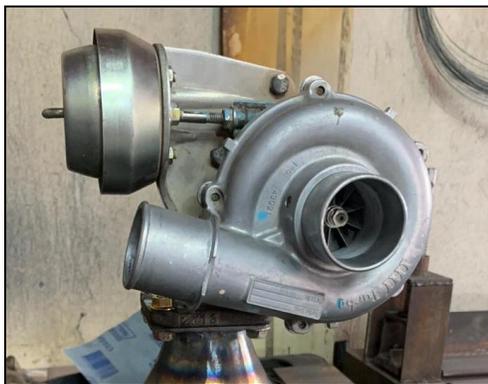
**Tabla 2.4** Especificaciones tipo de soldadura

Especificaciones tipo de soldadura	
Soldadora	MIG
Modelo	MIG-270
Amperaje	270 amperios
Voltaje	110 o 220 V
Ciclo de trabajo	60 %
Espesor cable	0,8 – 1 mm
Gas	CO2 o Argón para acero inoxidable

**Fuente:** (BPEcuador, 2021)

### 2.1.5 TURBO

El turbo que se utilizó es de la marca IHI modelo VJ38. En la Figura 2.5 se muestra el turbo empleado para el sistema, el mismo que es incorporado en vehículos a diésel por su alta resistencia a la temperatura.



**Figura 2.5** Turbo

**Tabla 2.5** Especificaciones Turbo

Especificaciones del Turbo	
Marca	IHI
Modelo	VJ38 – RHV4
Tecnología	Geometría Variable
Actuación	Neumática
Peso	8,748 kg
Presión máxima de trabajo	17 – 20 psi

**Fuente:** (“DencoDiesel,” 2020)

### 2.1.6 CÁMARA DE COMBUSTIÓN

La cámara de combustión del motor de reacción está compuesta por los componentes que se detallan a continuación:

### 2.1.7 CAMISA

Para la construcción de la camisa se utilizó un tubo redondo de 5 pulgadas, como se puede observar en la Figura 2.7.



**Figura 2.7** Tubo de 5 pulgadas

**Tabla 2.7** Especificaciones tubo camisa

Tubería estructural redonda	
Largo nominal	6 metros
Recubrimiento	Negro
Calidad de Acero	ASTM A 500
Norma de fabricación	NTE INEN 2415
D: 5 pulg.	
e: 3 mm.	
Peso: 9,17 kg/m	
Punto de fusión: 1425 – 1538 °C	

Fuente: (IPAC, 2019)

### **2.1.8 DIFUSOR DE AIRE**

El difusor de aire de la cámara de combustión se construyó a partir de un tubo redondo de 3 pulgadas como se muestra en la figura 2.8.



**Figura 2.8** Difusor de aire

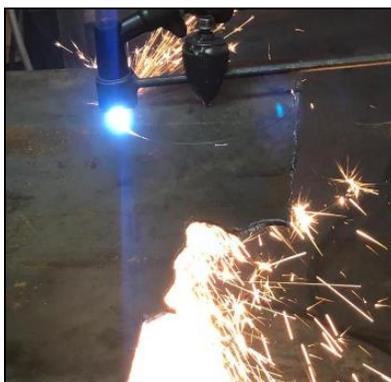
**Tabla 2.8** Especificaciones tubo difusor

Tubería estructural redonda	
Largo nominal	6 metros
Recubrimiento	Negro
Calidad de Acero	ASTM A 500
Norma de fabricación	NTE INEN 2415
D: 4 pulg.	
e: 2 mm.	
Peso: 4,91 kg/m	
Punto de fusión: 1425 – 1538 °C	

**Fuente:** (IPAC, 2019)

### 2.1.9 BASES

En la construcción del asiento, anillos soporte, base del difusor de aire y base de la camisa se utilizó una plancha de acero de 3 mm de espesor como se observa en la Figura 2.9.



**Figura 2.9** Plancha de acero

**Tabla 2.9** Especificaciones plancha de acero

Plancha Laminada en Caliente (Estándar)	
Recubrimiento	Negro
Calidad de Acero	ASTM A 36
Norma de fabricación	NTE INEN 115
Ancho: 1220 mm.	
Largo: 2440 mm.	
Espesor: 3,00 mm.	
Peso: 70,10 kg	
Punto de fusión: 1425 – 1538 °C	

**Fuente:** (IPAC, 2019)

### 2.1.10 TUBO DE ADMISIÓN

La cámara de combustión necesita un suministro de aire, para lo cual, se utilizó un tubo de 2 pulgadas como se puede apreciar en la Figura 2.10.



**Figura 2.10** Tubo de 2 pulgadas

**Tabla 2.10** Especificaciones tubo de admisión

Tubería estructural redonda	
Largo nominal	6 metros
Recubrimiento	Galvanizado
Calidad de Acero	ASTM A 500
Norma de fabricación	NTE INEN 2415
D: 2 pulg.	
e: 2 mm.	
Peso: 2,41 kg/m	
Punto de fusión: 1425 – 1538 °C	

Fuente: (IPAC, 2019)

### 2.1.11 TOBERA DE ESCAPE

Su construcción se la realizó con un tubo de 3 pulgadas de diámetro y un espesor de 3 mm. Posee una entrada de 46 mm y una salida de 40 mm. En la figura 2.11 se puede apreciar la tobera de escape construida.



**Figura 2.11** Tobera de escape

**Tabla 2.11** Especificaciones tobera de escape

Tubería estructural redonda	
Largo nominal	6 metros
Recubrimiento	Negro
Calidad de Acero	ASTM A 500
Norma de fabricación	NTE INEN 2415
D: 3 pulg.	
e: 3 mm.	
Peso: 5,42 kg/m	
Punto de fusión: 1425 – 1538 °C	

Fuente: (IPAC, 2019)

### 2.1.12 BOMBA HIDRÁULICA

Para generar la presión dentro del sistema de lubricación, se empleó una bomba hidráulica eléctrica de 12V de la marca GOOD PUMPS como se observa en la figura 2.12.



**Figura 2.12** Bomba Hidráulica

**Tabla 2.12** Especificaciones bomba eléctrica

Especificaciones bomba eléctrica	
Marca	GOOD PUMPS
Voltaje	12 V
Potencia	72 W
Presión máxima	130 PSI
Caudal	6 L/min

Fuente: (“MundoBomba,” 2021)

### 2.1.13 RADIADOR DE ACEITE

En la figura 2.13 se muestra el radiador que se utilizó para evitar el sobre calentamiento del lubricante en el sistema.



**Figura 2.13** Radiador de aceite

**Tabla 2.13** Especificaciones radiador de aceite

Especificaciones bomba eléctrica	
Dimensiones	28 x 11 x 1,9 cm
Número de flautas	10
Tipo de caudal	Lento
Cucúrbita	1,1 cm
Capitel	23 cm
Presión máxima	300 psi

Fuente (Propia)

#### **2.1.14 BOMBA DE AGUA**

Para mantener un flujo constante de agua en el sistema, se colocó una bomba sumergible de 12V de la marca dlb como se observa en la figura 2.14.



**Figura 2.14** Bomba de agua

**Tabla 2.14** Especificaciones bomba eléctrica sumergible

Especificaciones bomba eléctrica sumergible	
Marca	Dlb
Voltaje	12 V
Presión máxima	43,51 PSI
Caudal	1,66 L/min

Fuente: (dlbgroup, 2016)

### 2.1.15 RADIADOR DE AGUA

En la figura 2.15 se observa el radiador que se incorporó al sistema de refrigeración para evitar el sobre calentamiento del líquido refrigerante.



**Figura 2.15** Radiador de agua

**Tabla 2.15** Especificaciones radiador de agua

Especificaciones Radiador de Agua	
Dimensiones	25,5 x 14 x 2 cm
Número de tubos	25
Tipo de caudal	Rápido
Cucúrbita	0,5 cm
Capitel	23,2 cm
Presión máxima	100 psi

Fuente (Propia)

### 2.1.16 MANGUERAS DE BAJA PRESIÓN

El sistema de lubricación y refrigeración comprende de una línea de baja presión del fluido, conectado con mangueras de 5/8 de pulgada como se muestra en la figura 2.16.



**Figura 2.16** Manguera 5/8’’

**Tabla 2.16** Especificaciones manguera baja presión

Especificaciones Manguera baja presión	
Código ALFFLEX	100660
Diámetro	5/8’’
Presión de trabajo	300 psi

Fuente: (“IMPOFREICO S.A.,” 2017)

### 2.1.17 MANGUERA DE ALTA PRESIÓN

En la línea de alta presión, que comprende entre la bomba hidráulica y el turbo, se conectó una manguera de 1/2 de pulgada como se observa en la figura 2.17.



**Figura 2.17** Manguera 1/4’’

**Tabla 2.17** Especificaciones manguera alta presión

Especificaciones Manguera alta presión	
Código ALFFLEX	100540
Diámetro	1/4"
Presión de trabajo	300 psi

Fuente: ("IMPOFREICO S.A.," 2017)

### 2.1.18 BATERÍA

Todo sistema eléctrico necesita una fuente de poder, para ello se empleó una batería de motocicleta, marca KOYO modelo YTX7A-BS, de 12 V y 6 Ah como se muestra en la figura 2.18.

**Figura 2.18** Batería**Tabla 2.18** Especificaciones batería

Especificaciones batería	
Marca	KOYO
Modelo	YTX7A-BS
Voltaje	12 V
Amperaje	6 Ah
Peso	2,09 Kg

Fuente: (Baterías, 2021)

### 2.1.19 INVERSOR DE CORRIENTE

El inversor es el componente encargado de aumentar el voltaje de 12 V a 110 V. En este caso, se utilizó uno de la marca DOXIN de 300W como se observa en la figura 2.19.



**Figura 2.19** Inversor de corriente

**Tabla 2.19** Especificaciones inversor de corriente

Especificaciones Inversor de corriente	
Marca	DOXIN
Voltaje de entrada	12 V
Voltaje de salida	110 V
Potencia	300 W

Fuente: ("Dhgate," 2021)

### 2.1.20 MÓDULO DE CHISPA

En la figura 2.20 se observa el módulo de chispa que se utilizó, el mismo que fue alimentado con un voltaje de 110 V.



**Figura 2.20** Módulo de chispa

**Tabla 2.20** Especificaciones módulo de chispa

Especificaciones Inversor de corriente	
Marca	Welcome
Voltaje de entrada	110 V
Frecuencia	50/60 Hz
Temperatura	120 °C

Fuente: ("Robertshaw," 2021)

### 2.1.21 BUJÍA

La bujía se utilizó para quemar la mezcla aire-combustible dentro de la cámara de combustión. En la Figura 2.21 se observa la bujía empleada.



**Figura 2.21** Bujía

**Tabla 2.21** Especificaciones bujía

Especificaciones Bujía	
Recubrimiento	Cerámico
Diámetro de la bujía	0,5 cm
Longitud de la bujía	3,6 cm
Longitud del cable	67,4 cm
Voltaje de entrada	110 V

Fuente: (Servicat, 2021)

### 2.1.22 TANQUE DE GAS

En la figura 2.22 se muestra el tanque que se utilizó para suministrar el combustible al sistema, el mismo que tiene una capacidad de 5 kg de gas.



**Figura 2.22** Tanque de gas

**Tabla 2.22** Especificaciones tanque de gas

Especificaciones Tanque de Gas	
Marca	Duragas
Capacidad	5 kg
Uso	Industrial

Fuente: (“Duragas,” 2020)

### 2.1.23 SOPLADOR

El soplador que se utilizó para dar arranque al sistema fue de la marca Truper como se observa en la figura 2.23.



**Figura 2.23** Soplador

**Tabla 2.23** Especificaciones soplador

Especificaciones soplador	
Marca	TRUPER

Tensión / Frecuencia	127 V / 60 Hz
Corriente	8 A
Velocidad	257 km/h
Ciclo de trabajo	50 minutos de trabajo por 20 minutos de descanso. Máximo diario 6 horas.
Peso	1,7 kg

Fuente: (“Ficha técnica Sopladora eléctrica de 960 W,” 2021)

### 2.1.24 TACÓMETRO DIGITAL

Para medir las RPM de trabajo del turbo se utilizó un tacómetro digital de la serie DT-2234C<sup>+</sup>, con un rango de ensayo de 2,5 hasta 99999 RPM, el mismo que se muestra en la figura 2.24.



**Figura 2.24** Tacómetro digital

**Tabla 2.24** Especificaciones tacómetro digital

Especificaciones Tacómetro Digital	
Serie	DT-2234C+
Rango de ensayo mínimo	2,5 rpm
Rango de ensayo máximo	99999 rpm

---

Fuente de poder	Batería de 9 V
-----------------	----------------

---

Fuente: (“Dhgate,” 2021)

### 2.1.25 BALANZA DIGITAL

Para obtener un valor del empuje generado por el motor de reacción, se utilizó una balanza digital modelo SF-400 como se puede apreciar en la figura 2.24.



**Figura 2.25** Balanza digital

**Tabla 2.25** Especificaciones balanza digital

---

Especificaciones Balanza Digital	
Serie	SF-400
Unidades de medida	Gramos / Onzas
Escala de medición	1g en 1g
Alimentación	2 pilas AA
Valor máximo	10 kg

---

Fuente: (“SIJ Distribuciones,” 2021)

## **2.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente metodología permite dar a conocer los procesos y métodos que se aplicó para poder cumplir con los objetivos planteados. Se da a conocer cómo se realizó el diseño de la cámara de combustión con medidas experimentales, se explica el proceso de construcción de la cámara de combustión, se procede a seleccionar el turbo, posteriormente se identifica los sistemas auxiliares necesarios para el funcionamiento del motor, se determina la ubicación del motor y sus sistemas auxiliares en el vehículo seleccionado, se construye la tobera de escape, para finalmente realizar pruebas y determinar el empuje generado por el motor de reacción.

### **2.2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

#### ***2.2.1.1 Método Experimental***

La investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.(Guillermina, 2014)

Al finalizar con el montaje del motor de reacción y sus sistemas auxiliares en el vehículo se procedió a realizar la toma de datos a diferentes presiones de funcionamiento lo cual ayudó a determinar el empuje que generó el motor a distintas presiones de funcionamiento.

## 2.2.2 FLUJOGRAMA.

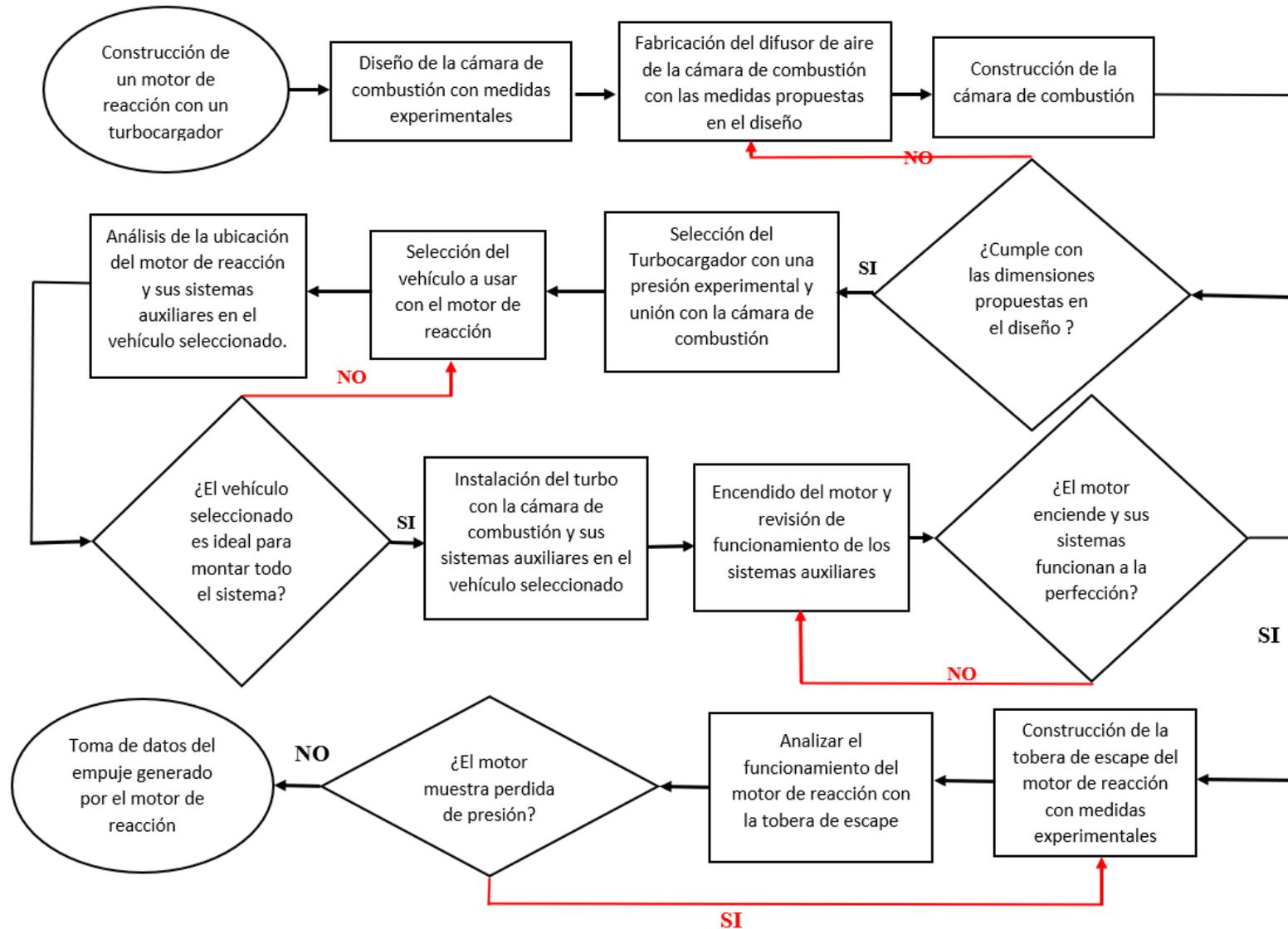
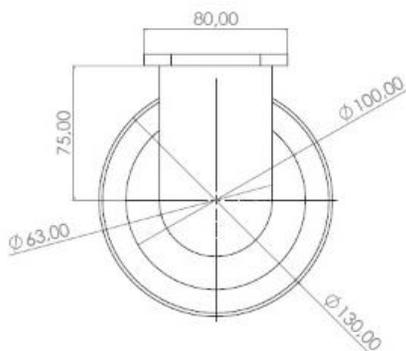


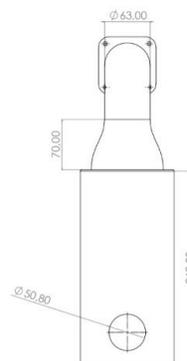
Figura 2.26 Proceso Metodológico proceso de construcción de la cámara

### 2.2.3 CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

La construcción de la cámara de combustión se basó en los planos generados previamente con la ayuda del software SolidWorks.



**Figura 2.27** Vista Superior



**Figura 2.28** Vista Frontal

Se usó un tubo de 5 pulgadas de diámetro el cual fue usado como camisa y un tubo de 4 pulgadas que fue usado como difusor de aire. Con ayuda de la cortadora se obtuvo las piezas con las respectivas medidas, adicional a eso el corte se igualo con la ayuda de del torno.



**Figura 2.29** Torno en funcionamiento

Se procedió a realizar huecos al difusor de distintas medidas, en la parte superior se realizaron 30 huecos de 6mm, en la parte central se realizaron 5 huecos de 10mm y en la parte inferior se

realizaron 6 huecos de 16mm. Estos huecos fueron realizados con el fin de evitar el ahogamiento del punto de encendido.



**Figura 2.30** Señalamiento de puntos



**Figura 2.31** Difusor de aire

Con la ayuda de la cortadora de plasma se fabricó la base del turbocompresor de una plancha de 2mm, adicional se cortaron dos anillos y una base circular de 5 pulgadas.

Uno de los anillos fue perforado juntamente con la base circular, en dicho anillo se soldaron tuercas y éste fue soldado en la parte interior de la camisa, mientras que la base circular fue soldada en un extremo del difusor de aire. Por otro lado, el anillo restante fue soldado en el reductor el cual unió la camisa con el mismo, estos procesos se realizaron mediante el proceso de soldadura SMAW.



**Figura 2.32** Corte de anillo



**Figura 2.33** Perforación



**Figura 2.34** Soldadura



**Figura 2.35** Soldadura del anillo en el difusor

En la base circular se realizó la adaptación de una bujía y de la entrada de gas, para este último se usó un tubo galvanizado usado en las cocinas industriales.

Una vez soldada el reductor con la camisa se insertó el difusor en la misma y se la unió mediante pernos formando así la cámara de combustión, para la entrada de aire se realizó una perforación a un costado de la cámara y se soldó un tubo de 2 pulgadas en forma de C.



**Figura 2.36** Cámara con entrada de gas y bujía



**Figura 2.37** Adaptación de la bujía

## 2.2.4 SELECCIÓN DEL VEHÍCULO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS BASES DEL MOTOR DE REACCIÓN

Se usaron tres bases para sostener el motor, las cuales fueron cortadas de una platina de 2mm de grosor y 2cm de ancho, dos de ellas se soldaron a la cámara y se unieron con la estructura mediante pernos, la otra base permitió unir el turbo con la estructura mediante pernos.



**Figura 2.38** Soldadura de bases



**Figura 2.39** Base de la cámara de combustión

## 2.2.5 UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES DEL MOTOR DE REACCIÓN

### 2.2.5.1 Sistema de alimentación

La cámara se encuentra ubicada en la parte posterior de la motocicleta mientras que el tanque de gas se encuentra ubicada en la parte delantera, el medidor de presión fue colocado directamente en la válvula del gas y con ayuda de mangueras, ésta se conecta con la entrada de gas colocada en la cámara de combustión, el gas recorre por él tubo galvanizado hasta llegar al Chicler, el mismo que se encuentra en la parte interna de la cámara enroscada al tubo.



**Figura 2.40** Entrada de gas con chicler

### ***2.2.5.2 Sistema de refrigeración y lubricación***

Para la instalación del reservorio de aceite se aprovechó una base del tablero de la motocicleta, a través de una manguera de  $\frac{1}{4}$  de pulgada se llevó el aceite al radiador ubicado en la parte delantera, el aceite es aspirado por la bomba ubicada en una base compartida en la parte inferior trasera de la motocicleta, con la ayuda de una manguera de presión se lleva el aceite hacia el turbo el cual se encuentra ubicado en la parte superior de la bomba, el aceite retorna del turbo al reservorio por medio de manguera de  $\frac{1}{4}$ .

Para conectar las mangueras a la bomba se fabricó unos acoples en los cuales se construyó una pequeña entrada de aceite la cual será conectada al manómetro de presión de aceite, en la manguera de salida de aceite del radiador se procedió a realizar una adaptación en el cual se encuentra el sensor de temperatura.

Para la colocación del reservorio de agua se usó las bases del asiento de la motocicleta, para que el agua llegue al turbo se usó una bomba de uso automotriz con una presión de funcionamiento de 3 bares, el agua es enviada al radiador ubicado en la parte delantera, con ayuda de la manguera de

$\frac{1}{4}$  el agua es dirigida al turbo, con ayuda otra manguera de  $\frac{1}{4}$  el agua puede regresar al reservorio, el proceso es continuo con el fin de reducir la temperatura del turbo.



**Figura 2.41** Instalación de las mangueras



**Figura 2.42** Acople de sensor de temperatura

### ***2.2.5.3 Sistema de encendido***

Para que se pueda producir la chispa por un lapso mínimo de tiempo, se usó un sistema de cocina de encendido eléctrico, para lo cual las bujías fueron vaciadas reemplazando el electrodo por el chispero, el cual fue rellenado en la bujía con la ayuda de pegamento epoxico de alta temperatura. El módulo fue el encargado de generar la chispa, el cual se encuentra en la base compartida junto a la bomba de aceite, el módulo se activa solamente con el pulsador el cual se encuentra en el tablero.

### ***2.2.5.4 Sistema eléctrico***

Para el sistema eléctrico se usó una batería de motocicleta la cual proporciona una corriente de 12 voltios, dicha batería alimenta al manómetro digital, a la bomba de aceite, al inversor de corriente. Dicho inversor transforma la corriente de la batería de 12 voltios a 110 voltios la cual fue usada para alimentar al módulo del chispero.

### 2.2.6 INSTALACIÓN DE MANÓMETROS

Con la ayuda de un tablero se distribuyó el orden de los elementos de activación, el Switch principal activa al manómetro del turbo, el cual nos ayuda informando la presión de entrada y nos informa el estado de carga de la batería, también se activa el manómetro de temperatura permitiéndonos obtener valores dependiendo del rango de funcionamiento.

Para el Switch de las bombas se usó uno de tipo ojo de cangrejo, el cual activa y desactiva las bombas tanto de aceite como de agua.

Por otro lado, se encuentra el pulsador el cual permite generar la corriente que activó al módulo, produciendo la chispa en el lapso que sea necesario para encender el motor.



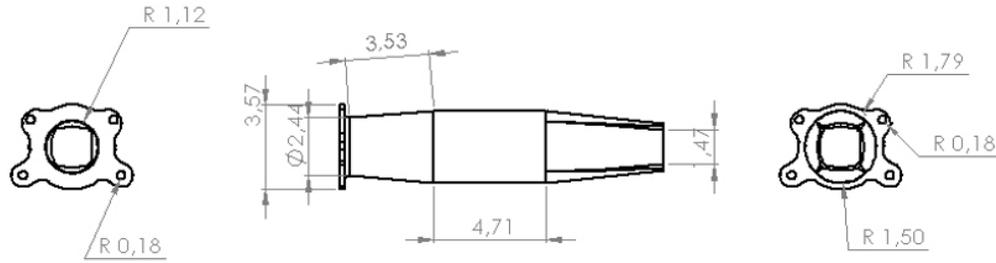
**Figura 2.43** Instalación de manómetros



**Figura 2.44** Tablero en funcionamiento

### 2.2.7 CONSTRUCCIÓN DE LA TOBERA DE ESCAPE.

Para la tobera de escape se usó un tubo de 3 pulgadas, el cual con la ayuda de moldes se realizó reducciones en sus extremos, para que los gases no escapen tan rápido y así generen lo que es el empuje.



**Figura 2.45** Diseño de la Tobera



**Figura 2.46** Tubo de escape reducido

### 2.2.8 ANÁLISIS DEL EMPUJE DEL MOTOR DE REACCIÓN.

Se estabiliza el vehículo y se lo junta a la balanza digital, la cual se encuentra enlazada con la pared. La unidad de medida de la balanza se encuentra en gramos, se procede a dejar en valor 0 para poder determinar la variación de medida.

Se enciende los manómetros y se enciende el inversor para poder generar la chispa mediante el pulsador, se toman los valores iniciales del motor de reacción.

Para un rápido encendido del motor es necesario llenarlo solo con el combustible, es decir se dejó abierta la válvula del gas a una mínima presión, con ayuda del soplador se introdujo oxígeno por la entrada del turbo, se mantuvo presionado el pulsador para poder generar la chispa hasta que se

encienda el motor, luego de aproximadamente 30 segundos se realizó la combustión y empezó a funcionar.

El soplador debe continuar suministrando aire al turbo hasta que el mismo se encuentre lo suficientemente cargado, para ello con ayuda del regulador aumentamos la presión de combustible.

Cuando el turbo esté lo suficientemente cargado se retira el soplador y el motor empieza a funcionar sin intervención de elementos adicionales.

Luego de haber iniciado con el funcionamiento del motor se procede con el encendido de las bombas tanto de agua como de aceite.

Como primera prueba se alimenta al motor con combustible a una presión de 4psi, luego se procede a tomar los datos emitidos por la balanza digital y por los manómetros para poder determinar si existe un empuje.

Con ayuda del medidor de rpm se determinó la variación de rpm dependiendo del aumento de presión de trabajo.

Una vez tomado los datos de funcionamiento a diferente presión se procedió con el cierre total de la válvula de gas para que el motor deje de funcionar, luego de 2 segundos se procedió con la desconexión de las bombas.



**Figura 2.47** Motocicleta estable para las posteriores pruebas

Fuente: Propia

## **CAPÍTULO III**

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo, se realizó un análisis de los resultados obtenidos de empuje en las diferentes pruebas, se elaboró varias pruebas aumentando progresivamente la presión de suministro de combustible (GLP). Además, se realizó mediciones de presión y temperatura de aceite, presión del turbo y RPM del turbo, con el fin de monitorear el comportamiento de los diferentes sistemas y componentes que conforman el motor de reacción.

#### **3.1 DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE EMPUJE Y SU ANÁLISIS CORRESPONDIENTE.**

Los valores que se muestran en la tabla 3.1, son el resultado del promedio de las ocho pruebas que se realizó para determinar el valor del empuje, según las diferentes presiones de combustible detalladas en la misma.

Con los resultados obtenidos a una presión de combustible mínima de 4 psi, se consiguió un valor de empuje de 0,38 N a un régimen de 1819 rpm, con una presión de aceite de 14 psi a una temperatura de aceite menor a 40 °C y una presión del turbo de -1.01 psi.

Las pruebas finales, se las realizó con la presión máxima de combustible que puede ser suministrada, esta presión fue de 50 psi. El empuje máximo obtenido con esta presión de combustible fue de 9,57 N. En esta prueba, al igual que en las anteriores, la presión de aceite fue de 14 psi, así como también, la temperatura de aceite que ingresa al turbo no sobrepasó los 40 °C. La presión y el régimen del turbo fueron de 10,58 psi y 50436 rpm respectivamente.

**Tabla 3.1** Resultados de las pruebas

Presión GLP	RPM	Presión de aceite	Temperatura de aceite	Presión del turbo	Empuje	Incremento Empuje
4 psi	1819 rpm	14 psi	< 40 °C	-1,01 psi	0,38 N	0 %
6 psi	2084 rpm	14 psi	< 40 °C	-0,58 psi	0,6 N	2,29 %
8 psi	2350 rpm	14 psi	< 40 °C	-0,14 psi	0,99 N	6,37 %
10 psi	2938 rpm	14 psi	< 40 °C	0,14 psi	1,09 N	7,42 %
12 psi	3211 rpm	14 psi	< 40 °C	0,58 psi	1,18 N	8,36 %
14 psi	4877 rpm	14 psi	< 40 °C	1,01 psi	1,52 N	11,91 %
18 psi	11563 rpm	14 psi	< 40 °C	1,45 psi	3 N	31,34 %
20 psi	11860 rpm	14 psi	< 40 °C	2,32 psi	3,25 N	27,37 %
25 psi	14201 rpm	14 psi	< 40 °C	4,06 psi	4,15 N	39,39 %
30 psi	26467 rpm	14 psi	< 40 °C	5,8 psi	5,78 N	56,43 %

35 psi	30796 rpm	14 psi	< 40 °C	7,25 psi	7,22 N	71,47 %
40 psi	38691 rpm	14 psi	< 40 °C	8,12 psi	7,95 N	79,1 %
45 psi	44218 rpm	14 psi	< 40 °C	9,28 psi	8,53 N	85,16 %
50 psi	50436 rpm	14 psi	< 40 °C	10,58 psi	9,57 N	96,03 %

### 3.1.1 EXPLICACIÓN GENERAL DEL TURBO

Para facilitar la representación de los datos obtenidos en todas las pruebas, se realizó un promedio entre los datos registrados en cada prueba. Estos datos se los puede apreciar en la tabla 3.2

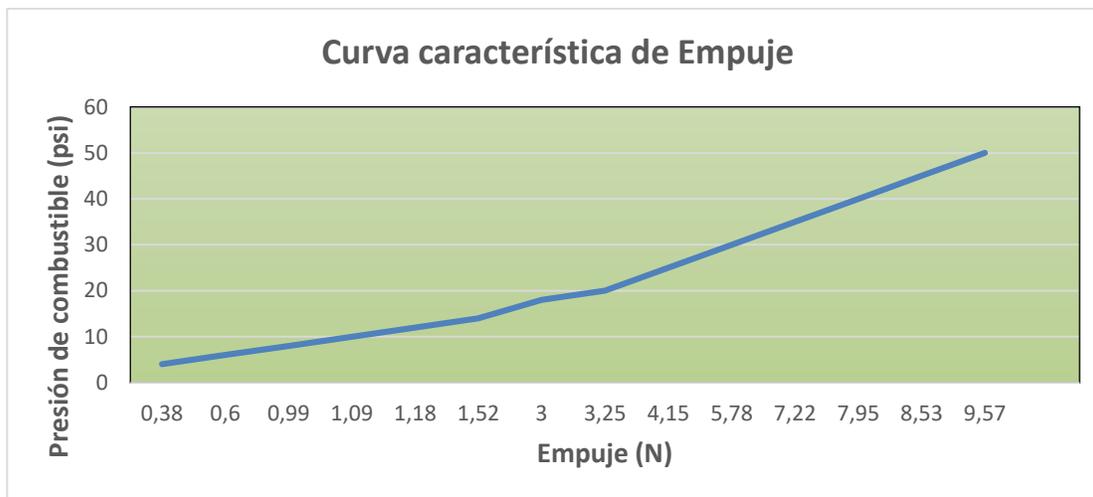
**Tabla 3.2** Media aritmética

Presión GLP	RPM	Presión de aceite	Temperatura de aceite	Presión del turbo	Empuje
22,64 psi	17536,5 rpm	14 psi	< 40 °C	3,57 psi	3,94 N

### 3.2 CURVA CARACTERÍSTICA DE EMPUJE DEL MOTOR DE REACCIÓN.

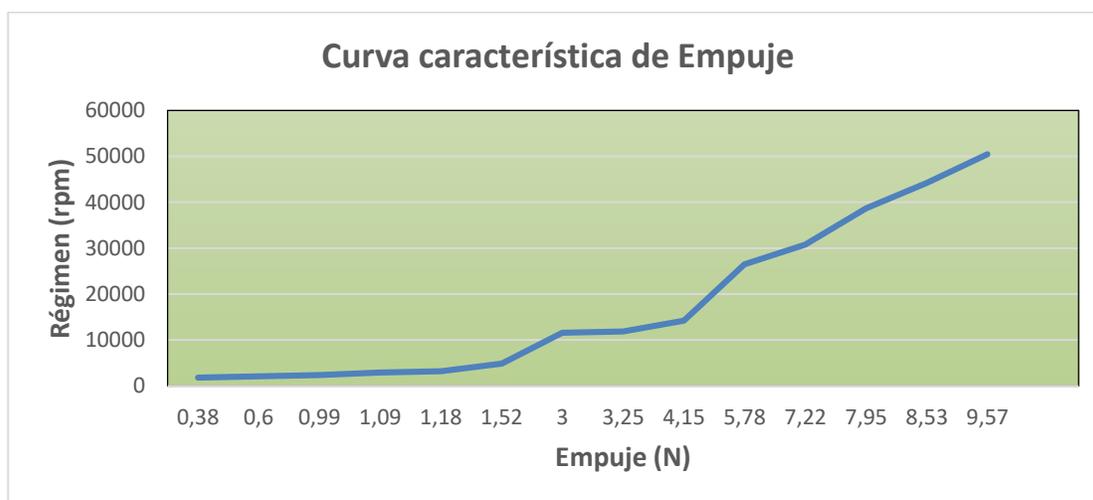
En la figura 3.1 se puede apreciar la curva característica del empuje del motor de reacción en función de la presión de combustible suministrada. Se consiguió un valor mínimo de empuje de 0,38 N, a una presión de combustible de 4 psi, esta presión es la mínima necesaria para mantener encendido el motor. El empuje máximo que se obtuvo fue de 9,57 N a una presión máxima de

combustible de 50 psi. Estos resultados de empuje son aceptables ya que el turbo utilizado es relativamente pequeño.



**Figura 3.1** Curva característica de empuje en función de la presión de combustible.

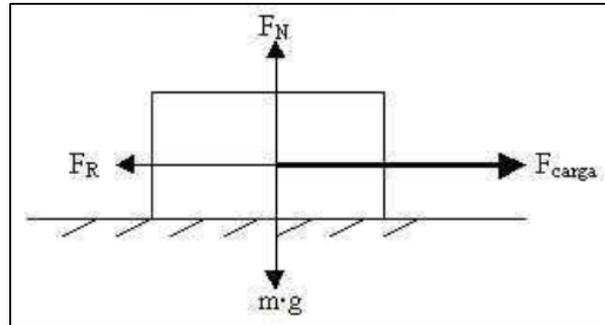
En la figura 3.2, se observa la curva característica del empuje del motor de reacción en función de las rpm del turbo. En este caso, el empuje mínimo conseguido fue de 0,38 N, con un régimen de 1819 rpm, estos valores son los mínimos obtenidos con el motor de reacción en funcionamiento. El valor final del empuje obtenido fue de 9,57 N a un régimen máximo de 50436 rpm.



**Figura 3.2** Curva característica de empuje en función del régimen.

### 3.3 CÁLCULO DEL EMPUJE NECESARIO PARA OBTENER UN MOVIMIENTO

En la figura 3.3 se puede observar el diagrama de cuerpo libre necesario para realizar el cálculo de la fuerza de empuje que requiere generar el motor de reacción, para lograr mover al vehículo. El valor de empuje obtenido mediante el cálculo realizado fue de 90N.



**Figura 3.3** Diagrama de cuerpo libre

Datos:

$$m = 90kg$$

$$\mu_s = 0,1$$

$$g = 10m/s^2$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_E - F_R = 0$$

$$F_E = F_R$$

$$F_E = \mu_s \cdot m \cdot g$$

$$F_E = (0,1)(90kg)(10m/s^2)$$

$$F_E = 90N$$

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- Se evidenció que el diseño del difusor con 30 orificios de 6 mm diámetro en la parte inferior, 5 orificios de 10 mm de diámetro en la parte media y 5 orificios de 16 mm de diámetro en la parte superior, cumple correctamente con su función, permitiendo un flujo de aire adecuado dentro del mismo.
- Se comprobó que la tobera de escape tiene una relación directa con el empuje que genera el motor de reacción, por lo tanto, el diseño y la construcción realizada en un tubo de 76 mm con una reducción en la entrada a 46 mm y 40 mm a la salida, son acertados.
- Se determinó que el rango de presiones de suministro de gas necesarias para el funcionamiento del motor de reacción va desde los 4 hasta los 50 psi.
- Se concluyó que el empuje máximo que genera el motor de reacción construido es de 9,57 N, el mismo que es deficiente para lograr mover el vehículo en el que se adaptó.
- Se llegó a determinar que, el incremento del valor máximo de empuje obtenido con respecto al valor inicial es de 96,03 %.

## 4.2 RECOMENDACIONES.

- Para llegar a tener una idea clara del diseño de los componentes y de los sistemas auxiliares que necesita un motor de reacción, es recomendable realizar una investigación completa y detallada, con el fin de desarrollar un proyecto factible.
- Se recomienda poner mayor énfasis en el aprendizaje de los programas de diseño y simulación, ya que estas herramientas son de gran ayuda al momento de desarrollar un proyecto que requiere la construcción y ensamblaje de varias piezas.
- Con el fin de precautelar la integridad física de las personas, se recomienda utilizar correctamente el equipo de protección personal al momento de realizar la construcción, el ensamblaje y las pruebas de funcionamiento del motor de reacción.
- En futuras investigaciones, se recomienda usar un modelo de turbo que genere presiones superiores a 20 psi, de preferencia un turbo de geometría fija, lubricado y refrigerado por aceite, ya que de esta manera se obtendrá un mejor empuje, además, se reducirán los espacios y costos de fabricación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alex Kibalion. (2015). *Fuerza de empuje horizontal en superficies planas*. 1–3.
2. Alonso, E. (2015). *Motor a reacción David Oramas Muñoz 1º BTO A*.
3. Baterías, T. (2021). Batería para Motos Koyo YTX7A-BS - Todo Baterías Perú | Instalación de Baterías a domicilio | Compra Online. Retrieved June 22, 2021, from Koyo website: <https://www.todobaterias.pe/venta-de-baterias/Koyo/293/bateria-para-motos-koyo-ytx7a-bs-0-placas/>
4. BorgWarner Turbo Systems. (2019). Retrieved October 16, 2019, from <http://www.turbos.bwauto.com/es/products/turbochargerTurbine.aspx>
5. BPEcuador. (2021). Productos – BP ECUADOR. Retrieved June 28, 2021, from <https://www.bpecuador.com/tienda/>
6. Catálogo DeWalt Center Ecuador. (2021). Retrieved July 1, 2021, from <http://www.dewaltcenter.com.ec/catalogo/index.html#p=29>
7. DencoDiesel. (2020). Retrieved August 3, 2020, from <https://www.dencodiesel.com/products/we0113700f-genuine-turbocharger-rhv4-turbocharger-rhv4-3-0l-2-5l-ford-ranger-mazda-bt50>
8. Dhgate. (2021). Retrieved July 4, 2021, from <https://es.dhgate.com/product/300w-peak-real-150w-pure-sine-wave-power/238941071.html>
9. dlbgrou. (2016). *Bc001 3*. 7–10.
10. Duragas. (2020). Retrieved July 4, 2021, from <https://www.duragas.com.ec/industrial/>
11. Ficha técnica Sopladora eléctrica de 960 W. (2021). Retrieved May 25, 2021, from [https://www.truper.com/ficha\\_tecnica/Sopladora-electrica-de-960-W-5252.html](https://www.truper.com/ficha_tecnica/Sopladora-electrica-de-960-W-5252.html)

12. Gonzáles, J., & Martínez Julián. (2006, January). 10 Turbomaquinas | PDF | Turbomaquinaria | Turbina.
13. González, J., & Martínez de la calle, J. (2006). Turbomáquinas. *Mecánica de Fluidos, 1*, 29.
14. Guillermina, B. (2014). Metodología De La Investigación. *Grupo Editorial Patria*, 25.
15. Han, P. (2017). Additive Design and Manufacturing of Jet Engine Parts. *Engineering, 3*(5), 648–652. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.017>
16. IMPOFREICO S.A. (2017). Retrieved July 4, 2021, from <http://www.impofreico.com/productos-internacionales-mangueras.html>
17. Ingelibre. (2014, September). Teoría elemental de las turbomáquinas. Triángulo de velocidades y ecuación de Euler « Ingelibre.
18. IPAC. (2019). *Catalogo IPAC 2019* (p. 76). p. 76.
19. Khan, M. N., & Tlili, I. (2019). New approach for enhancing the performance of gas turbine cycle: A comparative study. *Results in Engineering, 2*, 100008. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2019.100008>
20. Lamngeun, V. (2004). Lathe Machines. *Manufacturing Processes*, 49–91.
21. Martínez, A. de lucas. (2007). Termotecnia básica para ingenieros químicos: procesos termodinámicos y máquinas. In C. Vasquez (Ed.), *Termotecnia básica para ingenieros químicos: procesos termodinámicos y máquinas* (Universida). Cuenca: Universidad de Castilla-La Mancha.
22. Mattingly, J. D. (2006). Elements of Propulsion: Gas Turbines and Rockets. In *Elements of Propulsion: Gas Turbines and Rockets*. <https://doi.org/10.2514/4.861789>

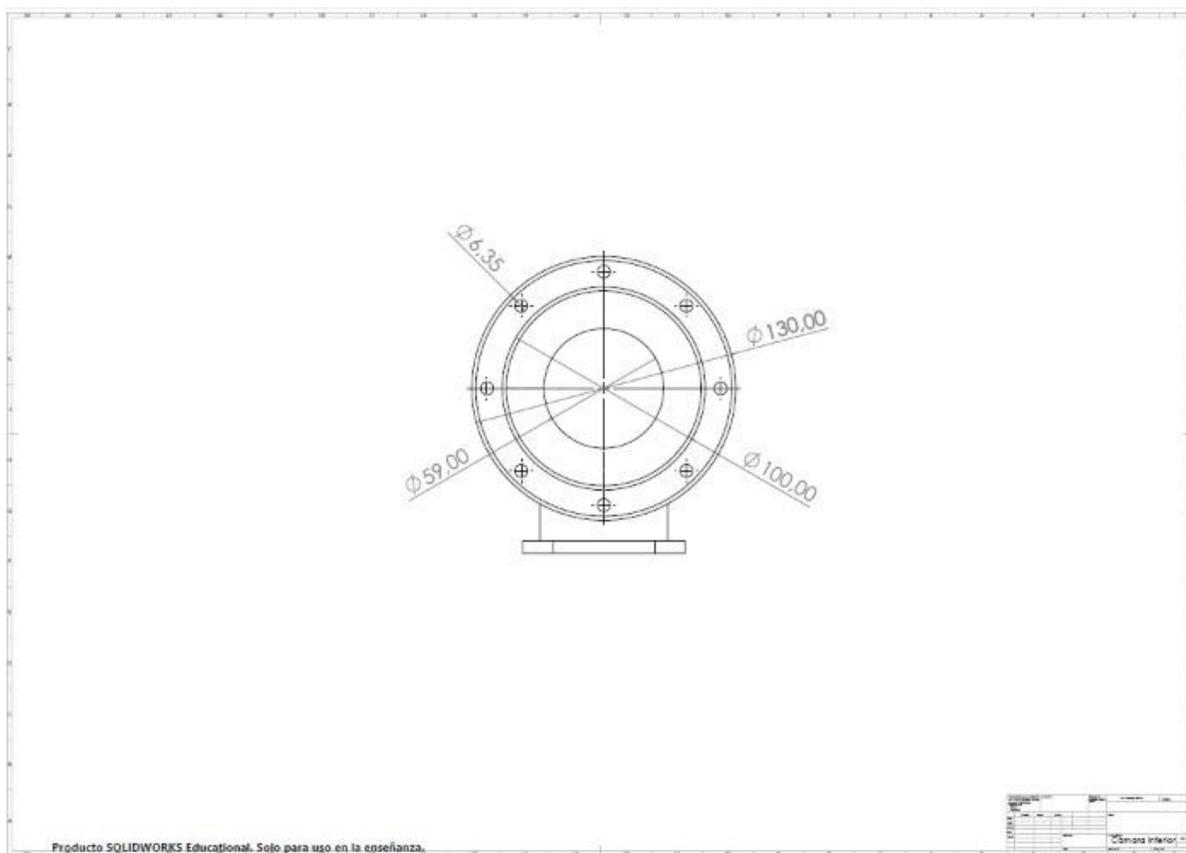
23. Moufadal, I. (2021). *Diseño de una turbina para un vehículo aéreo*. Retrieved from [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/350237/Articulo\\_340GREMECA\\_Diseño de una turbina para un vehículo aéreo.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/350237/Articulo_340GREMECA_Diseño_de_una_turbina_para_un_vehículo_aéreo.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
24. MundoBomba. (2021). Retrieved June 29, 2021, from <https://mundobomba.net/bomba-de-diafragma/>
25. Oramas, D. (2015). *Motor a reacción*.
26. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. (2017). Gobierno Nacional del Ecuador. *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, 3757–3764. <https://doi.org/10.1109/CDC.2014.7039974>
27. Rivero, G. B. (2018). *Motores de reacción tecnología y operación de vuelo*. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/351813043/Motores-de-Reaccion-Martin-Cuesta-Alvarez>
28. Robertshaw. (2021). Retrieved July 4, 2021, from <https://www.robertshaw.com/es-ES/products/cooking/spark-modules-and-spark-components/06672-045/?cat=2147484256&langType=1034>
29. Sáinz Díez, V. (2000). *El motor de reacción : y sus sistemas auxiliares*. Retrieved from [https://www.academia.edu/24745122/El\\_Motor\\_de\\_Reaccion\\_y\\_Sus\\_Sistemas\\_Auxiliares\\_Valentin\\_Sainz\\_Diez](https://www.academia.edu/24745122/El_Motor_de_Reaccion_y_Sus_Sistemas_Auxiliares_Valentin_Sainz_Diez)
30. SáinzValentín. (2004). *EL MOTOR DE REACCIÓN y sus sistemas auxiliares*. Madrid.
31. Servicat. (2021). CHISPERO COCINA. Retrieved July 7, 2021, from <https://repuestoslineablanca.com/COCINAS/2704-chispero-cocina.html>
32. SIJ Distribuciones. (2021). Retrieved July 7, 2021, from <https://sijdistribuciones.com/producto/gramera-pesa-bascula-digital-7-kg/>

33. Terradas, E. (2011). *MOTORES DE REACCIÓN Y TURBINAS DE GAS*. Madrid.
34. Terradas, Esteban. (2018). *INSTITUTO NACIONAL DE TÉCNICA AERONÁUTICA ESTEBAN TERRADAS*.
35. *Turbo Technologies*. (2019).

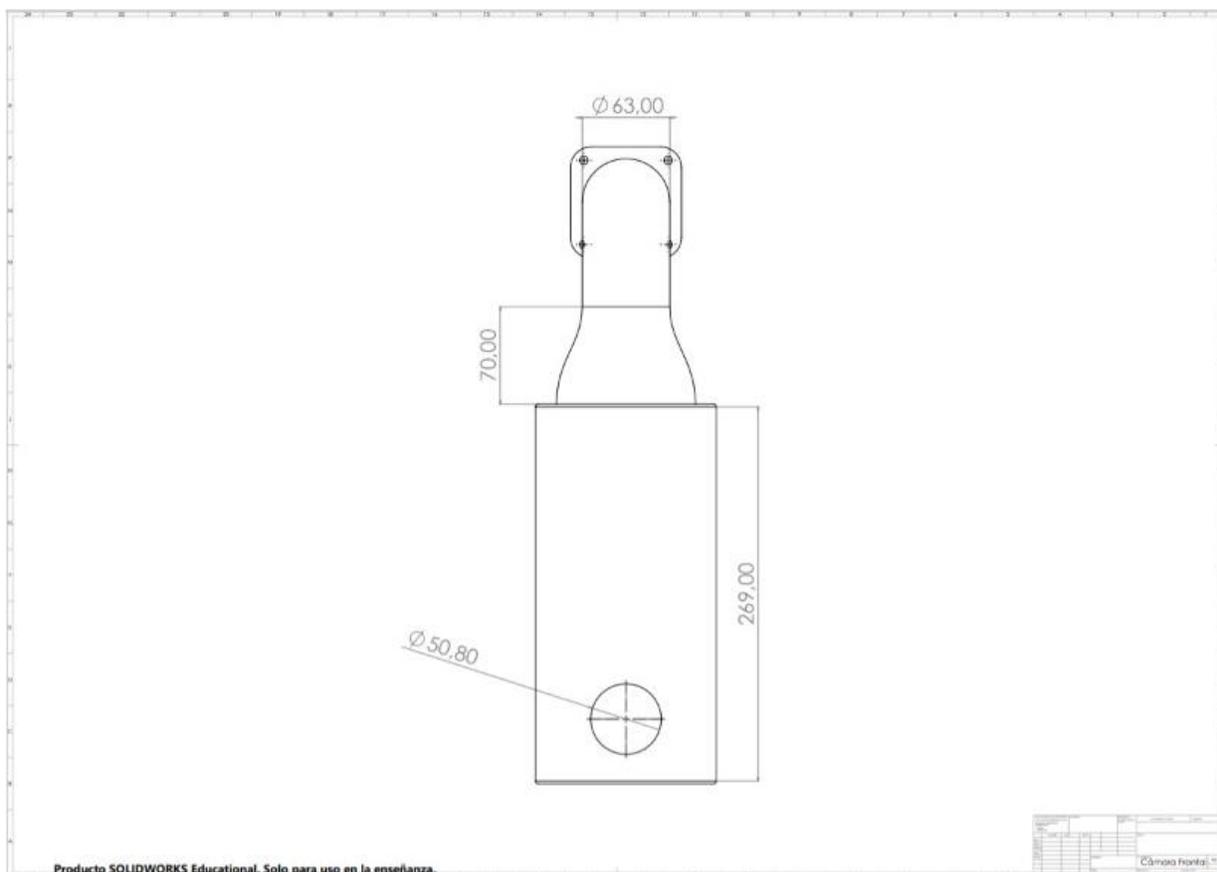
## **ANEXOS**



## VISTA CÁMARA INFERIOR

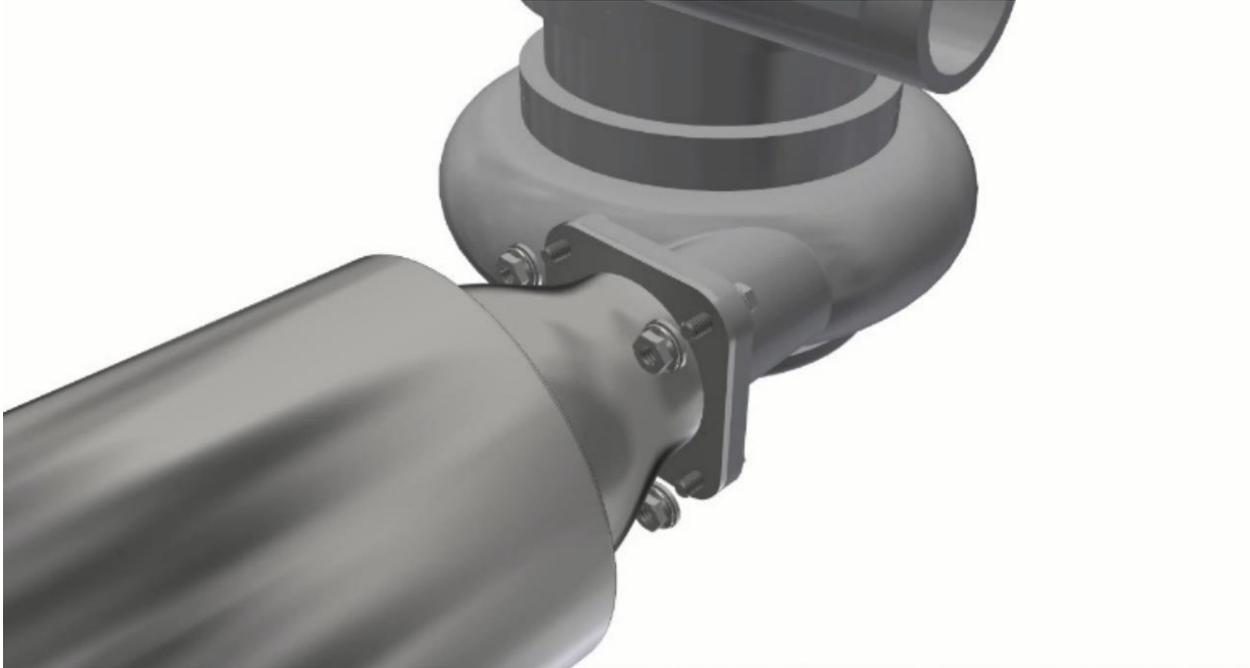


### VISTA CÁMARA FRONTAL



**ANEXO II**

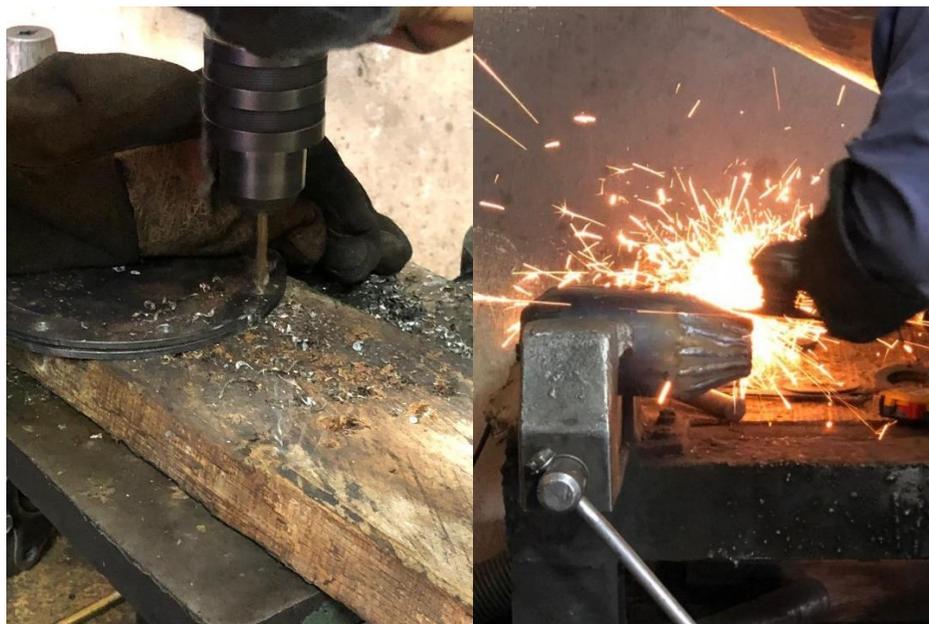
**DISEÑO DEL ENSAMBLE DEL MOTOR DE REACCIÓN**







**ANEXO III**  
**CONSTRUCCION DEL MOTOR DE REACCION**  
**CORTE DE TUBOS Y PLATINAS**



## ADAPTACION DE ENTRADA DE GAS EN EL DIFUSOR DE AIRE



## CAMARA DE COMBUSSTION ADAPTADA AL TURBO



### SELECCION DE LA MOTOCICLETA E INTALACION DE BASES



### CONSTRUCCIÓN DE LA TOBERA DE ESCAPE



### REPARACION DEL ALABE DE COMPRESION DEL TURBO



### INSTALACIÓN SE SISTEMAS AUXILIARES



### ANEXO IV

## TOMA DE DATOS DEL EMPUJE GENERADO POR EL MOTOR DE REACCIÓN

### PRUEBAS REALIZADAS A 10 PSI



### PRUEBAS REALIZADAS A 18 PSI



)



### PRUEBAS REALIZADAS A 30 PSI

