

**Desarrollo de un Estatorreactor a Gas de Régimen Subsónico como Herramienta  
Pedagógica**

Kevin Anderson Restrepo Leiva  
Hernán Darío Torres Valencia

Centro de Educación Militar  
Programa de Ingeniería Aeronáutica  
Cohorte I  
Bogotá, 2020

## **Dedicatoria**

*Todo el empeño, esfuerzo y trabajo realizado en este proyecto de grado, se lo dedico a la persona que vivió bajo sus propias creencias y logro demostrar, que la rectitud, el honor, la humildad y el respeto, son las armas más fuertes que posee un guerrero. Gracias, papá por enseñarme a enfrentar las adversidades con fuerza y a nunca dejar de lado a la familia, sin importar la situación.*

*A la memoria de:*



**S.P. Jaime Robinson Restrepo Yarabe**  
**1963 – 2020**

*Kevin Anderson Restrepo Leiva*

*Le dedico este trabajo a mi padre Hernán Torres quien me brindo su apoyo incondicional, además de su conocimiento que es base primordial en el desarrollo de este trabajo de grado. A mi madre Alejandra Valencia quien me brindo todo su apoyo durante todo mi proceso formativo. A mis hermanos Alejandra y Alejandro, quienes me motivaron día a día a culminar con mi carrera universitaria y a mis compañeros de curso quienes me brindaron apoyo emocional.*

*Hernán Darío Torres Valencia*

## **Agradecimientos**

Al ingeniero Fabian Steven Garay Rairán por su apoyo y dedicación al desarrollo de este proyecto de grado, a las cohortes de Ingeniería Aeronáutica de la Escuela de Aviación del Ejército por su colaboración en los estudios sociológicos realizados en el plantel, al docente John Edwar González por su contribución ante la validación del proyecto de forma pedagógica y a nuestros padres por su apoyo incondicional durante todo el proceso estudiantil.

## Resumen

**Tema:** Desarrollo de un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica

**Autores:** Kevin Anderson Restrepo Leiva y Hernán Darío Torres Valencia

**Director:** Ing. Fabian Steven Garay Rairán

*Este Proyecto de grado, es un estudio realizado como la solución más viable a la falta de prácticas especializadas en materias teórico - prácticas o que indican una visita empresarial en su pensum académico, referentes a motores de aviación; esta solución se basa en el desarrollo de un estatorreactor a gas de régimen subsónico y adicional a esto, se emplea como herramienta pedagógica junto con la metodología de Aprendizaje Basado en Retos; esta solución fue determinada mediante la metodología Design Thinking y desarrollada mediante un tipo de investigación cuasi experimental junto con numerosos estudios sociológicos que validan el uso y la funcionalidad del motor como herramienta pedagógica y brinda un campo práctico especializado necesario en clases con temas referentes a motores aeronáuticos. El motor se conforma de una infraestructura metálica donde se implementa el bloque de combustión, que cuenta con una inyección directa de gas y aire comprimido, en donde se genera una chispa y se logra ejecutar la combustión sostenida, adicional a esto, cuenta con un panel de control dividido, para implementar la forma de educación por retos y así el estudiante manipula en plenitud el producto aeronáutico. Finalmente se adiciona un manual de cómo realizar las prácticas didácticas que incluyen los protocolos de seguridad y aprendizaje.*

**Palabras claves:** Estatorreactor, motores aeronáuticos, banco de pruebas, dispositivos de combustión, estudio termodinámico, combustión a gas, estabilización de combustión, motor didáctico, aprendizaje basado en retos, herramienta pedagógica.

## Abstract

**Topic:** Development of a subsonic gas ramjet as a pedagogical tool

**Authors:** Kevin Anderson Restrepo Leiva & Hernan Darío Torres Valencia

**Director:** Eng. Fabián Steven Garay Rairán

*This Degree Project is a study carried out in the face of the most viable solution to the lack of specialized practices in theoretical - practical subjects or that indicate a business visit in their academic curriculum, referring to aviation engines; This solution is based on the development of a subsonic gas ramjet and in addition to this, it is used as a pedagogical tool together with the Challenge-Based Learning methodology; This solution was determined through the Design Thinking methodology and developed through a type of quasi-experimental research together with numerous sociological studies that validate the use and functionality of the engine as a pedagogical tool and provides a specialized practical field necessary in classes with topics related to aeronautical engines . The engine is made up of a metallic infrastructure where the combustion block is implemented, which has a direct injection of gas and compressed air, where a spark is generated and sustained combustion is executed, in addition to this, it has a panel of divided control, to implement the form of education by challenges and thus the student fully manipulates the aeronautical product. Finally, a manual is added on how to carry out the didactic practices that include the safety and learning protocols.*

**Keywords:** Ramjet, aeronautical engines, test bench, combustion devices, thermodynamic study, gas combustion, combustion stabilization, didactic engine, challenge-based learning, pedagogical tool.

## Tabla de Contenidos

Capítulo 1. Introducción e información general .....	1
1.1. Descripción del problema .....	2
1.2. Pregunta de investigación .....	1
1.3. Justificación.....	1
1.3.1. Análisis de alternativas .....	3
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos .....	5
1.5. Delimitación del proyecto .....	6
Capítulo 2. Estado del arte .....	7
Capítulo 3. Marcos referenciales.....	12
3.1. Marco histórico .....	12
3.2. Marco teórico .....	17
3.2.1. Tipos de estatorreactores.....	17
3.2.2. Organización y etapas de un Ramjet.....	20
3.2.3. Ciclo ideal de un Ramjet.....	21
3.2.4. Aprendizaje Basado en Retos (ABR).....	25
3.3. Marco conceptual .....	26
3.3.1. Motor a reacción .....	26
3.3.2. Tipos de motores a reacción.....	27
3.3.3. Partes de un motor a reacción .....	31
3.3.4. Funcionamiento de un motor a reacción .....	35
Capítulo 4. Metodología de investigación .....	37
4.1. Fase de empatía .....	38
4.1.1. Diseño metodológico .....	38
4.2. Fase de definición .....	39
4.2.1. Planteamiento del diseño.....	39
4.2.2. Cálculos Termodinámicos y paramétricos .....	39
4.3. Fase de ideación .....	40
4.3.1. Planos preliminares .....	40

4.4. Fase de prototipado .....	40
4.4.1. Fabricación de componentes .....	40
4.4.2. Ensamble de componentes .....	40
4.5. Fase de testeo .....	41
4.5.1. Pruebas de funcionamiento .....	41
4.5.2. Pruebas de aplicabilidad (Validación pedagógica) .....	41
Capítulo 5. Resultados .....	42
5.1. Fase de empatía .....	42
5.2. Fase de definición .....	43
5.2.1. Planteamiento del diseño.....	43
5.2.2. Cálculos Termodinámicos y paramétricos .....	52
5.3. Fase de ideación .....	62
5.4. Fase de prototipado .....	66
5.4.1. Fabricación de componentes .....	66
5.4.2. Sistema eléctrico .....	73
5.4.3. Control de seguridad .....	75
5.4.4. Control de funcionamiento.....	76
5.4.5. Sistema de indicación.....	77
5.4.6. Sistema de potencia.....	79
5.4.7. Sistema de combustible.....	81
5.4.8. Accesorios .....	82
5.4.9. Ensamble de componentes .....	83
5.5. Fase de testeo .....	85
5.5.1. Pruebas de funcionamiento .....	85
5.5.2. Pruebas de aplicabilidad (Validación pedagógica) .....	86
Capítulo 6. Conclusiones .....	89
Capítulo 7. Recomendaciones .....	92
Lista de referencias .....	94
Anexos .....	96
Anexo 1. Encuesta C1-005 (24/06/20).....	96
Anexo 2. Manual técnico – Estatorreactor TR -120 .....	1

Anexo 3. Protocolo de uso para estudiantes.....	1
Anexo 4. Protocolo de uso para docentes .....	4
Anexo 5. Evaluación de protocolo por los alumnos .....	7
Anexo 6. Evaluación pedagógica por el docente .....	1

## **Lista de tablas**

Tabla 1. Análisis de alternativas .....	4
Tabla 2. Desarrollo de la metodología.....	38
Tabla 3. Identificación del problema .....	42

## Lista de figuras

Figura 1. Semestres encuestados.....	4
Figura 2. Cuarta pregunta de la encuesta C1-005.....	5
Figura 3. Árbol de problemas .....	1
Figura 4. Quinta pregunta de la encuesta C1-005.....	2
Figura 5. Árbol de objetivos .....	1
Figura 6. Misil Ramjet Nammo (2018).....	7
Figura 7. Estatorreactor de la Universidad de Callao (Perú) .....	8
Figura 8. Diseño conceptual del motor X-51 de la NASA .....	9
Figura 9. Máquina de vapor de Heron .....	12
Figura 10. Hélice de Da Vinci .....	13
Figura 11. Vagón de Newton.....	14
Figura 12. Misil Talos.....	16
Figura 13. Ramjet subsónico.....	18
Figura 14. Ramjet supersónico .....	18
Figura 15. Partes y funcionamiento de un Scramjet .....	19
Figura 16. Etapas de un Ramjet .....	20
Figura 17. Ciclo termodinámico ideal de un Ramjet .....	21
Figura 18. Componentes de un estatorreactor.....	27
Figura 19. Componentes de un Pulsorreactor .....	28
Figura 20. Lubricator Rolls Royce Olympus 593.....	28
Figura 21. Turbofán JTD9-20 de Pratt de Whitney .....	29
Figura 22. Componentes de un Turboprop .....	30
Figura 23. Componentes de un Turboshaft.....	30
Figura 24. Diagrama de compresor axial.....	32
Figura 25. Diagrama de compresor centrifugo .....	32
Figura 26. Partes de una cámara de combustión tubo-anular .....	33
Figura 27. Partes de una cámara de combustión anular.....	34
Figura 28. Funcionamiento general de una turbina .....	35
Figura 29. Fases de la metodología Design Thinking.....	37
Figura 30. Primeras pruebas de definición .....	47

Figura 31. Pruebas de campo del Flame Holder .....	48
Figura 32. Prueba de generación de llama .....	49
Figura 33. Prueba de tobera recta .....	50
Figura 34. Prueba de entrada de aire al motor .....	51
Figura 35. Diagrama de ciclo ideal de un Ramjet.....	53
Figura 36. Modelo de combustión de un Ramjet.....	55
Figura 37. Diagrama de difusor conico.....	62
Figura 38. Plano 2D del difusor .....	63
Figura 39. Ensamble en 2D del estatorreactor .....	63
Figura 40. Ensamble y posicionamiento del Flame Holder .....	64
Figura 41. Simulación de flujo de aire laminar.....	65
Figura 42. Simulación de inyección de combustible .....	65
Figura 43. Mecanizado de la primera parte del difusor .....	66
Figura 44. Mecanizado de la primera parte de la cámara de combustión.....	67
Figura 45. Caja para ensamblar el Flame Holder .....	68
Figura 46. Mecanizado de la cámara de combustión completa .....	69
Figura 47. Disco en bruto para el Flame Holder.....	69
Figura 48. Mecanizado del Flame Holder.....	70
Figura 49. Recubrimiento de fibra de Vibrio .....	71
Figura 50. Base en conjunto del estatorreactor .....	72
Figura 51. Base del prototipo.....	73
Figura 52. Panel de control .....	75
Figura 53. Interruptor de llave .....	76
Figura 54. Indicador de encendido.....	77
Figura 55. Indicador de chispa.....	78
Figura 56. Indicadores de temperaturas .....	78
Figura 57. Variador de frecuencia .....	79
Figura 58. Método de tubo Pitot .....	80
Figura 59. Soplador industrial.....	80
Figura 60. Inyector de combustible .....	81
Figura 61. Gatos niveladores .....	82

Figura 62. Ensamble del motor.....	83
Figura 63. Ensamble a la estructura base.....	84
Figura 64. Soporte del soplador.....	84
Figura 65. Pruebas del sistema de combustion.....	85
Figura 66. Prueba del sistema de control.....	86

## **Capítulo 1. Introducción e Información General**

Los motores son parte fundamental del área industrial aeronáutica, por lo tanto, son un componente esencial en el entorno educativo de las carreras enfocadas en aviación; estas carreras, en donde se encuentra incluida la ingeniería aeronáutica, deben cumplir con una referencia de educación general tanto técnica como especializada en esta área, dado por el Ministerio de Educación, como carrera profesional de ingeniería, procurando que los alumnos desarrollen capacidades de diseño, fabricación, mantenimiento y sostenibilidad de estos productos aeronáuticos.

El presente documento, cuenta con el estudio relacionado a detalle del diseño, fabricación, montaje y evaluación de funcionamiento, que se ha realizado al estatorreactor a gas de régimen subsónico, para uso en el campo académico como herramienta pedagógica junto con la metodología de aprendizaje basada en retos.

El desarrollo de este proyecto se encuentra dividido en diferentes fases de estudio y construcción, las cuales se encuentran conectadas mediante un diagrama estructural dado por la metodología de diseño “Design Thinking”, un tipo de investigación cuasi experimental y de diversos estudios sociológicos con respecto a los alumnos y docentes de la Escuela de Aviación del Ejército.

Para realizar todos los estudios pertinentes de la funcionalidad del estatorreactor, se revisaron textos técnicos como guía para reforzar los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería aeronáutica; adicional a esto, el uso del motor como herramienta pedagógica es basado en diversas evaluaciones pedagógicas y validaciones por docentes

especializados en la educación, adicional a esto, se desarrolla como la solución más viable con respecto al análisis de alternativas de solución para cubrir la necesidad encontrada.

### **1.1. Descripción del Problema**

En Colombia la ingeniería aeronáutica, es un programa que consiste en la aplicación de diferentes tecnologías al diseño, fabricación y la utilización de artefactos capaces de volar, con respecto a las aptitudes técnicas y científicas de la navegación. Este curso es dictado en universidades de alto nivel institucional y con capacidades educativas de calidad, puesto que los egresados de esta carrera son profesionales responsables, con pensamiento crítico y de una muy alta competitividad educativa con respecto a sus conocimientos. (Orientación Universia, 2019)

Entre estas instituciones se encuentran, la Universidad Pontificia Bolivariana, la Fundación Universitaria Los Libertadores, la Universidad de San Buenaventura y la Escuela de Aviación del Ejército (ESAVE), la cual forma parte de un sistema educativo ampliamente estructurado por el Centro de Educación Militar (CEMIL); a su vez, tiene como objetivo “Proyectar líderes integrales con conocimientos específicos para suplir las necesidades en el campo del mantenimiento como ingenieros competitivos para la ejecución de operaciones de preservación de equipos aeronáuticos y desarrollo de capacidades para crear, investigar, diseñar, evaluar, mantener, administrar y solucionar los problemas de la industria aeronáutica” mediante un programa de ingeniería aeronáutica con énfasis en mantenimiento de aeronaves. (Escuela de Aviacion del Ejercito, 2019)

La ingeniería aeronáutica como profesión, consta de diferentes fases de aprendizaje para ofrecer profesionales de alta calidad y eficientes en su labor. Esta calidad y eficiencia se logra, incorporando diferentes metodologías de educación en su desarrollo curricular; entre estas metodologías se encuentra la educación clásica, en la cual, los estudiantes se limitan a la teoría y fundamentos dados por el maestro y realizan una serie de ejercicios genéricos de aplicación; pero según la columnista de El País, Denisse Cepeda en su columna virtual de educación “ La metodología clásica, es cosa del pasado en las instituciones, incluso, desde hace casi dos décadas, corrientes muy críticas han puesto en tela de juicio el popular y ampliamente utilizado método del caso u otros métodos novedosos, extendido por la Universidad de Harvard, la referencia mundial”; las universidades determinaron la necesidad de adoptar nuevos métodos de aprendizaje y enfocar gran parte de la educación, a desarrollar diferentes habilidades en los alumnos. (Denisse Cepeda, 2017)

Actualmente, se abarca esta necesidad con diferentes materias en el pensum académico denominadas teórico – prácticas o que brindan al alumno una visita empresarial con la finalidad de aportar un desarrollo profesional al estudiante y enfocando el aprendizaje a una sección practica que cubre las deficiencias técnicas en los temas relacionados con la teoría. Las materias teórico-prácticas constan de un desarrollo equitativo entre los fundamentos básicos (teóricos, metodológicos y habilidades propias de la ingeniería) y el campo profesional aplicado; obstante a esto, los estudios realizados por el Ingeniero Guillermo Sánchez (1990) resaltan que “Al tomar un 100% para el tiempo de cátedra que se dedica al campo profesional global, los resultados indican un promedio del

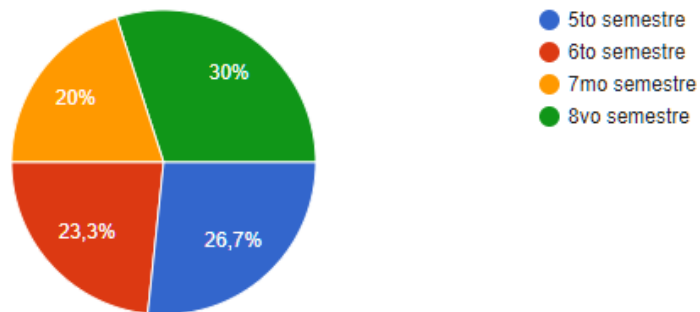
76.6% del tiempo para el campo profesional básico (los fundamentos básicos) y un 23% para el aplicado (Campo profesional aplicado)".(p.2)

La Escuela de Aviación del Ejercito (ESAVE), disminuye de manera considerable el campo profesional aplicado (Prácticas) en algunas materias fundamentales para su énfasis de la carrera, dando un porcentaje inferior al 23% o realizando un enfoque diferente en las prácticas. Según la encuesta realizada "Encuesta C1-005" (Anexo 1) por el grupo de trabajo interno el día 24/06/2020, en un margen de población limitado a integrantes de los semestres 5to, 6to, 7mo y 8vo, para encontrar el nivel de satisfacción y calidad educativa a perspectiva de los estudiantes de la ESAVE, con respecto a las materias teórico-prácticas y asimilando estas con (Termodinámica), (Motores de aviación), (Hélices, rotores y tren de potencia) y (Mantenimiento y reparación de motores).

**Figura 1. Semestres encuestados**

Semestre actual (cursado)

30 respuestas



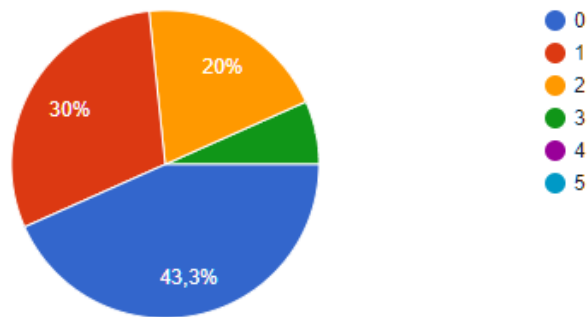
Nota. El grafico representa los semestres encuestados según el número de participantes en la encuesta C1-005 realizada por el grupo de trabajo interno el día 24/06/2020. Tomada del **Anexo 1** (Pregunta: Semestre actual cursado, primera pregunta).

En la Figura 1 se muestran las 30 respuestas (26.7% 5to semestre, 23.3% 6to semestre, 20% 7mo semestre, 30% 8vo semestre). y estas evidencian el porcentaje de actividad práctica, que realiza la institución en materias específicas.

**Figura 2. Cuarta pregunta de la encuesta C1-005**

Teniendo en cuenta su semestre actual y las siguientes materias: (Termodinámica), (Motores de aviación), (Hélices, rotores y tren de potencia) y (Mantenimiento y reparación de motores). Que porcentaje aproximado de actividad practica realizo en estas. \*Responder con una cifra de 0 a 5: siendo 0 (Solo se enfocaron en teoría) y 5 (un 50% de la materia fue practica)

30 respuestas



Nota. El grafico representa el porcentaje aproximado de actividad prácticas en las materias relacionadas con motores de aviación, de forma general y según la perspectiva de los estudiantes. Tomada del **Anexo 1** (Cuarta pregunta).

Según la Figura 2 de los diferentes semestres, que cursaron materias como Termodinámica, Motores de aviación, Hélices, rotores y tren de potencia y Mantenimiento y reparación de motores (5to semestre, 6to semestre, 7mo semestre y 8vo semestre); el 43.3% de los encuestados, únicamente enfocaron las materias a teoría y no realizaron

practica alguna; el otro 56.7% de los estudiantes, vio una cantidad inferior al 30% de los temas prácticos de la materia. Dando como resultado una cadencia en el campo profesional aplicado que tienen estas materias, las cuales, cubren un porcentaje importante en tanto a la integridad competitiva de los alumnos y logran afectar los fundamentos teóricos y la calidad institucional.

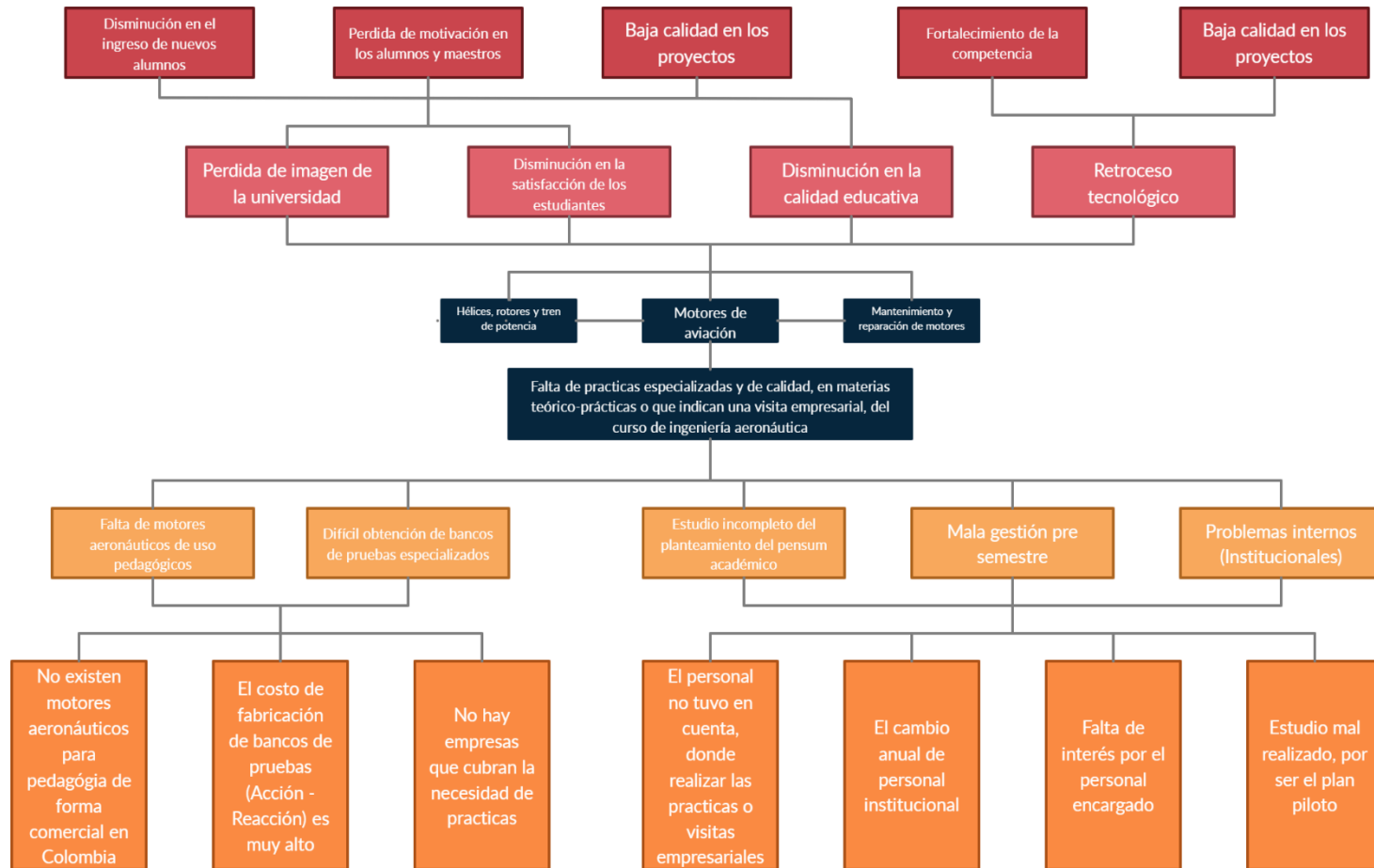
Identificando esta falla se determinan como causas probables varios puntos factibles, de los cuales podemos resaltar los siguientes:

- Falta de motores aeronáuticos de uso pedagógico
- Difícil obtención de bancos de pruebas especializados

Puesto que las materias “Motores de aviación”, “Hélices, rotores y tren de potencia” y “Mantenimiento y reparación de motores”, son enfocadas especialmente en el énfasis de la carrera (mantenimiento de aeronaves); estas requieren de unos prototipos funcionales fundamentales o bancos de pruebas de acción-reacción, que cubran las necesidades prácticas en el campo profesional y fortalezcan los conocimientos teóricos implantados en los fundamentos básicos.

Estos prototipos funcionales o motores de carácter pedagógico son un punto factible en el cual se fundamenta un déficit en la calidad institucional y educativa, puesto que la institución no tiene posesión de ninguno de ellos o la difícil obtención por parte del ente encargado del campo profesional aplicado. Esta carencia dificulta la disposición y el aprendizaje a los estudiantes que aspiran el título profesional de ingeniero aeronáutica, adicional a esto, genera diferentes efectos negativos evidenciados en la Figura 3.

**Figura 3. Árbol de problemas**



Nota. En el árbol podemos identificar las posibles causas de color naranja, el problema principal de color azul oscuro y los efectos de color rojo. Realizado por el grupo de trabajo interno en forma de justificación ante la problemática.

El problema principal resaltado la Figura 3 se encuentra basado en la problemática del plan piloto de la Escuela de Aviación del Ejército en la carrera de ingeniería aeronáutica sobre la falta de prácticas en las materias teorice - practicas; adicional a esto, la inexistencia o mala calidad de las practicas del plan piloto de la institución, no se han solucionado de manera eficiente ya que aún siguen registrándose las mismas falencias en diferentes cursos y semestres de la ingeniería.

### **1.2. Pregunta de Investigación**

Al identificar la falta de prácticas especializadas y de calidad, en materias teórico – prácticas o que indican una visita empresarial del curso de ingeniería aeronáutica, se formuló la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se debe desarrollar un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica, para las prácticas especializadas de las materias relacionadas con motores aeronáuticos de la Escuela de aviación del Ejército?

### **1.3. Justificación**

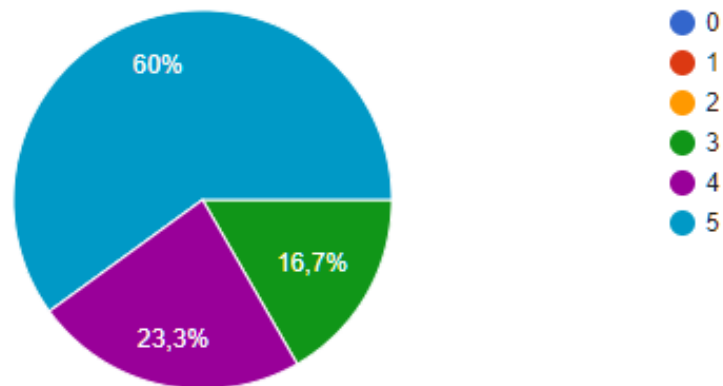
Con la elaboración e implementación de este proyecto, se brindan amplios espacios para fortalecer y aplicar los fundamentos teóricos de materias como “Motores de aviación” y “Mantenimiento y reparación de motores”; Estas materias abarcan temas teórico-prácticos tales como las clases, las partes, los funcionamientos y características de combustión de un motor. Todo esto se llevará a cabo, por medio de la interacción con un

prototipo funcional de motor estatorreactor a gas de régimen subsónico, teniendo en cuenta la posibilidad de realizar prácticas experimentales en el mismo.

Debido a la importancia de los motores en la aviación y sus diferentes clases; plantear un proyecto en el cual, las practicas logren una cobertura adicional a temas teóricos en tanto a la funcionalidad y operación de este producto aeronáutico según RAC 21 – Tercera enmienda (2019) “clase 1”; posibilitará la formación en el conocimiento práctico de los alumnos en el área y por consecuente se generará un incremento competitivo en el profesionalismo de los egresados. (Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, 2019)

**Figura 4. Quinta pregunta de la encuesta C1-005**

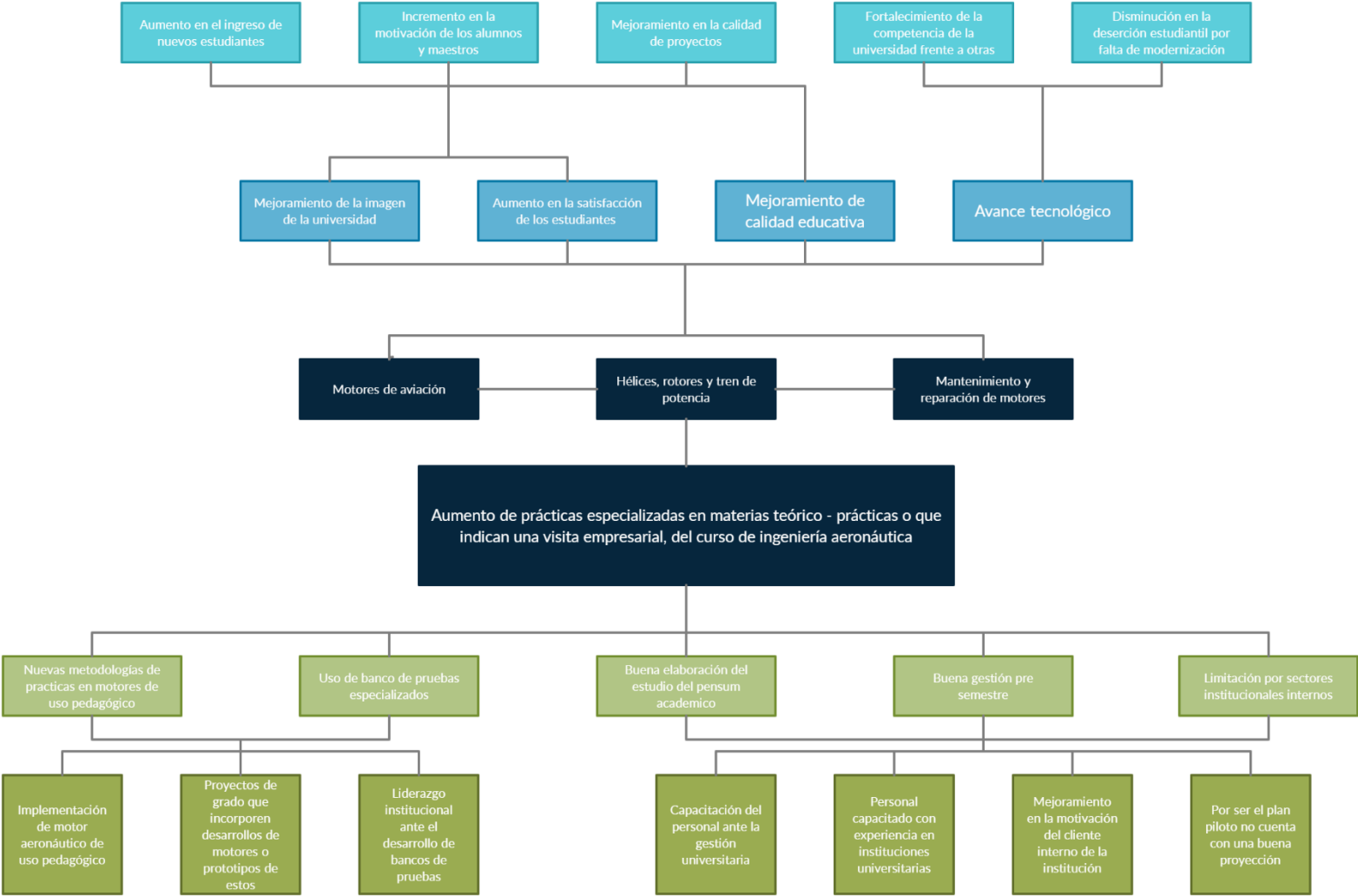
30 respuestas



Nota. El grafico representa el porcentaje aproximado de satisfacción ante las clases y el incremento en la calidad de estas, desde la perspectiva del estudiante con respecto a la implementación de un prototipo didáctico que cubra las partes prácticas en materias referentes a motores aeronáuticos. Tomada del **Anexo 1** (Quinta pregunta).

En la Figura 4, se evidencia que un 60% de los estudiantes encuestados, piensan que el incremento en la satisfacción y calidad académica es exponencial, teniendo un prototipo funcional para sus prácticas teóricas, y un 40% ve un aumento ponderado considerable en estos caracteres. (**Anexo 1**)

**Figura 5. Árbol de objetivos**



Nota. En el árbol podemos identificar las actividades a realizar de color verde, el objetivo principal de color azul oscuro y los efectos de color azul. Realizado por el grupo de trabajo interno en forma de justificación ante el análisis de alternativas.

Teniendo en cuenta la importancia de la satisfacción y opinión de los estudiantes, realizar un prototipo didáctico, incrementa algunos caracteres, los cuales son directamente proporcionales a la calidad educativa, como se puede evidenciar en la Figura 5. Al igual, incrementar estos caracteres, validan el fortalecimiento de la competitividad educativa en los estudiantes, de manera teórica, práctica y sociológica.

Los motores estudiados en el campo educativo de la ingeniería aeronáutica son elegidos por sus características y su operación, teniendo en cuenta que los diferentes motores tienden a realizar la misma función física y termodinámica; se relaciona el estatorreactor como un pilar fundamental ante el estudio de estas funciones, puesto que según (Great Bustard's Flight, 2019) un estatorreactor es un sistema termodinámico de ciclo combinado, que integra dos sistemas de propulsión en un único ciclo. Estos motores no cuentan con un campo comercial universitario, por lo tanto, la compra de estos elementos tiende a relacionar precios elevados, tanto de modelo como de impuestos nacionales (si son importados); En otras palabras, la universidad contará con un prototipo funcional al terminar este proyecto, el cual será eficiente en tanto las prácticas que se pueden realizar en él y su costo de fabricación será un porcentaje bajo comparado con su compra. Adicional a esto, la fácil obtención de los materiales de fabricación y mantenimiento de un prototipo estatorreactor a gas de uso didáctico son evidencias de la disminución trascendental que tiene el costo de este, comparado con una compra o importación.

Teniendo en cuenta la disminución monetaria que conlleva fabricar un prototipo de estatorreactor a gas de régimen subsónico en este proyecto, a comparación de su compra; se debe considerar el aumento de valor educativo y sociológico que este lograra dar a los estudiantes, puesto que aumentara los conceptos teóricos, por los partícipes de este proyecto, como de los demás implicados, teniendo un prototipo funcional para sus materias, tanto como docentes, como estudiantes e institución en general.

Adicional a esto, el aumento de prácticas especializadas de estas materias aumenta considerablemente unos parámetros muy importantes; Estos parámetros a su vez, logran desencadenar otro número de mejoras para la institución; Teniendo en cuenta, el aumento en la satisfacción de los estudiantes, el mejoramiento de la calidad educativa y el avance tecnológico, son puntos fundamentales para tener el soporte de porque desarrollar este proyecto.

### ***1.3.1. Análisis de Alternativas***

El objetivo principal resaltado en la Figura 5, mejora considerablemente algunos parámetros muy importantes; estos parámetros a su vez logran desencadenar otro número de mejoras para la institución. Teniendo en cuenta, el aumento en la satisfacción de los estudiantes, el mejoramiento de la calidad educativa y el avance tecnológico, son fundamentos específicos para desarrollar este proyecto.

Teniendo en cuenta que las alternativas de mejora se realizan con respecto a los objetivos de trabajar en las nuevas tecnologías de prácticas en motores de uso pedagógico y el uso de bancos de pruebas especializados, decidimos realizar este análisis con las siguientes propuestas de mejora:

- Desarrollo de un estatorreactor a gas de régimen subsónico de uso pedagógico.
- Diseño y manufactura de un banco de pruebas (Acción – Reacción, combustión, empuje y estudio por fases de un motor aeronáutico).
- Desarrollar un estudio logístico, de la metodología practica en empresas aeronáuticas o el sector educativo que cuente con las instalaciones específicas que requieran los temas prácticos (Nivel nacional e internacional a corta escala).

Para realizar este análisis de alternativas, pautamos los criterios necesarios para obtener un puntaje justo ante los proyectos propuestos; los criterios a su vez tienen un porcentaje de

importancia a la hora de evaluar, estos criterios son: Factibilidad 15% (Se requiere que el proyecto pueda realizarse con facilidad tanto en fabricación como en obtención de recursos). Participación 25% (Se debe tener en cuenta, la participación que puede tener la institución ante el proyecto, adicional al campo estudiantil, que forman parte tanto docentes, estudiantes como personal interno de la institución). Imagen 20% (El proyecto debe brindar un aumento en la imagen corporativa de la universidad ante la competencia nacional). Conocimientos 40% (Se requiere que el proyecto genere un incremento en las capacidades de los implicados en este, ya sea el campo estudiantil o la parte interna de la institución).

Los puntos de calificación que se le dan a cada criterio son basados en notas cuantitativas que van desde 1 punto (siendo la calificación mala, no viable), hasta 5 puntos (siendo la calificación excelente).

**Tabla 1. Análisis de alternativas**

Criterios	Porcentaje	Estatorreactor a gas de régimen subsónico de uso pedagógico		Banco de pruebas (Acción – Reacción, combustión, empuje, estudio por fases)		Metodología practica en empresas o sector educativo	
		Calif.	Puntos	Calif.	Puntos	Calif.	Puntos
Factibilidad	15%	4.2	0.63	3.4	0.51	2.0	0.3
Participación	25%	5.0	1.25	5.0	1.25	4.2	1.05
Imagen	20%	4.6	0.92	4.2	0.84	5.0	1
Conocimientos	40%	4.8	1.92	4.8	1.92	3.5	1.4
<b>Total</b>	<b>100%</b>		<b>4.72</b>		<b>4.52</b>		<b>3.75</b>

Nota. Esta tabla muestra los criterios de interés y la puntuación que recibió cada alternativa. Realizado por el grupo de trabajo interno en forma de justificación ante el análisis de alternativas.

Realizando el estudio del análisis visible en la Tabla 1, se logran determinar las puntuaciones de cada alternativa y tomamos como solución probable, la más viable según la puntuación obtenida; Esta solución considerable “Desarrollo de un estatorreactor a gas de régimen subsónico de uso pedagógico” es elegida por su puntuación con respecto a la importancia que tiene cada criterio, puesto que es un fundamento claro de porque es una alternativa de solución que puede alcanzar los objetivos propuestos de mejora.

## **1.4. Objetivos**

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

Desarrollar un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica, que contribuya en las prácticas especializadas de las materias, “Motores de aviación”, “Hélices, rotores y tren potencia” y “Mantenimiento y reparación de motores”.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

1. Realizar el estudio pertinente con respecto a los puntos de empatía y definición según la metodología “Design Thinking” para generar una alternativa de solución que cubra la necesidad encontrada.
2. Elaborar un diseño preliminar y conceptual de un motor estatorreactor a gas de régimen subsónico.
3. Desarrollar un Producto Mínimo Viable (PMV) de carácter pedagógico, a partir de los parámetros de construcción que se aplican en este producto aeronáutico.
4. Evaluar de manera técnica el PMV obtenido, en forma de testeo ante la metodología “Design Thinking”

5. Evaluar de manera pedagógica el uso de un estatorreactor a gas de régimen subsónico en materias teórico – prácticas relacionadas.

### **1.5. Delimitación del Proyecto**

**Espacio:** El presente proyecto y sus respectivas actividades de operación se desarrollan en el laboratorio de la Escuela de Aviación del Ejército (ESAVE) sede en Bogotá D.C.

**Temática:** El proyecto se realizará con fines investigativos y de innovación ante la implementación de un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica, en las materias teórico – prácticas o que indiquen una visita empresarial en su syllabus, otorgando una nueva metodología de aprendizaje.

**Población y muestra:** La población afectada por este estudio es el cliente interno y externo de la Escuela de Aviación del Ejército (ESAVE) y se toma como muestra los estudiantes de ingeniería aeronáutica.

**Tiempo:** El desarrollo de la investigación, los experimentos y sus respectivos análisis, se ejecutan en un tiempo de 7 meses.

## Capítulo 2. Estado del Arte

El estatorreactor o Ramjet ha tenido muchos avances significativos a través del tiempo, los cuales se central generalmente en el estudio del vuelo de misiles por sus características funcionales. Actualmente muchas empresas fabrican este tipo de motor teniendo en cuenta diferentes estudios tanto de construcción como de su función interna, un caso específico es la empresa aeroespacial y de defensa internacional Nammo A.S.(Noruega); la cual expuso en la feria internacional de defensa de 2018 la última versión de misil con propulsión tipo Ramjet que funciona con combustible sólido y puede ser lanzado desde una aeronave en vuelo. (Nammo, 2014)

*Figura 6. Misil Ramjet Nammo (2018)*



Nota. Este misil Ramjet hace parte de la exposición de la empresa Nammo en la feria internacional de defensa en 2018 realizada en noruega. Tomada de la página oficial de la empresa Nammo A.S.

Adicional a esto, la empresa Nammo A.S. genera diferentes estudios con referencia a misiles de ataque naval, misiles aire-aire e incluso misiles de defensa y ataque interactivo para submarinos con principios de propulsión o funcionamiento Ramjet; En la actualidad se encuentra

trabajando como Nammo Talley en los Estados Unidos con una línea de productos aeronáuticos clase 1 como motores de cohetes con combustible sólido especializado. (Nammo Talley, 2014)

En el campo académico, el estatorreactor ha funcionado como elemento de aprendizaje implementándolo en diferentes metodologías de estudio, en la entrevista realizada al ingeniero Ordoñez Cárdena “El estatorreactor es una base fundamental en la instrucción de materias asociadas a la propulsión” (Ordoñez Cardenas, 2019) y se ve reflejado en la investigación realizada por la Universidad de Callao (Perú), que trata del diseño y fabricación de un prototipo de estatorreactor de régimen subsónico que funciona con combustible líquido, con el fin de acoplarlo a un banco de pruebas y obtener datos específicos del motor y su funcionamiento.

***Figura 7. Estatorreactor de la Universidad de Callao (Perú)***



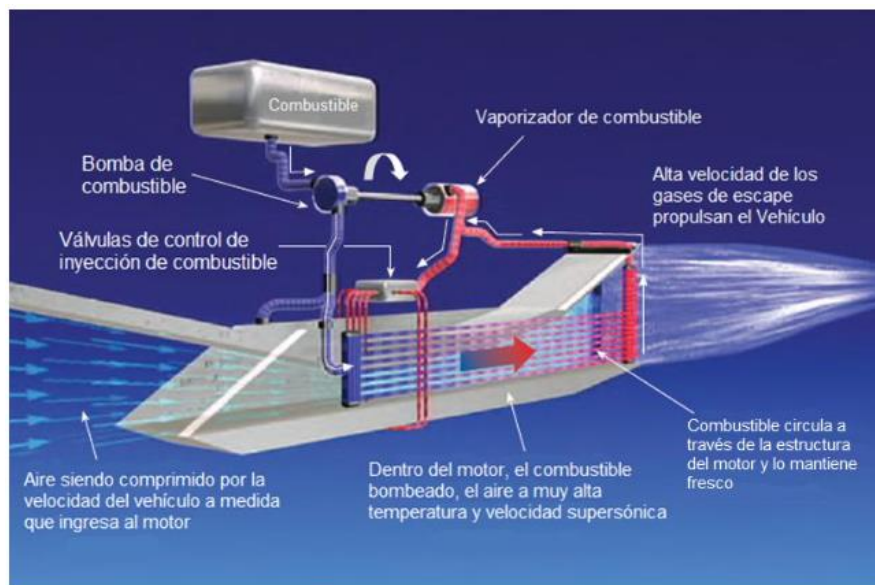
Nota. Este estatorreactor hace parte de un proyecto de grado basado en el diseño y construcción del motor. Tomada del documento final de tesis (Universidad de Callao).

Por otra parte, la universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador, en 2017 modernizó y adaptó el funcionamiento digital de un banco de pruebas para elementos de propulsión con pulsorreactores y Ramjets, este arroja medidas específicas para poder comparar con datos teóricos

por medio de sensores y programas matemáticos, diseñados por el ingeniero a cargo. Este proyecto, según el ingeniero Báez Calderón (2017) “Actualmente contribuye a la formación de los estudiantes de la universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador, debido a que hace parte fundamental del laboratorio de motores de combustión interna”.

Adicional a estos proyectos, en 2013 la Fundación Universitaria Los Libertadores adelanto el diseño de un estatorreactor de régimen supersónico enfocado en la propulsión de vehículos hipersónicos, el cual se le realizaron los análisis correspondientes para demostrar su funcionalidad, siendo el primero u único adelanto en el país, referente a este tipo de artefactos tecnológicos. (Rodríguez Baron, 2013)

**Figura 8. Diseño conceptual del motor X-51 de la NASA**



Nota. Este diseño muestra las partes principales del motor X-51 de la NASA. Tomada del documento final de tesis (Fundación Universitaria Los Libertadores).

Teniendo en cuenta los proyectos nacionales e internacionales relacionados con los motores de aviación y los Ramjets de carácter pedagógico, implícitamente relacionan metodologías de

aprendizaje en su uso; una de estas metodologías es el Aprendizaje Basado en Retos (ABR), el cual según los ingenieros de la Universidad de Zaragoza (España) “Este método incluye el aprendizaje cooperativo, la visión de los problemas que afectan de forma global a toda la humanidad y la visión aplicada de diversas materias académicas”; al ser implementado en materias específicas, logra brindar al alumno un desarrollo más técnico y conceptual ante problemas cotidianos, fundamentando soluciones eficientes y diferentes según el estudiante. (Ángel Fidalgo; María Sein-Echaluze; Francisco García, 2017)

El estudio realizado por los ingenieros de la Universidad de Zaragoza (España), nos muestra como esta metodología de aprendizaje, fomenta al estudiante a encontrar soluciones eficientes y prácticas ante problemas específicos, con un estudio realizado por ellos mismos en que dividen a los alumnos de la institución en 28 equipos de trabajo y brindan un problema en que cada grupo debe fomentar una solución viable; como resultado “Los equipos que no han conseguido implementar una solución eficaz al reto fueron 4 y se debe a que no han realizado de forma correcta la elaboración de los recursos guía, debido a la mala gestión del trabajo en equipo y por consiguiente la solución y la implementación del reto” de lo cual, podemos resaltar la importancia que tienen los conceptos técnicos en la implementación de soluciones ante problemas específicos. (Ángel Fidalgo; María Sein-Echaluze; Francisco García, 2017)

Al igual, un programa pionero realizado en Colombia por la Universidad del Rosario en la Escuela de Administración, el cual es participe la empresa NAOS en 2020; nos brinda un análisis mucho más completo de como los estudiante, profesores y clientes internos de la empresa, relacionan soluciones ante problemas de la empresa, teniendo como referente la estrategia pedagógica de Aprendizaje Basado en Retos (ABR).

Este plan, indujo a los participantes a relacionar soluciones relacionadas con el marketing y con la internacionalización de la compañía en el contexto del mercado de la dermo-cosmetica en

Colombia, permitiendo a estos, centrar todo el proceso de enseñanza al estudiante y hacer que la estrategia de aprendizaje basado en retos sea una fuente exitosa de nuevos conocimientos, soluciones eficaces y experiencias enriquecedoras para los alumnos. (Cuero Acosta & Paredes Escobar, 2020)

## Capítulo 3. Marcos Referenciales

### 3.1. Marco Histórico

Los motores de aviación significan un gran avance tecnológico para el ser humano, debido a las investigaciones que se han realizado a través de las décadas, con el fin de optimizar el uso de combustible o disminución de emisión de gases contaminantes; abriendo puertas a nuevas teorías y conjeturas acerca del funcionamiento de un motor a reacción.

El funcionamiento de un motor a reacción ha evolucionado a través del tiempo, todo comenzó desde que Heron de Alejandría inventó una máquina de vapor que constaba de una esfera con dos salidas ubicadas de manera paralela que, al calentar agua dentro de la esfera, el vapor de agua generado salía a gran velocidad por las salidas generando un movimiento circular. (El-Sayed & A.F, 2016)

*Figura 9. Máquina de vapor de Heron*

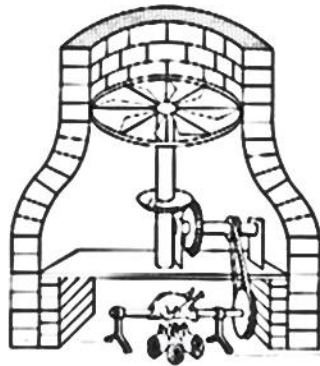


Nota. Máquina propuesta por Heron para generar movimiento mediante vapor. Tomada del libro Aircraft Propulsion and Gas Turbine Combustion.

En el año 1000 D.C, en china se hicieron descubrimientos acerca de la propulsión y como al adaptar un cilindro con pólvora a una flecha podía atravesar diferentes superficies como madera, al encender el contenido del cilindro. Posteriormente, estos nuevos artefactos fueron utilizados en las batallas chinas aproximadamente en el año 1232 D.C, dando paso a las primeras armas propulsadas por la tercera ley de newton.

Tiempo después, el intelectual Leonardo Da Vinci, procede a realizar varios manuscritos que datan del año 1486 D.C, donde se plasman especificaciones de como el humano podría volar gracias a varios artefactos, uno de estos artefactos más famosos en la aviación fue el Ornitóptero, impulsado por el humano, con un sistema de alas flexibles. Posterior a esto, en el año 1500 D.C, resalta una especie de hélice que rotaba con el aire presurizado, debido al previo calentamiento en una cámara termodinámica y esto giraba un movimiento rotacional. (El-Sayed & A.F, 2016)

***Figura 10. Hélice de Da Vinci***



Nota. Máquina propuesta por Da Vinci para generar movimiento mediante una cámara termodinámica. Tomada del libro Aircraft Propulsion and Gas Turbine Combustion.

Estos estudios fueron realizados antes de que el físico Isaac Newton formulara las reconocidas, leyes de Newton, pero para comprobar su tercera ley (Ley de acción y reacción) se apoyó en el ingeniero Jacob Gravesland, para desarrollar un especie de carruaje apoyado sobre cuatro ruedas que se impulsaba gracias al vapor de agua que salía a gran velocidad en dirección contraria al movimiento del carruaje en el año de 1687, su funcionamiento era básico para el funcionamiento teórico, por el cual las aeronaves pueden volar.

Consiste en una caldera con agua que se calentaba en una esfera, el vapor de agua salía expedido por una especie de tobera en la parte trasera del carruaje, este prototipo no generaba el suficiente empuje para lograr mover el carruaje, pero fue una de las bases de la que se apoyó Newton para formular sus aportes a la ciencia de la propulsión.

***Figura 11. Vagón de Newton***



Nota. Vehículo propuesto por Newton para generar movimiento mediante una cámara termodinámica. Tomada del libro Aircraft Propulsion and Gas Turbine Combustion.

Posterior a esto, en el año de 1791, se le otorgo una patente a John Barber por crear el primer motor que funcionaba con un ciclo termodinámico, aunque era de tipo reciproco se reconoce por ser la primera patente otorgada a un artefacto de estos. (El-Sayed; Ahmed F., 2017)

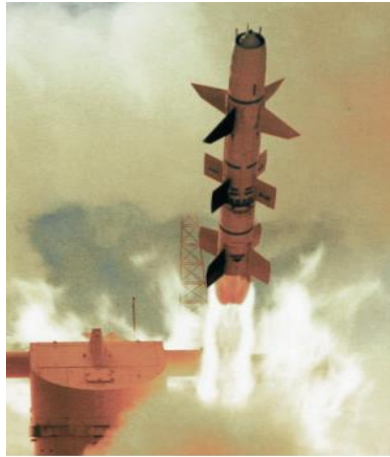
Al estatorreactor se le considera en la historia como la esencia de los turborreactores modernos, este tipo de motores se caracterizan por la ausencia de partes mecánicas que generen algún movimiento en su interior; es mejor conocido por sus siglas en inglés Ramjet.

Fue inventado por el ingeniero y científico francés René Lorin en 1913, debido al uso inadecuado de materiales no pudo realizar un prototipo funcional de este, pero patentó sus diseños en años posteriores, gracias a los avances brindados por Lorin, en 1949 el ingeniero René Leduc logró diseñar uno de los primeros estatorreactores; En un principio se había ideado que el Ramjet fuera utilizado en misiles y proyectiles de artillería, así lo expuso en una de sus patentes el inventor húngaro Albert Föno introduciendo así el término de motor propulsado por chorro de aire, o air jet engine. (El-Sayed; Ahmed F., 2017)

Posterior a esto, después de la segunda guerra mundial se realizaron estudios acerca de la propulsión supersónica con este tipo de motor, brindando así en sus primeras pruebas velocidades superiores a 2,19 Mach como en el caso de la aeronave francesa Nord 1500 Griffon en 1958, también fue utilizado para propulsar aeronaves en otros países tales como; Suecia (RR2, RRX-1 y RR-5), Unión soviética URSS (SA Ganef- SA6 Gainful), y Francia (ONERA Stalckx, misiles SE4400, CT41 and VEGA, Snecma ST 401, ST 402 and ST 407).

En Estados Unidos durante el tiempo de guerra se adelantaba un estudio del uso de Ramjet en misiles antiaéreos para derribar aeronaves enemigas en el teatro del pacífico, gracias al programa Bumblebee se diseñaron los misiles lanzados desde una superficie móvil llamados (Terrier, Tartar y Talos), estos misiles eran propulsados por un motor de cohete y un Ramjet en el año 1944 previamente probado. (Waltrup P.; White M.; Zarlingo F. & Gravlin E., 1997)

**Figura 12. Misil Talos**



Nota. Misil tipo Ramjet desarrollado por Estados Unidos. Tomada del libro History of Ramjet and Scramjet Propulsion Development.

Gracias a los avances realizados, se condujo a la investigación y el estudio de los Ramjets como medio de propulsión supersónica, dejando como conclusión que era más viable instalar un Aero reactor a un misil que un motor de cohete debido a que este último no tenía la suficiente autonomía y su alcance era relativamente corto.

Posterior al diseño de esos misiles antiaéreos el siguiente paso era poder controlar el misil por medio de un radar para aumentar el radio de acción hasta 100 millas náuticas, para esto el primer método de propulsión diseñado fue el Ramjet Cobra que alcanzó una velocidad de Mach 2 a una altitud de 20,000 pies en junio de 1945, este fue el primer prototipo de aerorreactor que voló a un régimen supersónico, estas pruebas lograron demostrar que el diámetro de la entrada de aire era un factor importante en el funcionamiento óptimo de un estatorreactor dando inicio a unas pruebas posteriores en 1948 y 1950 que alcanzaron velocidades de Mach 2,4 a 30,000 pies de altitud. (Waltrup P.; White M.; Zarlingo F. & Gravlin E., 1997)

Estados Unidos siguió con los estudios de los Ramjets, y se centraron en su funcionamiento dentro de los regímenes supersónico e hipersónico y también en el funcionamiento del estatorreactor nuclear en la década de los años 60 y 70 logrando así romper Récords históricos como el del prototipo de la NASA X-43A que alcanzó una velocidad de Mach 9,6 o 11.256 Kilómetros por hora el 16 de noviembre de 2004. (El-Sayed; Ahmed F., 2017)

### **3.2. Marco Teórico**

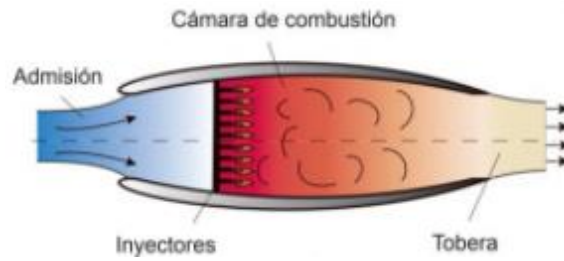
El estatorreactor aplica la tercera ley de Newton para generar empuje y mover un objeto volador por el aire, este tipo de motor por el hecho de no tener ningún mecanismo en su interior a parte de la cámara de combustión restringe su operación debido a que necesita tener una velocidad inicial para encenderse. (Lee, 2014)

Existen varios tipos de Ramjet que, aunque la mayoría de ellos generan su combustión de manera subsónica se diferencian en el régimen de velocidad a los que va a volar.

#### ***3.2.1. Tipos de Estatorreactores***

**Ramjet Subsónico.** Es un motor estatorreactor que realiza la acción de combustión a velocidades por debajo de la velocidad del sonido. Se utiliza en velocidades inferiores a la unidad Mach y su diferencia a los demás tipos de Ramjets, es que solo tiene un difusor divergente ya que el aire que ingresa en él se logra por velocidad relativa y solo se necesita desacelerarlo hasta la velocidad de llama máxima. (Galmés Belmonte, 2018)

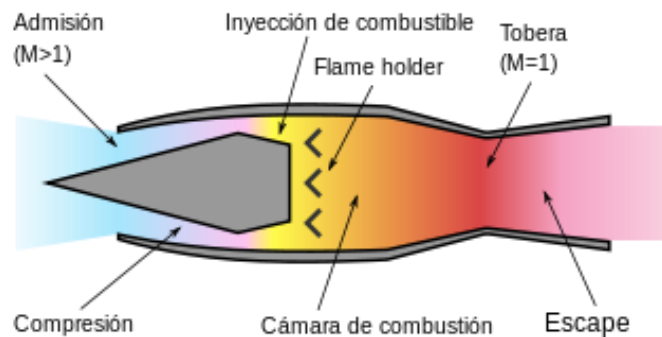
**Figura 13. Ramjet subsónico**



Nota. Esta imagen muestra las secciones de un estatorreactor subsónico. Tomada del libro Motores de reacción y turbinas de gas (2da edición).

**Ramjet Supersónico.** Tiene una configuración de difusores ideal para volar en regímenes superiores a la velocidad del sonido, ya que se compone de un difusor convergente que desacelera el aire hasta la unidad Mach y un difusor divergente que lo desacelera aún más hasta la velocidad específica utilizada en la combustión. (Cuesta Alvarez, 1980)

**Figura 14. Ramjet supersónico**

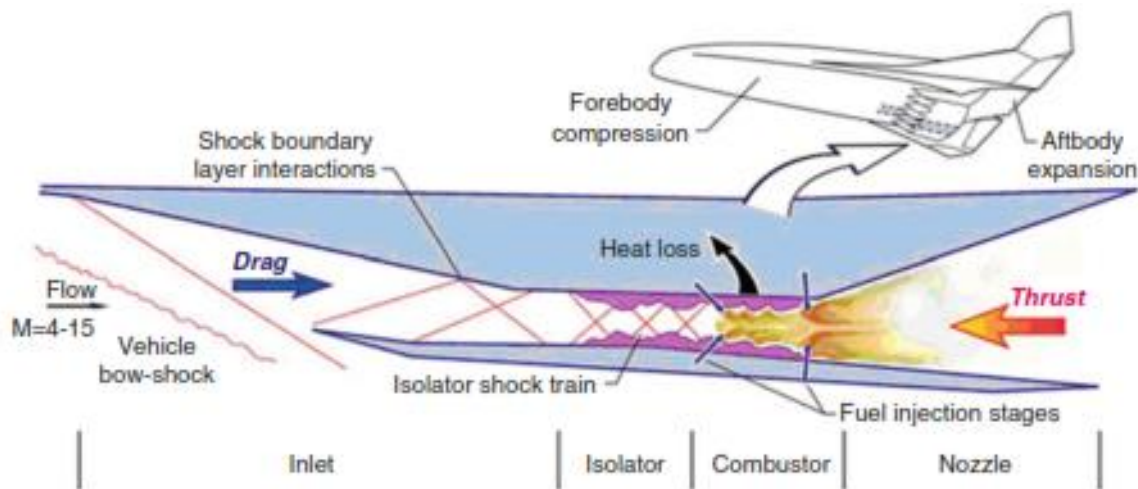


Nota. Esta imagen muestra las secciones de un estatorreactor supersónico y su equivalencia en Mach (M). Tomada del libro Motores de reacción y turbinas de gas (2da edición).

Ya que los Ramjets carecen de compresor, necesita la velocidad del aire que entra por el difusor para generar el empuje gracias a la combustión, por esta razón no tiene turbinas y la energía cinética que tiene el aire se aprovecha en su totalidad para generar empuje.

**Scramjet.** Es una variante de los estatorreactores y se caracteriza porque su proceso de combustión se hace cuando el aire tiene una velocidad supersónica, y por ende funciona en regímenes supersónicos e hipersónicos, este tipo de motor se enciende en Mach 4 y teóricamente alcanza una velocidad de Mach 17. (Rodriguez Baron, 2013)

*Figura 15. Partes y funcionamiento de un Scramjet*



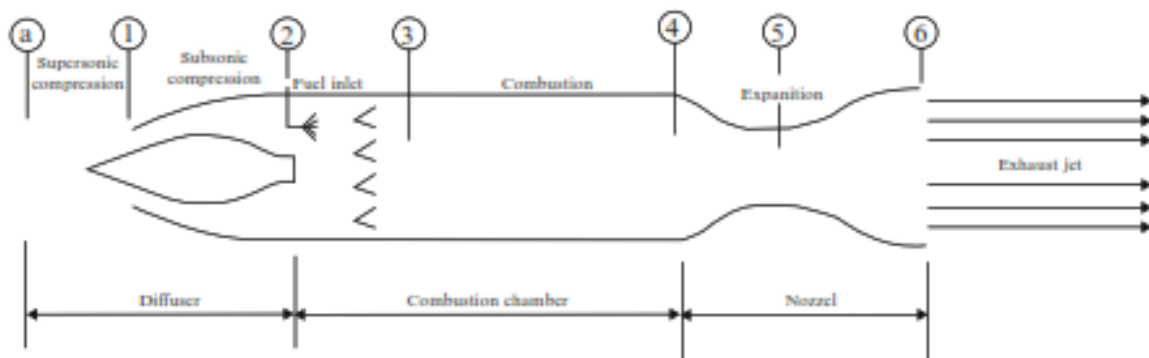
Nota. Esta imagen muestra las partes, funcionamiento y capacidades de Mach (M) de un Scramjet.

Tomada del libro Fundamentals of aircraft and rocket propulsion.

### 3.2.2. Organización y Etapas de un Ramjet

El Ramjet se divide en tres partes principales que podemos apreciar en la figura 16 y las cuales son; el difusor, cámara de combustión y la tobera. Como se puede evidenciar en la Figura 16, la entrada de aire se encuentra entre los numerales 1 & 2 y es donde el aire se desacelera y se ordena gracias al difusor, entre 2 & 3 se encuentra la inyección de combustible donde se mezcla gracias a unos conductos especiales que generan que la mezcla se lo más homogénea posible, entre 3 & 4 se encuentra la cámara de combustión o la zona caliente del motor, y es donde la mezcla se enciende para liberar la energía química del combustible, entre 4 & 6 se encuentra un conjunto de conductos de salida de gases llamado tobera que acelera el aire disminuyendo su presión. (Cuesta Alvarez, 1980)

**Figura 16. Etapas de un Ramjet**

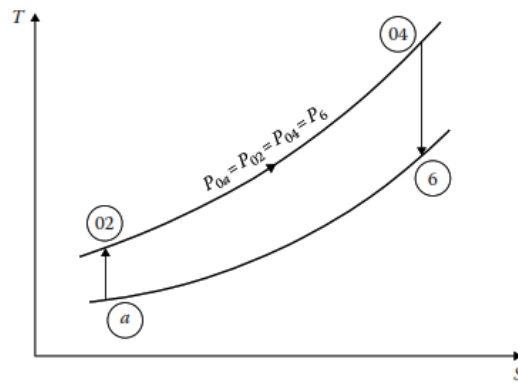


Nota. Esta imagen muestra las etapas de un Ramjet. Tomada del libro Fundamentals of aircraft and rocket propulsión.

### 3.2.3. Ciclo Ideal de un Ramjet

En un estatorreactor se toman varias variables para determinar los valores numéricos que definen su funcionamiento; los valores numéricos se hallan siguiendo las ecuaciones que identifican el ciclo termodinámico.

**Figura 17. Ciclo termodinámico ideal de un Ramjet**



Nota. Se muestra el ciclo termodinámico ideal en una gráfica de Temperatura vs entropía (J/K\* $\text{mol}$ ). Tomada del libro Aircraft propulsión and gas turbine.

Según la figura 17, el ciclo del Ramjet se caracteriza por tener la presión constante durante todo el proceso, debido a que el motor idealmente no tiene ningún proceso en el cual se le aumente o disminuya este valor, esto se demuestra matemáticamente en la Ecuación 1.

$$P_0 = P_{02} = P_{04} = P_{06} \quad (1)$$

Debido a que en el difusor o entrada de aire no se genera ningún tipo de trabajo o intercambio de calor se puede deducir que solo existen dos datos de temperatura; Los cuales son antes y después del proceso de combustión representados en la Ecuación 2.

$$T_0 = T_{02} ; T_{04} = T_{06} \quad (2)$$

Como el estatorreactor se divide en varias etapas como se puede evidenciar en la Figura 16, los cálculos se pueden hacer en cada parte; es decir difusor, cámara de combustión y tobera.

**Difusor.** Esta parte del motor también se denomina entrada de aire, y es donde el aire es desacelerado y ordenado para que se pueda hacer un proceso de combustión eficiente, las condiciones de esta etapa se hallan con las Ecuación 3 y 4:

$$P_{01} = P_a * \left(1 + \frac{\gamma_c - 1}{2} * M^2\right)^{\gamma_c / \gamma_c - 1} \quad (3)$$

$$T_{01} = T_a * \left(1 + \frac{\gamma_c - 1}{2} * M^2\right) \quad (4)$$

$P_{01}$  = Presión en la entrada del difusor.

$T_{01}$  = Temperatura en la entrada del difusor.

$T_a$  = Temperatura del ambiente.

$P_a$  = Presión atmosférica.

$M$  = Numero Mach.

$\gamma_c$  = Relación de calor específico del aire a temperatura ambiente.

**Cámara de Combustión.** En la cámara de combustión teóricamente se realiza un proceso isocórico, debido a que no existe un aumento o disminución en el volumen de aire por ende se utilizan las Ecuaciones 5 y 6 para encontrar sus valores específicos.

$$P_{03} = P_{01} * \left(\frac{T_{03}}{T_{01}}\right) \quad (5)$$

$P_{03}$  = Presión a la entrada de la cámara de combustión.

$T_{03}$  = Temperatura a la entrada de la cámara de combustión.

Como en la cámara de combustión hay un intercambio de calor debido a la energía calorífica liberada por el combustible se debe realizar un cálculo termodinámico del flujo másicos tanto de aire como de combustible para hallar la temperatura de la cámara de combustible así:

$$(\dot{m}_f + \dot{m}_a) * Cp_h * T_{03} = \dot{m}_a * Cp_c * T_{02} + \dot{m}_f * Q_R \quad (6)$$

$\dot{m}_f$  = Flujo masico del combustible.

$\dot{m}_a$  = Flujo masico del aire.

$Cp_h$  = Calor especifico del aire a la temperatura especifica. ( $T_{03}$ )

$Cp_c$  = Calor especifico del aire a temperatura especifica. ( $T_{02}$ )

$Q_R$  = Poder calorífico del combustible.

**Tobera.** La presión de salida de los gases es la misma que la de la entrada debido a que es la misma en todo el sistema por ende solo se determina la temperatura de salida de gases y se evidencia en la Ecuación 7:

$$\left(\frac{T_{03}}{T_{04}}\right) = \left(\frac{P_{03}}{P_a}\right)^{\gamma_h^{-1}/\gamma_h} \quad (7)$$

$T_{04}$  = Temperatura de salida de los gases.

La velocidad de los gases se halla con la Ecuación 8:

$$V = \sqrt{2 * Cp_h * T_{03} * \left\{1 - \left(\frac{P_a}{P_{03}}\right)^{\gamma_h^{-1}/\gamma_h}\right\}} \quad (8)$$

Para hallar el empuje se utiliza la ecuación 9:

$$T = \dot{m}_a * [(1 + f) * V_e - V] \quad (9)$$

$V_e$  = Velocidad de entrada de aire.

$f$  = Relación de flujo masico del combustible con respecto al flujo másico de aire, esta relación se muestra en la Ecuación 10.

$$f = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad (10)$$

En los cálculos de motores existe un valor numérico que nos indica el consumo de combustible a un empuje específico, el cual nos indica el consumo a diferentes regímenes de empuje y se evidencia en la Ecuación 11.

$$TSFC = \frac{\dot{m}_f}{T} = f / (T / \dot{m}_a) \quad (11)$$

Cabe destacar que en los cálculos para un caso real se deben aplicar las diferentes eficiencias, los cuales son valores numéricos constantes que simulan tanto pérdidas como ganancias que dependen de los materiales y la forma como están constituidos dentro del motor. (El-Sayed; Ahmed F., 2017)

#### ***3.2.4. Aprendizaje Basado en Retos (ABR)***

El Aprendizaje Basado en Retos o abreviadamente (ABR), es una metodología que tiene una procedencia del 2008 por la Academia Nacional de Ingeniería de los Estados Unidos donde se redactaron sus principios, desarrollos e innovaciones a mediados del 2013 – 2016; Adicional a esto, se orientó como consecuencia de problemas sociales, protección contra amenazas, promoción de una vida saludable, entre otros grandes retos. (Fidalgo, Sein-Echaluce, & Francisco, 2017)

Esta metodología se basa en que los alumnos sean los encargados principales de buscar soluciones con actitud crítica, reflexiva y cívica ante problemas predeterminados, desde sus propios puntos de vistas y análisis de la realidad que los rodea; Adicional a esto, los estudiantes proceden a realizar sus respectivas reflexiones y a ejecutar distintos métodos de acción para seleccionar las soluciones más probables ante los problemas en cuestión. (Delgado, 2013)

El ABR, tiene ciertas fases fundamentales para lograr suponer la resolución de un problema real mediante una acción concreta, estas suelen ser:

- Decisión sobre el tema
- Brainstorming y formulación de preguntas
- Desarrollo del reto
- Comprobación en contexto
- Difusión del trabajo
- Evaluación

Al seguir estas fases, se refleja un resultado esencial e incluso eficiente, ante los problemas emergentes; Adicional a esto, se logra una mejora en el entorno académico bien direccionada.

### **3.3. Marco Conceptual**

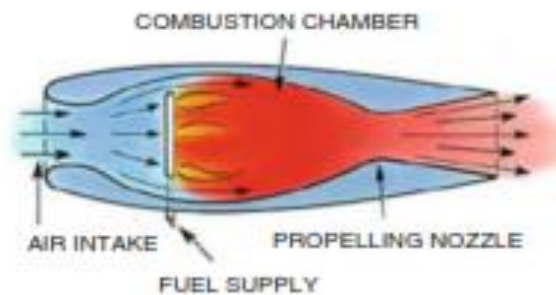
#### ***3.3.1. Motor a Reacción***

Es un tipo de motor en el cual la propulsión o empuje se genera gracias a la aplicación de la tercera ley de Newton, la cual dice que cualquier tipo de acción tiene una reacción de la misma magnitud en sentido contrario. (El-Sayed & A.F, 2016)

### 3.3.2. Tipos de Motores a Reacción

**Estatorreactor.** Este un tipo de motor el cual carece de todo componente mecánico indispensable para su funcionamiento es la base de todos los tipos de motor a reacción, su compresión es generada gracias a la velocidad de aire que entra por el difusor así que para encender este motor se debe impulsar a una velocidad requerida por medio de otro tipo de propulsor. (El-Sayed; Ahmed F., 2017)

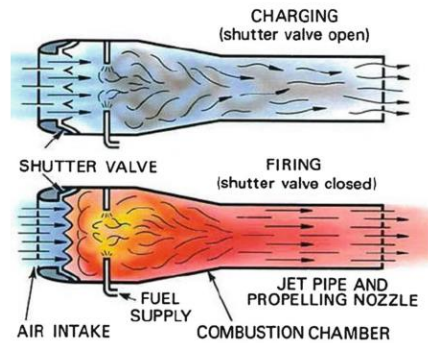
*Figura 18. Componentes de un estatorreactor*



Nota. En esta imagen se evidencian los componentes funcionales de un estatorreactor. Tomada del libro Aircraft Propulsion and Gas Turbine Combustion.

**Pulsorreactor.** Es un tipo de motor el cual su funcionamiento es equivalente al del estatorreactor, solamente se diferencia en que su combustión se genera en forma de pequeños impulsos y no de forma continua, también carece de cualquier mecanismo de compresión por lo cual se identifica con el estatorreactor como los únicos Aero-reactores que necesitan una velocidad inicial para su funcionamiento. (El-Sayed; Ahmed F., 2017)

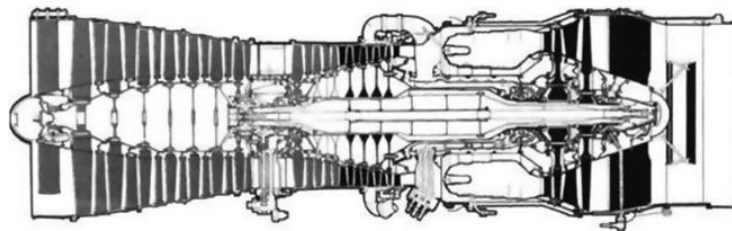
**Figura 19. Componentes de un Pulsorreactor**



Nota. En la imagen se resaltan los principales componentes y el funcionamiento de un pulsorreactor. Tomada del libro Aircraft Propulsion and Gas Turbine Combustion.

**Turborreactor (Turbo jet).** Es el primer motor a reacción que se desarrolló con sus propios mecanismos de compresión llamados turbos compresores que se compone de una turbina y un compresor, los cuales hacen que el aire que entra al motor cambie sus propiedades para aprovechar la energía química proporcionada por el combustible y así lograr el funcionamiento del ciclo Brayton. (El-Sayed; Ahmed F., 2017)

**Figura 20. Lubricator Rolls Royce Olympus 593**

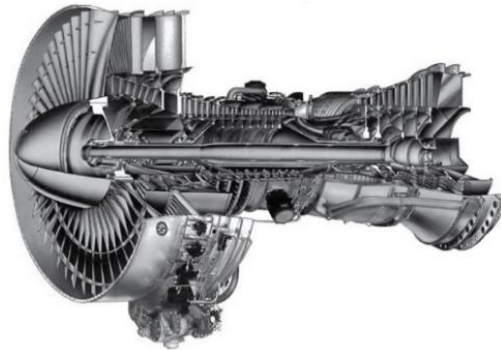


Nota. En la imagen se evidencia de forma instrumental el motor Rolls Royce Olympus 593. Tomada del libro Motores a reacción de Martin Cuesta.

**Turbofán.** Su desarrollo viene específicamente del turboreactor y su funcionamiento es el mismo, es también llamado turboreactor de flujo doble ya que su principal diferencia con el turbo jet es que tiene un flujo secundario de aire que rodea los mecanismos de compresión y la cámara de combustión, el aire del flujo secundario es acelerado por un ventilador o fan que se mueve gracias a una etapa de turbina del mismo motor. (Cuesta Alvarez, 1980)

Este tipo de motor tiene variantes que dependen de la cantidad de aire que pasa por el flujo secundario, que se llama By-Pass y se evidencia en la Figura 21.

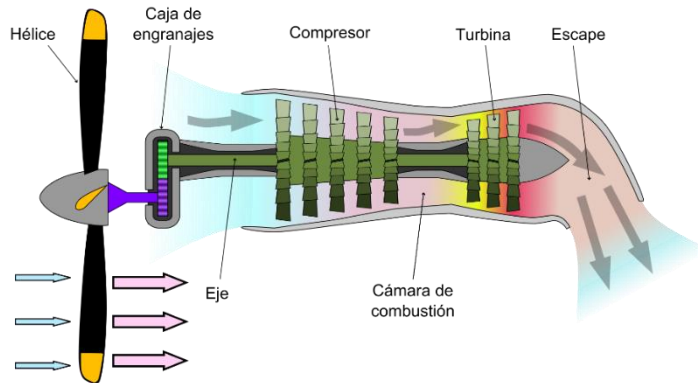
**Figura 21. Turbofán JTD9-20 de Pratt de Whitney**



Nota. En la imagen se evidencia de forma instrumental el motor Turbofán JTD9-20 de Pratt Whitney. Tomada del libro Aircraft Propulsion and Gas Turbine Combustion.

**Turbohélice (Turboprop).** Es un tipo de motor a reacción que no genera empuje por medio de la velocidad de aire si no que se compone de una hélice que arrastra la aeronave, este motor tiene como base de funcionamiento un turboreactor donde las turbinas aparte de mover el compresor, mueve la hélice. (El-Sayed; Ahmed F., 2017)

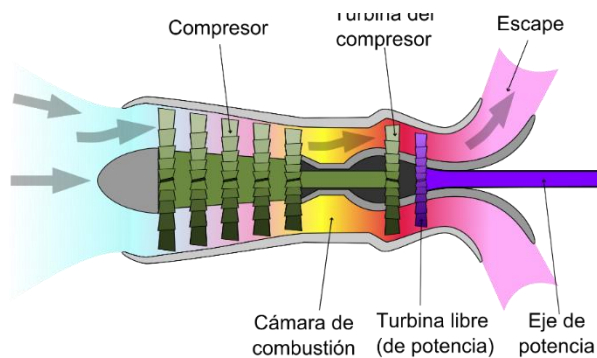
**Figura 22. Componentes de un Turboprop**



Nota. En la imagen se evidencia las partes y funcionamiento de un motor Turboprop. Tomada del libro Motores a reacción de Martin Cuesta.

**Turboeje (Turboshaft).** Es el tipo de motor a reacción que utilizan los helicópteros, su funcionamiento se basa en un turbohélice, la única diferencia es que la turbina que conduce el eje externo se encuentra más cerca de la cámara de combustión, así aprovechando toda la energía de la velocidad del aire. (El-Sayed; Ahmed F., 2017)

**Figura 23. Componentes de un Turboshaft**



Nota. En la imagen se evidencia las partes y funcionamiento de un motor Turboshaft. Tomada del libro Motores a reacción de Martin Cuesta.

### **3.3.3. Partes de un Motor a Reacción**

**Difusor.** Es el primer componente del motor por donde pasa el aire y su función principal es regular y canalizar el flujo de aire para que llegue al compresor libre de turbulencias que afecten la eficiencia de compresión, existen diferentes tipos de difusores de admisión los cuales varían con el régimen de funcionamiento, ya sea subsónico, supersónico o hipersónico. (Cuesta Alvarez, 1980)

**Difusor Subsónico.** Este tipo de difusor está diseñado para desacelerar el aire para que pueda entrar al compresor ya que este debe tener una velocidad baja a en el momento de entrar al compresor para que no tenga pérdidas en los alabes. (Cuesta Alvarez, 1980)

**Difusor Supersónico:** Este tipo de difusor se compone de dos etapas las cuales son conductos que tienen formas convergente y divergente respectivamente, la primera sección se encarga a desacelerar el aire que entra a velocidades superiores a la del sonido hasta Mach 1, para luego entrar al conducto divergente y desacelerarse aún más hasta tener una velocidad adecuada para la entrada al compresor. (Cuesta Alvarez, 1980)

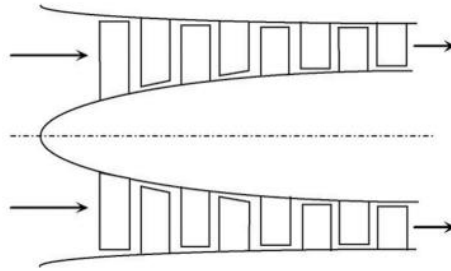
**Compresor.** Este componente se encarga de aumentar la presión del aire para aumentar su energía por medio de unos componentes móviles y otros estáticos que producen un trabajo mecánico. (Lee, 2014)

**Compresor Axial.** Este tipo de compresor se identifica porque se compone de varias etapas las cuales se ubican linealmente, es decir el aire se comprime en una sola dirección, y su eficiencia aumenta proporcionalmente con el número de etapas de compresión, una etapa de compresión se compone de:

**Rotor,** Es un conjunto de alabes ubicados circularmente los cuales se mueven gracias a la turbina y su función es arrastrar el aire hacia la siguiente sección de la etapa.

**Estator,** Es un conjunto de alabes que tienen una configuración contraria a los de los rotores, este conjunto es estático y su función es direccionar el aire para que entre a la siguiente etapa sin pérdidas.

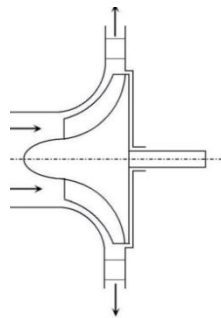
**Figura 24. Diagrama de compresor axial**



Nota. En esta imagen se evidencia el diseño y el diagrama estructural del compresor axial. Tomada del libro Motores a reacción de Martin Cuesta.

**Compresor Centrifugo.** Este tipo de compresor se identifica por cambiar el sentido del aire generalmente a 90 grados, el cual utiliza la aceleración centrífuga generada por un componente con alabes que gira a gran velocidad expidiendo aire de forma centrífuga y generando la presión requerida. (Cuesta Alvarez, 1980)

**Figura 25. Diagrama de compresor centrifugo**

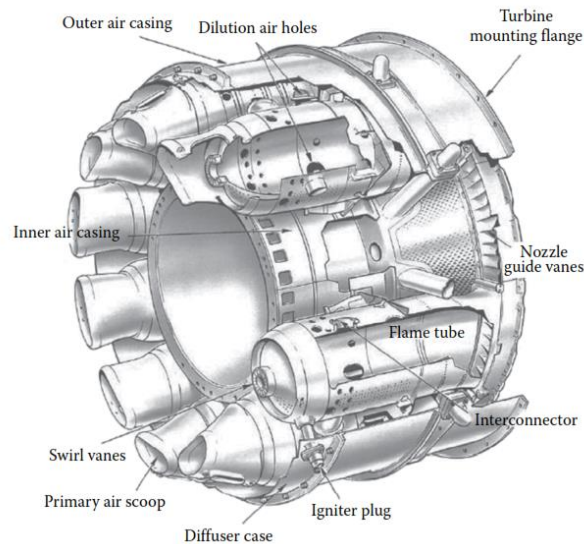


Nota. En esta imagen se evidencia el diseño y el diagrama estructural del compresor centrifugo. Tomada del libro Motores a reacción de Martin Cuesta

**Cámara de Combustión.** Este componente se encarga de aumentar la energía del aire que previamente paso por el compresor para así acelerarlo gracias a la energía química del combustible, existen diferentes tipos de cámaras de combustión. (El-Sayed & A.F, 2016)

**Tubo-Anular.** Este tipo de cámara de combustión se caracteriza por tener varios tubos donde se genera la combustión distribuidos de manera circular con inyectores y bujías en cada tubo (El-Sayed & A.F., 2016)

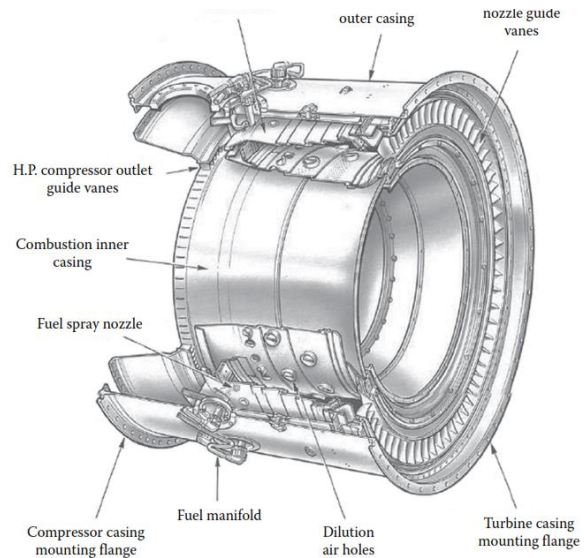
**Figura 26. Partes de una cámara de combustión tubo-anular**



Nota. En la imagen se evidencian los componentes y forma estructural de una cámara de combustión tubo-anular. Tomada del libro Aircraft Propulsion and Gas Turbine Combustion.

**Anular:** Este tipo de cámara de combustión se caracteriza en ser un solo conjunto, es decir es un solo compartimiento donde se produce la combustión aprovechando todo el espacio para mezclar el aire con el combustible. (El-Sayed & A.F., 2016)

**Figura 27. Partes de una cámara de combustión anular**

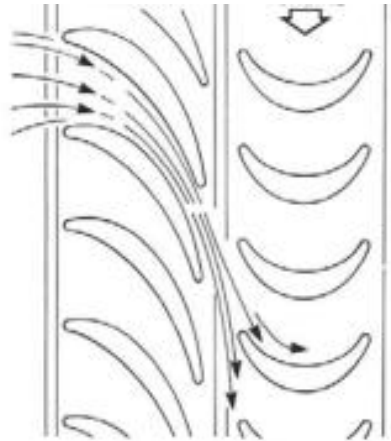


Nota. En la imagen se evidencian los componentes y forma estructural de una cámara de combustión anular. Tomada del libro Aircraft Propulsion and Gas Turbine Combustion.

**Turbina.** Se encarga de convertir la energía cinética que tiene el aire que sale de la cámara de combustión a toda velocidad en energía mecánica que es utilizada para mover el compresor y en varios casos accesorios adicionales como un fan o una hélice, el remanente de esta energía cinética produce el empuje al salir del motor, también se compone de un rotor y un estator.

La energía cinética del aire hace mover el rotor y el aire cambia de dirección debido al ángulo de los alabes que entra al estator para cambiarle la velocidad al entrar al siguiente rotor y así evitar pérdidas. (Cuesta Alvarez, 1980)

**Figura 28. Funcionamiento general de una turbina**



Nota. En la imagen se evidencian el funcionamiento y estructura de una turbina. Tomada del libro Motores a reacción de Martin Cuesta.

**Tobera.** Es el último componente por donde pasa el aire antes de salir a la atmósfera y se compone de un conducto cuya función es aumentar la velocidad del aire que previamente perdió en las turbinas disminuyendo su presión, las toberas varían también dependiendo del régimen donde trabaja el motor es decir la velocidad del aire a la salida, las toberas también direccionan el aire y disminuyen la turbulencia generada en las turbinas. (Cuesta Alvarez, 1980)

### **3.3.4. Funcionamiento de un Motor a Reacción**

El empuje generado por una turbina de gas o un motor a reacción es empleado para propulsar aeronaves o mover grandes turbinas para obtener energía mecánica y así aprovechar al máximo la velocidad de aire.

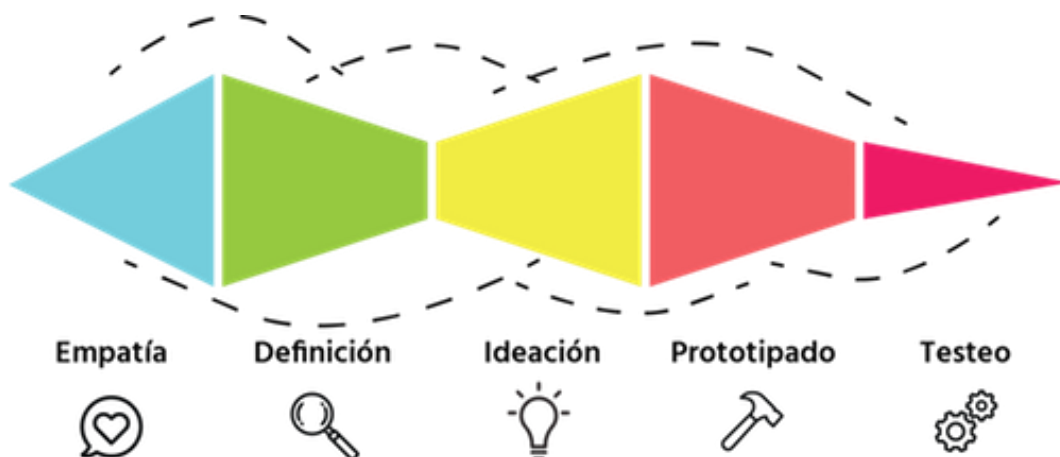
Su funcionamiento se basa en convertir diferentes tipos de energía a través de un fluido el cual en este caso es el aire que se encuentra en la atmósfera, el cual entra al motor por un conducto

llamado difusor que por medio de cambios de área de paso disminuye la velocidad del aire y aumenta su presión para entrar al compresor de forma laminar o lo más ordenado posible, en el compresor el aire aumenta su presión y así mismo su energía interna para luego entrar a la cámara de combustión donde se le inyecta combustible y se mezcla para generar la combustión le proporciona energía calorífica al aire y por ende aumenta su energía interna para salir expulsado a toda velocidad hacia las turbinas que convierten la energía cinética que tiene el aire en energía mecánica que hacen mover el compresor y hace que el proceso de combustión sea continuo, el aire remanente de las turbinas sale a la atmosfera por medio de una tobera que se encarga de aumentar la velocidad del aire por medio de conductos convergentes disminuyendo su presión, la velocidad del aire que sale expedido del motor genera empuje. (El-Sayed & A.F., 2016)

## Capítulo 4. Metodología de Investigación

El proyecto se desarrolló mediante un tipo de investigación cuasi experimental comprendida en 7 etapas de desarrollo, abarcadas por las 5 fases de la metodología Design Thinking (Empatía, definición, ideación, prototipado y testeo); se inició con el estudio de una solución ante la problemática cuya recopilación se encuentra en los capítulos anteriores dando como inicio a la metodología con la fase de empatía. A su vez, se dio paso a las etapas de definición e ideación de la solución, las cuales dieron una justificación viable y eficiente ante la problemática en un gran porcentaje; este porcentaje se resalta en un estudio sociológico realizado por el grupo de investigación del proyecto y con un margen de población (30 estudiantes de los semestres más vulnerables ante la problemática) eficiente ante el problema. Por último, se procedió a realizar las demás fases de culminación, las cuales abarcar el prototipado y el testeo final para dar un Producto Mínimo Viable (PMV) que contribuya en las practicas especializadas de las materias, “Motores de aviación”, “Hélices, rotores y tren de potencia” y “Mantenimiento y reparación de motores”.

*Figura 29. Fases de la metodología “Design Thinking”*



Nota. En la figura podemos evidenciar las fases y los caminos que se deben realizar en la metodología. Tomada de la página oficial Design Thinking ([www.designthinking.com](http://www.designthinking.com))

**Tabla 2. Desarrollo de la metodología**

Desarrollo de la metodología	
Fases	Etapas
Fase de empatía	Etapa 1
	<b>Diseño Metodológico</b>
Fase de definición	Etapa 2
	<b>Planteamiento del diseño</b>
	Etapa 3
Fase de ideación	<b>Cálculos termodinámicos y paramétricos</b>
	Etapa 4
Fase de prototipado	<b>Planos preliminares</b>
	Etapa 5
	<b>Fabricación de componentes</b>
Fase de testeo	Etapa 6
	<b>Ensamble de componentes</b>
	Etapa 7
	<b>Pruebas de funcionamiento y aplicabilidad</b>

Nota. Esta tabla muestra el desarrollo de cada fase de la metodología con respecto a las etapas de ejecución del proyecto. Realizado por el grupo de trabajo interno en forma de desarrollo de la metodología Design Thinking.

## **4.1. Fase de Empatía**

### **4.1.1. Diseño Metodológico**

La primera fase se encontró comprendida en la materia “Electiva 2 – Taller mecanizado”, en la cual se procedió a realizar una idea de prototipo de estatorreactor a gas; a su vez, esto conlleva a varios procesos de estudios en la elaboración de diseños, estudios termodinámicos, estudios estructurales y de elección de materiales, todos enfocados en la elaboración metalmecánica de un motor aeronáutico con uso pedagógico.

En esta fase se comprendieron las necesidades del cliente o usuario, vistas desde su propia perspectiva; en este caso las herramientas utilizadas para determinar esta necesidad se encuentran

implícitas en el mapa de problemas, el mapa de objetivos, el análisis de alternativas y la tabla de identificación de problemas

## **4.2. Fase de Definición**

### ***4.2.1. Planteamiento del Diseño***

Para cumplir con la fase de definición en términos de prototipo, se planteó un modelo de estatorreactor a gas de régimen subsónico, por su desarrollo factible y la oportunidad de ejercer temas teórico-prácticos en tiempo semestral de la materia “Electiva 2 – Taller mecanizado”. El motor aeronáutico, se basó en un diseño funcional optimizado según el espacio del laboratorio o espacio de uso, adicional a esto se planteó su funcionamiento mediante un sistema de combustión a gas y aire, los cuales son suministrados mediante un inyector (válvula de gas comercial) y un compresor industrial ajustado como toma de aire principal.

En esta fase, se recopiló información de estudios realizados nacional e internacionalmente, acerca del diseño y construcción de estatorreactores funcionales, además de contar con los estudios pertinentes ante el problema que posee el cliente o usuario.

### ***4.2.2. Cálculos Termodinámicos y Paramétricos***

En esta fase se realizaron los cálculos termodinámicos, que dieron las pautas teóricas para la elaboración del estatorreactor funcional; estos dieron como resultado una medida aproximada ante el diámetro de entrada ( $D_i$ ) y una aproximación del flujo másico de aire ( $\dot{m}_a$ ) y el flujo másico de combustible (Gas) ( $\dot{m}_f$ ).

### **4.3. Fase de Ideación**

#### ***4.3.1. Planos Preliminares***

A partir de los cálculos termodinámicos, se procedió a realizar el diseño de planos de los diferentes componentes que posee el prototipo, además del proceso de selección de los materiales que resistan los valores de temperatura y fricción del aire.

Los planos se realizaron mediante el software de **SolidWorks®**, otorgando un ahora denominado Producto Mínimo Viable (PMV).

### **4.4. Fase de Prototipado**

#### ***4.4.1. Fabricación de Componentes***

En esta fase, el proyecto estuvo determinado por los diseños del Producto Mínimo Viable (PMV) y se procedió a realizar el primer Dummie del estatorreactor en el cual se indicaron las primeras correcciones de las dimensiones, materiales y se realizaron las primeras pruebas de funcionamiento.

Adicional, en esta fase se procedió a solucionar falencias del diseño ante la implementación del estatorreactor en el campo educativo y a complementar el punto pedagógico.

#### ***4.4.2. Ensamble de Componentes***

Esta fase del proyecto se encontró implícita en la fabricación de todas las piezas con sus respectivas pruebas y correcciones, teniendo en cuenta los materiales finales; Adicional a esto, se realizó el ensamble según los métodos de construcción y mantenimiento de las piezas, materiales

y componentes adicionales, para lograr obtener un Producto Mínimo Viable (PMV) funcional y con todas las características requeridas para solucionar la problemática del cliente o usuario.

## **4.5. Fase de Testeo**

### ***4.5.1. Pruebas de Funcionamiento***

En esta fase se procedió a realizar un testeo final (encendido, en operación, en apagado) en base técnico, para contribuir de manera segura en los manuales técnicos y en los protocolos de uso del estatorreactor a gas, otorgando unas pautas de seguridad eficientes y que no pongan en riesgo a los alumnos ni a las instalaciones.

### ***4.5.2. Pruebas de Aplicabilidad (Validación Pedagógica)***

Apartas de los resultados obtenidos en las etapas anteriores, se generó un análisis de aplicabilidad en el que se ejecutó una evaluación pedagógica del uso del estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica en la materia “Motores de aviación”, junto con un grupo de 10 alumnos de 9no semestre y un docente de la Escuela de Aviación del Ejército; en esta evaluación pedagógica se fundamentó por parte del docente una validación pedagógica del uso del estatorreactor junto a la metodología de Aprendizaje Basado en Retos, en esta validación se tomaron en cuenta el manual técnico y el los protocolos tanto de uso como de calificación.

## Capítulo 5. Resultados

### 5.1. Fase de Empatía

**Tabla 3. Identificación del problema**

<b>Identificación de problemas</b>	
<i>Punto de empatía, donde se comprende el problema desde diferentes puntos de vista</i>	
<b>¿En qué consiste el problema?</b>	La falta de prácticas especializadas y de calidad, en materias teórico – prácticas o que indican una visita empresarial, como son “motores de aviación”, “hélices, rotores y tren de potencia” y “mantenimiento y reparación de motores”; según el pensum del curso de ingeniería aeronáutica.
<b>¿Qué restricciones representa?</b>	Disminuye la satisfacción del cuerpo estudiantil, disminuye la calidad educativa, presenta pérdida en la imagen de la universidad ante la competencia y fomenta un retroceso tecnológico.
<b>¿En qué contexto se desarrolla?</b>	Con el fin de cambiar la metodología de enseñanza en las prácticas de las materias teórico – prácticas implicadas, mejorando los puntos que desencadena la cobertura de prácticas especializadas y de calidad.
<b>¿Qué experiencias en el campo se han vivido alrededor de este problema?</b>	El plan piloto de la ingeniería aeronáutica con énfasis en mantenimiento de la escuela de aviación del ejército, no conto con las visitas ni las practicas requeridas por las materias en cuestión; Adicional a esto, no se dio el enfoque específico que requieren estas materias.
<b>¿Qué experiencias exitosas se conoce alrededor de la solución de este tipo de problemas?</b>	Instituciones que fomentan nuevas metodologías prácticas en su educación, logran un desarrollo técnico en sus estudiantes; la Universidad de San Buenaventura, la Universidad Los Libertadores e incluso otras instituciones que cuentan con otras carreras aparte de la ingeniería aeronáutica, implementan diferentes metodologías de prácticas en sus laboratorios y fomentan el crecimiento de capacidades educativas en sus estudiantes con la aceptación de proyectos que involucren prototipos o diseños.
<b>Referencias (Fuentes)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Plan piloto – Ingeniería Aeronáutica con énfasis en mantenimiento aeronáutico de la escuela de aviación del ejército.</li><li>• Carrera de ingeniería aeronáutica de la Universidad de San Buenaventura</li><li>• Carrera de ingeniería aeronáutica de la Universidad Los Libertadores</li><li>• Proyectos de diseño y prototipos de motores aeronáuticos en universidades nacionales e internacionales.</li></ul>

Nota. Esta tabla muestra el desarrollo de la fase de empatía que se realizó para el proyecto.

Realizado por el grupo de trabajo interno en forma de desarrollo de la metodología Design Thinking.

## **5.2. Fase de Definición**

### ***5.2.1. Planteamiento del Diseño***

En la primera fase de Definición se procedió a plantear teóricamente un diseño de un Ramjet que generara una combustión continua y donde se pudiera evidenciar realmente el proceso de encendido de un combustible; se realizó un estudio para recopilar información acerca del funcionamiento del motor dando las bases para comenzar a materializar el proyecto.

Como primer paso se encuentra la recolección de información acerca de este tipo de motor en la cual se puede evidenciar que cuenta con cuatro componentes fundamentales los cuales son Difusor, Flame Holder, Cámara de Combustión y Tobera (especificados en el Capítulo 3 de este documento), este carece en todo sentido de elementos mecánicos en su interior; por este motivo no se estudió a fondo el tema de los mecanismos que por lo general tiene un turboreactor en su interior.

Al no contar con un compresor el cual aumente la energía interna del aire, éste se debe encender a grandes velocidades para que el aire se comprima solo, es decir desde una aeronave ya en vuelo. Debido a esto se llegó al resultado que se debe simular la velocidad del aire con un soplador industrial el cual nos inyecte aire a una velocidad específica por la entrada del motor.

En la clase de “Electiva 2 Taller Mecanizado” se estudiaron varios diseños de Ramjet y se dedujo que la mayoría de estos artefactos tienen una forma similar, parecida a la de un cohete; y tiene relevancia porque no necesita de muchos componentes tanto en su exterior como en su interior para funcionar correctamente.

**Organización y Partes de un Estatorreactor.** Un Ramjet generalmente se divide en tres componentes esenciales los cuales se ubican respectivamente con la dirección del aire; Difusor, Cámara de Combustión y Tobera.

Según la Figura 26 Etapas de un Ramjet, las partes se enumeran dependiendo de su posición, por lo tanto, tenemos el siguiente orden:

Cabe resaltar que el esquema muestra las partes de un estatorreactor de régimen subsónico por ende tiene componentes que funcionan para disminuir la velocidad de aire y aumentarlo en diferentes ocasiones.

**A – 1:** Esta es la etapa de compresión supersónica, como el proyecto no va a alcanzar estos límites de velocidad se ignora esta etapa de difusor.

**1 – 2:** Esta es la etapa de Difusor convergente; es donde el aire que ingresa al motor se ordena y disminuye su velocidad para aumentar su presión y así aumentar su energía interna, esto con el fin de que antes de que ingrese a la cámara de combustión pueda mezclarse correctamente con el combustible. Es un difusor especializado para flujos subsónicos

**2 – 3:** Esta etapa se denomina inyección de combustible y Flame Holder, básicamente en este punto se inyecta el combustible para que se mezcle con el aire y pueda ingresar al Flame Holder que es un dispositivo que se encarga de estabilizar la llama y disminuir turbulencias del flujo de combustible al momento de ingresar a la cámara de combustión.

**3 – 4:** Esta etapa es la cámara de combustión y es donde la mezcla de aire combustible se enciende para transformar la energía química del combustible en energía cinética aumentando la velocidad del aire que fluye a través del motor.

**4 – 6:** Esta etapa es la denominada Tobera, en el esquema se muestra una subetapa la cual es (4-5) que se utiliza en estatorreactores de régimen supersónicos, en este caso el Ramjet subsónico

utiliza la última parte de la tobera la cual es llamada Tobera convergente y su función es aumentar aún más la velocidad del aire disminuyendo su presión para que salga expulsado a toda velocidad a la atmosfera y generar empuje.

**Selección de Combustible.** Los motores Ramjet generalmente utilizan dos tipos de combustible, los cuales son los hidrocarburos y el hidrogeno; pero en una gran mayoría los estatorreactores funcionan con Querosene u otro tipo de combustible líquido, Actualmente se encuentran realizando avances con combustible sólido como se puede evidenciar en el Capítulo 3 de este documento, Teniendo esos factores en cuenta se identificó cuáles eran los mejores tipos de combustible para el proyecto.

Como primera medida se consideró que tenía que ser un combustible de fácil adquisición debido a que el prototipo va a estar funcionando constantemente, al ser el Hidrogeno un combustible de difícil adquisición y de alto costo se descartó.

Los hidrocarburos vienen en estado líquido y en estado gaseoso, brindando así múltiples opciones de inyección, almacenamiento y transporte de mismo; se tomaron en cuenta diferentes factores como:

**Almacenamiento.** Como el prototipo va a estar dentro de un laboratorio el combustible debe almacenarse de tal manera que la temperatura ni las condiciones externas lo alteren, y a su vez no ocupe mucho espacio dentro de la estructura del motor.

**Contaminación.** Como el prototipo está planteado para funcionar en un espacio cerrado, los gases que emanan por la tobera deben tener cero emisiones toxicas, por lo que el combustible a utilizar debe quemarse sin emanar ninguna molécula de monóxido de carbono.

**Transporte.** Como el prototipo se va a transportar hacia la Escuela de Aviación del Ejército el combustible también debe transportarse, por este motivo este debe ser de fácil transporte, que no necesite de un vehículo ni permiso especial para poder ingresarlo a la institución.

**Seguridad.** El combustible no debe auto detonar debido a que puede estar sujeto a variaciones de presión y temperatura ambiental por lo que no se cuenta con un cuarto de almacenamiento equipado para tipos de combustible que no tengan octanos (bajo nivel de octanaje). También como es un prototipo pedagógico, va dirigido a estudiantes; por esta razón el prototipo debe funcionar a uno regímenes bajos, con temperaturas no tan elevadas y velocidades bajas.

**Inyección.** Como otro factor relevante para la selección del combustible es la inyección de este en el motor, esta debe ser constante debido a que es la que mantiene el motor encendido.

Teniendo en cuenta los factores anteriormente mencionados se tomaron dos tipos de combustible muy comerciales; AV gas 100 /130 y gas propano; en este caso se descarta el combustible líquido debido a que como una desventaja natural hay que evaporarlo para poder mezclarlo con el aire, debido a esto necesita una bomba de combustible y un carburador o dispositivo que vaporice el combustible además de unos inyectores especiales lo cual incrementa el costo del proyecto. Por estos motivos el gas propano es el combustible seleccionado para encender el Estatorreactor pedagógico.

**Análisis de Funcionamiento.** En esta parte del proyecto se identificó y se planteó como iba a funcionar los accesorios del Estatorreactor, como este necesita de una soplador industrial se identificó que este funciona a un voltaje trifásico de 330V y que necesita de un variador de

frecuencia que le permita variar la velocidad del mismo para poder calibrar la mezcla de combustible; este es alimentado por un voltaje bifásico de 220V, además de necesitar un sistema de bujías que enciendan el sistema las cuales son multi voltajes hasta 220V, dos indicadores de temperatura con sus respectivas para ubicarlos a la entrada y salida del motor. Además del sistema de inyección de combustible con sus respectivas válvulas de seguridad y de paso.

En el planteamiento del funcionamiento se identificaron varias características acerca del Ramjet, este debe tener un componente llamado “Flame Holder” o acumulador de llama que es donde la llama se genera y por ende la combustión se realiza; para la identificación de la posición, material y forma de este componente de procedieron a realizar unas pruebas de campo donde se encontraron características esenciales.

***Figura 30. Primeras pruebas de definición***



Nota. En esta imagen se resaltan los primeros pasos de la definición física de un estatorreactor a gas. Elaboración propia

Se llego a la conclusión de que el acumulador de llama por obvias razones debe estar después del inyector de combustible y debe tener unos agujeros por donde el gas pasa con el aire y se mezclan para poder encenderse justo después del acumulador de llama, ya que este es el que

prácticamente produce la llama y está en la cámara de combustión, se fabricó en un material que soporta las grandes temperaturas y también la fricción del aire con el gas el cual es acero 4340 o comúnmente nombrado Acero Bonificado.

La función de los agujeros o aberturas del acumulador de llama es mezclar el combustible con el aire de modo que la mezcla entre a la cámara de combustión lista para encenderse.

***Figura 31. Pruebas de campo del Flame Holder***

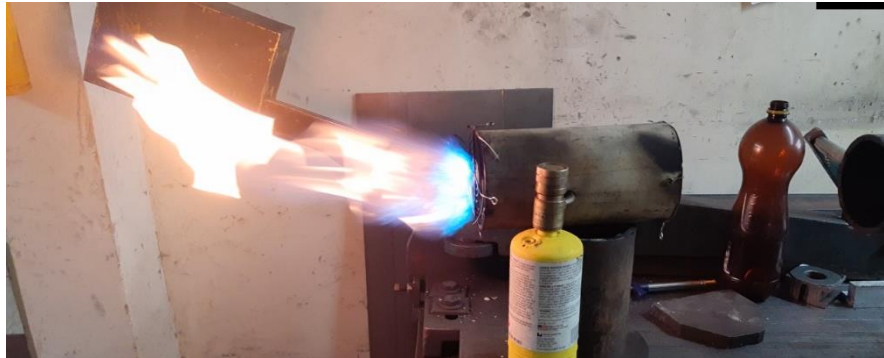


Nota. En esta imagen se resaltan las pruebas realizadas a una propuesta de Flame Holder para la cámara de combustión. Elaboración propia

Según las pruebas realizadas el gas y el aire se mezclan cuando el aire choca con el acumulador de llama y esto genera un torbellino el cual hace el gas entre en el logrando una mezcla

casi homogénea que al pasar por el Flame Holder se torna a un flujo laminar logrando encenderse de una manera ordenada.

***Figura 32. Prueba de generación de llama***



Nota. En esta imagen se resaltan las pruebas a la generación de llama de la cámara de combustión.

Elaboración propia

Como se puede evidenciar en la figura 32, la llama se genera en el Flame Holder, describiendo un flujo turbulento. Para plantear un diseño de la Tobera de escape se tomó en cuenta el flujo que hay a la salida de la cámara de combustión, como es un flujo subsónico la tobera tiene una configuración convergente con el fin de aumentar la velocidad del aire y por ende disminuir su presión.

**Figura 33. Prueba de tobera recta**



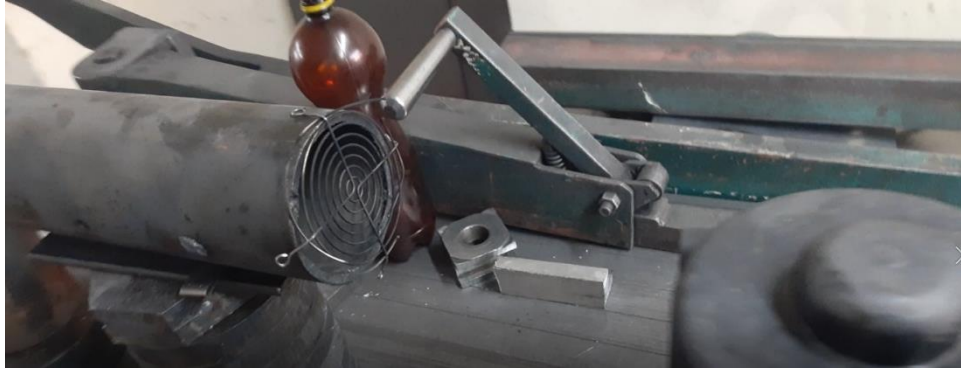
Nota. En esta imagen se resaltan las pruebas que se realizaron con un ensamble de tobera recta.

Elaboración propia

En la prueba de campo de la tobera recta se puede evidenciar que la llama sale de color amarillo, esto quiere decir que esta ha perdido temperatura y energía desde que se emitió, debido a que la tobera está muy larga y es recta; por este motivo la Tobera se fabricó convergente.

Para la parte del planteamiento de diseño del difusor se tomaron varios puntos en cuenta; tales como el diámetro de entrada de aire al motor que tenía que ser de 32mm debido ya que es la configuración de salida que tiene el soplador y el flujo es subsónico, se planteó un difusor subsónico el cual ya teníamos el primer dato que era el diámetro de entrada del motor

**Figura 34. Prueba de entrada de aire al motor**



Nota. En esta imagen se resaltan la entrada de aire directa de la cámara de combustión. Elaboración propia

Teniendo en cuenta el diseño fugaz de los componentes se estudió la parte; inyección de combustible y control del prototipo. Como combustible en un comienzo se planteó utilizar gas MAPP® el cual es un tipo de gas que se utiliza para soldar tubos de cobre y viene en una presentación pequeña de un cilindro de 453,6 g.

A este tipo de combustible se le identifico que produce una temperatura de llama superior a los 3000 °F lo que indica unos 1648 Celsius la cual es una temperatura relativamente alta y necesitaría unos materiales especiales que soporten esta temperatura en un tramo de tiempo largo, por otro lado es un gas que al quemarse genera monóxido de carbono el cual es toxico para el ser humano y también es un gran contaminante; por esta razón se decidió emplear el gas licuado del petróleo propano (GLP) el cual no genera ningún contaminante al momento de quemarse y no es toxico para el ser humano, además de una baja temperatura de llama (cerca a los 350 Celsius) y su fácil obtención por su bajo precio.

Por estas razones se planteó el diseño preliminar de un estatorreactor a gas de régimen subsónico con materiales metálicos que resistan la alta temperatura además de la exposición

continua a la llama a las paredes del motor, El acero fue el material que se empleó para el desarrollo del prototipo debido a su bajo costo y su fácil mecanizado con buril de Wolframio.

### 5.2.2. Cálculos Termodinámicos y Paramétricos

**Cálculos Termodinámicos Ideales.** Los Ramjet's tienen la misma teoría de funcionamiento que un turborreactor y está basado en un ciclo termodinámico denominado; ciclo Brayton el cual se apoya en las dos primeras leyes de la Termodinámica que indican conservación de energía, masa y momento lineal además de la entalpia y entropía.

$$T_t = T * (1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2) \quad (12)$$

En la Ecuación 12 se especifica la temperatura total del sistema como la proporción de una temperatura específica con la relación de calores específicos del sistema y la velocidad expresada en MACH, teniendo en cuenta las ecuaciones que se encuentran en el capítulo 3 del documento:

$$P_t/P = (T_t/T)^{(\gamma-1)/\gamma} \quad (13)$$

$$P_t = P(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2)^{\gamma/\gamma-1} \quad (14)$$

Las Ecuaciones 13 y 14 son las básicas para identificar presiones y temperaturas en las diferentes etapas de un motor a reacción.

$$T_r = \frac{T_{in0}}{T_{in}} = 1 + \frac{\gamma-1}{2} M_{in}^2 \quad (15)$$

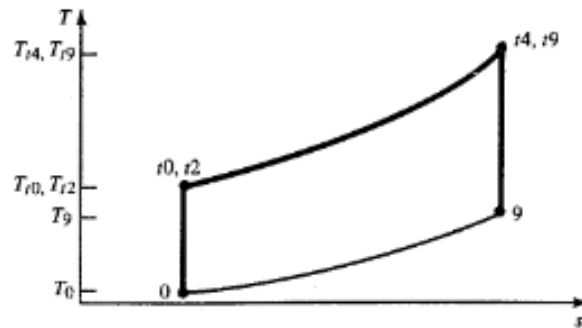
$$P_r = \frac{P_{in0}}{P_{in}} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_{in}^2\right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (16)$$

En las ecuaciones 15 y 16 se encuentran las relaciones de temperatura y presión que dependen de la etapa donde se esté calculando el motor, tomando la relación entre el valor a la entrada de dicho componente y el valor de salida.

En el caso de la cámara de combustión o quemador hay que hallar un valor adicional, el cual es la relación de entalpia entre los gases de salida del componente y atmosféricos y se halla por medio de la Ecuación 17.

$$H_r = \frac{H_{out}}{H_0} = \frac{(c_p T_t)}{(c_p T_0)} \quad (17)$$

**Figura 35. Diagrama de ciclo ideal de un Ramjet**



Nota. Se muestra el ciclo termodinámico ideal en una gráfica de Temperatura vs entropía (s: (J/K\*mol). Tomada del libro Elements of gas turbine propulsion.

Teniendo en cuenta el anterior diagrama y que es un ciclo ideal; el valor de la presión de entrada al motor y de salida es el mismo, al igual que el flujo másico (Mattingly, 2005)

$$Empuje = \frac{1}{g_c} (\dot{m}_{out} V_{out} - \dot{m}_{in} V_{in}) + A_{out} (P_{out} - P_{in}) \quad (18)$$

Como se indica en la Ecuación 18 el empuje está demostrado en valores de temperatura, presión y velocidad; al ser el análisis de un ciclo ideal los valores que son iguales se cancelan y queda de la siguiente manera:

$$Empuje = \frac{\dot{m}_{in}}{g_c} (V_{out} - V_{in}) = \frac{\dot{m}_{in} a_0}{g_c} \left( \frac{V_{out}}{a_0} - M_{in} \right) \quad (19)$$

Como es un ciclo ideal, varios valores se igualan tanto los calores específicos a la entrada y salida del motor como las constantes energéticas del gas, como se indica en la Ecuación 20.

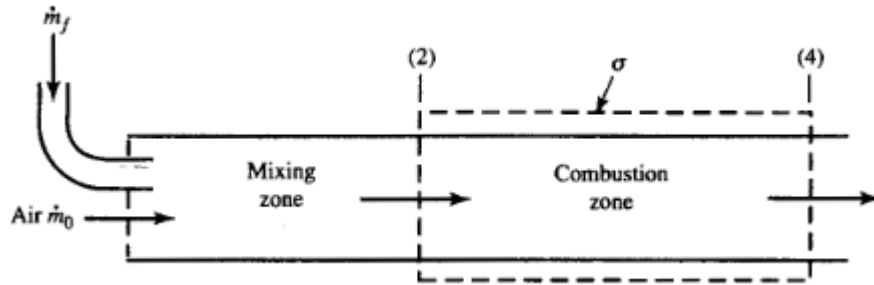
$$\left( \frac{V_{out}}{a_0} \right)^2 = \frac{T_{out}}{T_{in}} * M_{out}^2 \quad (20)$$

Debido a que es un motor que no cuenta con un compresor o una turbina, las relaciones de compresión del difusor, cámara de combustión y tobera es igual a 1, esto se demuestra en las Ecuaciones 21 y 22.

$$\pi_t = \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad (21)$$

$$\tau_{Camara de combustion} = \frac{T_9}{T_0} \quad (22)$$

Figura 36. Modelo de combustión de un Ramjet



Nota. Se muestra el modelo determinado de la cámara de combustión de un Ramjet. Tomada del libro Elements of gas turbine propulsion.

$$\dot{m}_{air} + \dot{m}_{fuel} = \dot{m}_{out} \quad (23)$$

En la Ecuación 23 se evidencia una sumatoria de flujos masicos los cuales indican un valor de flujo masico total.

$$Cp_2 = Cp_4 = Cp \quad (24)$$

Como se puede identificar en la figura 36 la mezcla no sufre ningún tipo de compresión, por tal motivo se omite la relación de compresión entre componentes y se maneja una presión constante como se evidencia en la Ecuación 24.

$$f = \frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{m}_{air}} = \frac{c_p T_2}{h_{pr}} \left( \frac{T_4}{T_2} - 1 \right) \quad (25)$$

$$f = \frac{c_p T_{in}}{h_{pr}} (\tau) \quad (26)$$

La relación de combustible o de flujos másicos es la relación de presiones y el calor específico del combustible y se especifica en la Ecuación 25 y 26.

**Cálculos Termodinámicos Paramétricos.** Estos cálculos definen teóricamente el funcionamiento del estatorreactor.

**Difusor.** Para poder iniciar con el cálculo del dispositivo de entrada se debe tener en cuenta una relación de áreas de entrada y de salida del difusor la cual se puede hallar con una Ecuación 27 dependiendo de la geometría de este.

$$AR = 1 + \left(1 + \frac{L}{R_1} \tan\theta\right)^2 \quad (27)$$

$$AR = 1 + \left[1 + \frac{0,190 \text{ m}}{0,160 \text{ m}} \tan(10,43)\right]^2$$

$$AR = 1,484$$

Existen valores de pérdida de presión que se agregan a las ecuaciones de modo que se logran resultados reales; estos valores de pérdida existen debido a la fricción del aire con las paredes del componente generando presión estática. Para esto hay que hallar el valor de calor específico ideal y realizar una comparación con el dato actual así se identifica el valor de pérdida.

$$Cp_{ideal} = 1 - \frac{1}{AR^2} \quad (29)$$

$$Cp_{ideal} = 1 - \frac{1}{1,484^2}$$

$$Cp_{ideal} = 2,20$$

Para la realización de los cálculos se tomaron en cuenta datos atmosféricos ideales y a la máxima potencia que brinda el Estatorreactor la cual es a una velocidad de 97,7 Km/h; una altitud a nivel de la ciudad de Bogotá de 2600 m.s.n.m; una temperatura de 291,15 K y una presión atmosférica de 73749 pascales. (Houghton, Carpenter, Collicot, & Valentine, 2013)

El valor de la velocidad en unidades del sistema internacional debe transformarse en unidades de Mach para poder realizar los respectivos cálculos.

$$97,7 \frac{Km}{h} = 0,7912 M \quad (30)$$

La temperatura de entrada al difusor se toma como de 18 °C es decir 291,15 K para la Ecuación 31.

$$T_{out\ diffuser} = T_a \left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} * M^2 \right) \quad (31)$$

$$T_{out\ diffuser} = 291,15 K \left( 1 + \frac{1,4-1}{2} * 0,7912^2 \right)$$

$$T_{out\ diffuser} = 327,59 K$$

Con la Ecuación 32 se halla el valor de la presión a la salida del difusor.

$$P_{out\ diffuser} = P_a \left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} * M^2 \right)^{\gamma/\gamma-1} \quad (32)$$

$$P_{out\ diffuser} = 73749\ pascales \left( 1 + \frac{1,4-1}{2} * M^2 \right)^{1,4/1,4-1}$$

$$P_{out\ diffuser} = 111,437\ pascales$$

**Cámara de Combustión.** En la cámara de combustión el valor del flujo masico aumenta debido a que se le agrega el combustible, por lo que se debe hallar el valor de la relación de flujo masico.

$$\dot{m}_{aire} + \dot{m}_{fuel} = \dot{m}_{total} \quad (33)$$

$$\dot{m}_{total} = \dot{m}_{aire} * (1 + f) \quad (34)$$

En la primera prueba que se realizó el indicador de temperatura de la cámara de combustión del estatorreactor arrojó un valor de 400 °C, teniendo como base experimental este dato se procede a hallar la presión en la cámara de combustión por medio de la Ecuación 35

$$P_{burner} = P_a \frac{T_{out\ diffuser}}{T_a} \quad (35)$$

$$P_{burner} = 73749 \text{ pascales} \frac{327,59 \text{ K}}{291,15 \text{ K}}$$

$$P_{burner} = 82979,34 \text{ pascales}$$

Para hallar la relación de temperatura en la cámara en combustión se utiliza la Ecuación 36.

$$\tau_\lambda = \frac{T_{Burner}}{T_a} \quad (36)$$

$$\tau_\lambda = \frac{673,15 \text{ K}}{291,15 \text{ K}}$$

$$\tau_\lambda = 2,312$$

Para hallar la relación de temperatura del difusor se realiza el mismo procedimiento.

$$\tau_r = \frac{T_{out\ diffuser}}{T_a} \quad (37)$$

$$\tau_r = \frac{327,59\ K}{291,15\ K}$$

$$\tau_r = 1,125$$

Con los anteriores datos se puede hallar la relación de aire combustible.

$$f = \frac{cp * T_a}{H_{pr}} (\tau_\lambda - \tau_r) \quad (38)$$

$$f = \frac{1005 \frac{Kj}{kg} * K * 291,15\ K}{46340 \frac{Kj}{Kg}} (2,312 - 1,125)$$

$$f = 7,4950$$

Posterior a esto se puede hallar el valor de la velocidad del aire a la salida del motor, para eso se necesita hallar el valor de la velocidad del sonido basada en el ambiente.

$$a_0 = \sqrt{\gamma RT_a} \quad (39)$$

$$a_0 = \sqrt{1,4 * 287 \frac{J}{kg} K * 291,15\ k}$$

$$a_0 = 342,02 \frac{m}{sg}$$

Se halla el valor de la relación de presiones.

$$\pi_r = (\tau_r)^{\gamma/\gamma-1} \quad (40)$$

$$\pi_r = (1,125)^{1,4/1,4-1}$$

$$\pi_r = 1,51$$

Con los datos anteriores se calcula:

$$V_{out} = a_0 \left\{ \sqrt{\frac{2}{\gamma-1} \frac{\tau_\lambda}{\tau_r} * \left[ (\pi_r)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]} \right\} \quad (41)$$

$$V_{out} = 342,02 \frac{m}{sg} \left\{ \sqrt{\frac{2}{1,4-1} \frac{2,312}{1,125} * \left[ (1,51)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right]} \right\}$$

$$V_{out} = 342,02 \frac{m}{sg} \left\{ \sqrt{10 * [0,1249]} \right\}$$

$$V_{out} = 387,46 \text{ m/sg}$$

Teniendo en cuenta lo anterior se puede deducir que el gas propano es un combustible que no contiene mucha energía interna como para aumentar de manera drástica la velocidad del aire; pero demuestra de manera segura y concreta es proceso de combustión, ahora se procede a hallar una relación de empuje.

$$F_s = a_0 \left( \frac{V_{out}}{a_0} - M_0 \right) \quad (42)$$

$$F_s = 342,02 \frac{m}{sg} \left( \frac{387,46 \frac{m}{sg}}{342,02 \frac{m}{sg}} - 0,7912 \right)$$

$$F_s = 116,85 \frac{N}{\frac{kg}{sg}}$$

Debido al bajo poder calorífico del gas propano hay una relación de empuje baja, se procede hallar el consumo específico de combustible por medio de:

$$TSFC = \frac{f}{F_s} \quad (43)$$

$$TSFC = \frac{7,4950}{116,85 \frac{N}{\frac{kg}{sg}}}$$

$$TSFC = 0,006414 \frac{kg/sg}{kN}$$

$$\eta_t = \frac{(V_{out}^2 - V_{in}^2)}{2 * f * Hpr} \quad (44)$$

$$\eta_t = \frac{(150125 - 27,7^2)}{2 * 7,4950 * 46340 \frac{Kj}{Kg}}$$

$$\eta_t = \frac{149357,71}{694720,012}$$

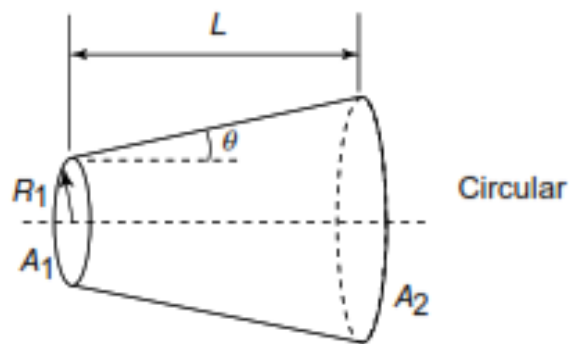
$$\eta_t = 0,1249$$

El valor de la eficiencia indica que capacidad tiene el motor de transformar energía en calor.

**Diseño del Dispositivo de Entrada.** El difusor es el componente por donde el aire ingresa al motor, por este motivo está expuesto a recibir ondas de choque oblicuas las cuales afectan el rendimiento del motor, este prototipo como está conectado directamente a un soplador, el aire entra ordenado al difusor por este motivo no se toman en cuenta estas ondas en las ecuaciones.

Existen diferentes configuraciones de difusor; cónica o circular, rectangular y anular. Por cuestiones de fabricación se decidió diseñar un difusor con geometría circular con el fin de desacelerar el aire que va a pasar por el motor y aumentar su energía.

*Figura 37. Diagrama de difusor cónico*



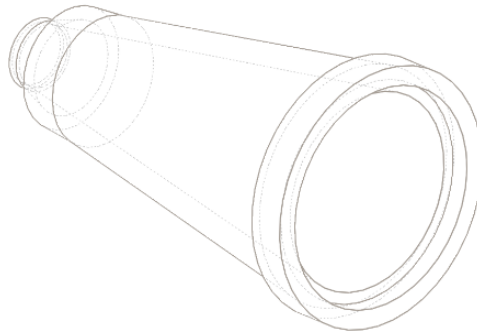
Nota. La imagen muestra los datos requeridos en los cálculos para la elaboración del difusor.  
Tomada del libro Aerospace Propulsion.

### 5.3. Fase de Ideación

Se realizaron unos planos en software en los cuales se tuvieron en cuenta los parámetros obtenidos en los cálculos; estos planos dieron paso a la idea final de cómo quedaría el estatorreactor como Producto Mínimo Viable (PMV).

Empezando por el plano del elemento de admisión o la conexión principal ante el sistema de inducción de aire. Este plano dio paso al diámetro de la cámara de combustión y la longitud general del motor.

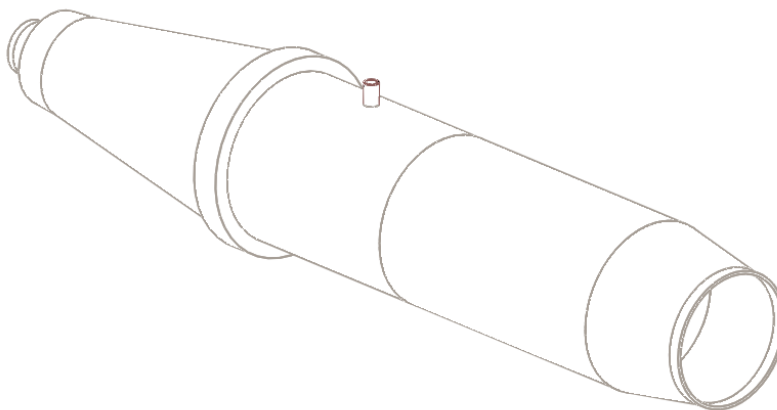
***Figura 38. Plano 2D del difusor***



Nota. Esta imagen muestra el plano resultante de los cálculos paramétricos. Elaboración propia

Partiendo de este primer componente, los planos obtenidos de la cámara de combustión y la tobera dieron paso al ensamble general del motor.

***Figura 39. Ensamble en 2D del estatorreactor***

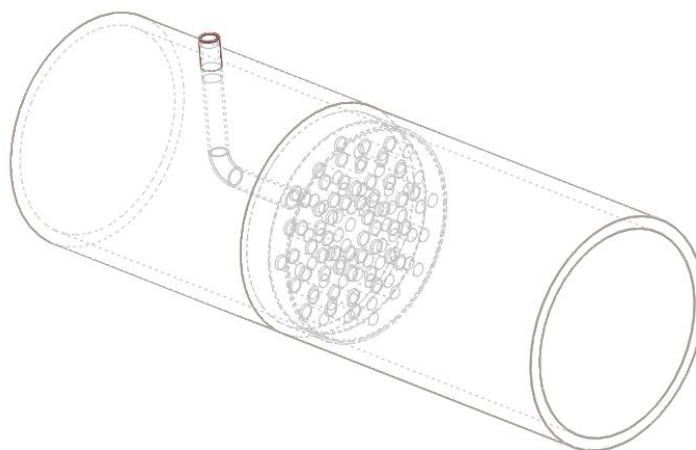


Nota. En esta imagen se ve el plano general del ensamble de cada componente del estatorreactor.

Elaboración propia

Partiendo del ensamble general, se tomó en cuenta el retenedor de llama denominado Flame Holder propuesto en fases anteriores y modificando su estructura para generar una mejor sustentación en el prototipo

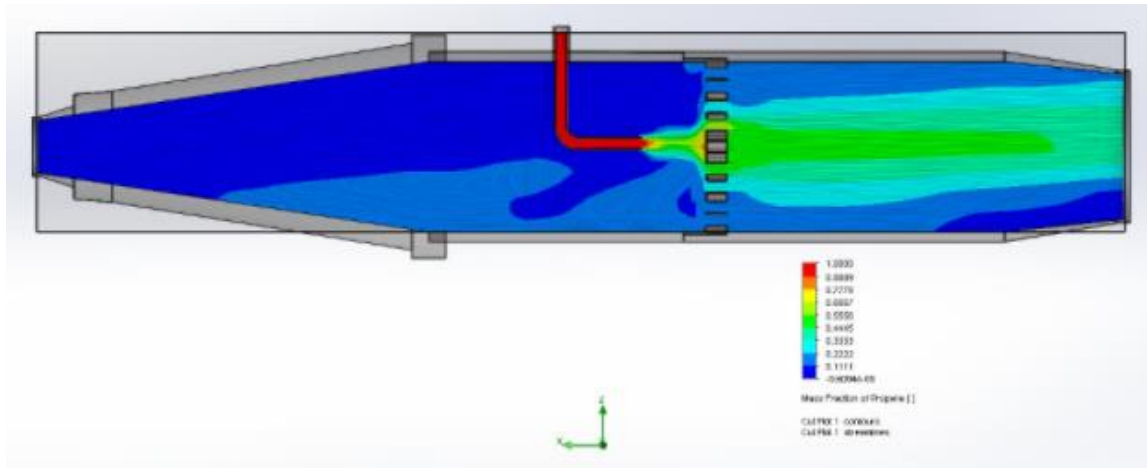
***Figura 40. Ensamble y posicionamiento del Flame Holder***



Nota. Esta imagen muestra el posicionamiento en la cámara de combustión del Flame Holder del motor. Elaboración propia

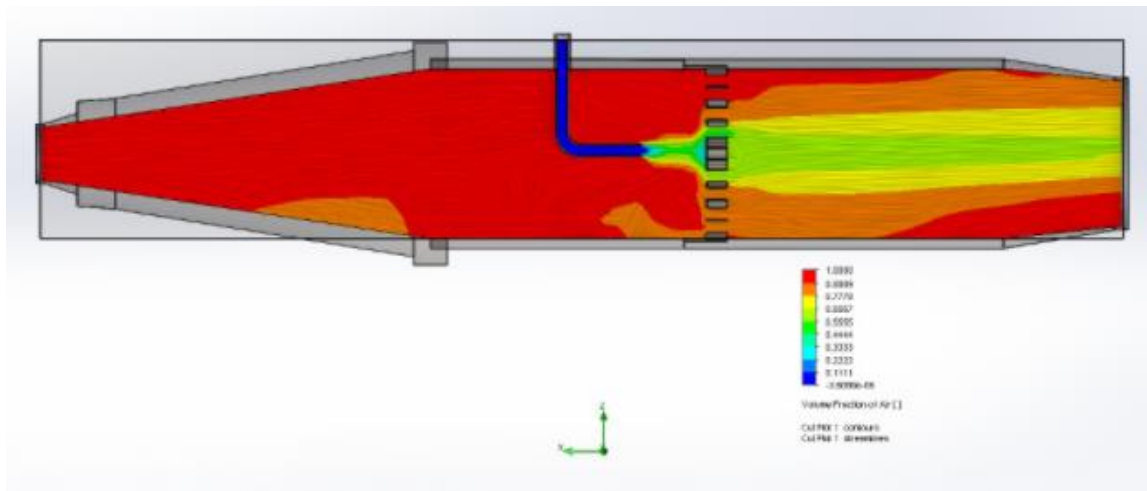
Adicional a los planos preliminares obtenidos, se realizó una simulación en la cual se tomaron en cuenta los cálculos termodinámicos de la fase anterior y se validaron los planos para realizar el proceso de fabricación de componentes.

**Figura 41. Simulación de flujo de aire laminar**



Nota. La figura muestra la simulación de la inyección de aire frío. Elaboración propia

**Figura 42. Simulación de inyección de combustible**



Nota. La figura muestra la simulación realizada mediante la inyección de aire caliente. Elaboración propia

## 5.4. Fase de prototipado

### 5.4.1. Fabricación de componentes

**Difusor.** El difusor se mecanizó en Acero bonificado en un torno con bancada de 1 metro, y está conformado de dos piezas que fueron soldadas y torneadas con el fin de acoplarlas al soplador que tiene una salida de aire de 32 milímetros, esta cuenta con un hueco para atornillar un tornillo Bristol sin cabeza o prisionero para acoplarlo a la primera parte de la cámara de combustión.

*Figura 43. Mecanizado de la primera parte del difusor*



Nota. Esta imagen muestra uno de los procesos realizados para la fabricación del difusor.

Elaboración propia

En la Figura 37 se observa la primera parte del difusor la cual se mecanizo con el fin de lograr un ajuste fino de acuerdo con la medida del soplador, este entra con ajuste con la mano es decir que no entra forzado y no se necesita de alguna herramienta especial para acoplarlo. Esta primera parte del difusor se soldó a la otra parte que va ensamblado a la cámara de combustión.

**Cámara de combustión.** El proceso de mecanizado de la cámara de combustión se realizó en dos partes las cuales las divide el Flame Holder, es decir una parte va antes y la otra después esto con el fin de poder ensamblar el acumulador de llama en la mitad del motor. Está fabricada en Acero bonificado 4340 que resiste altas temperaturas además de ser un material altamente resistente a la corrosión y alta dureza, el buril de tungsteno en este punto fue la herramienta principal en el torno debido a que es un material con alto coeficiente de dureza la herramienta convencional (buril de Acero rápido) se quemaba si se trabajaba a una velocidad normal. Por medio de los procedimientos de cilindrado y refrentado se ajustaron las medidas específicas para que la cámara de combustión ensamble con ajuste forzado (Ajuste con martillo) en el difusor.

*Figura 44. Mecanizado de la primera parte de la cámara de combustión*



Nota. Esta imagen muestra uno de los procesos realizados para la fabricación de la cámara de combustión. Elaboración propia

Como se evidencia en la Figura 40, la primera parte de la Cámara de Combustión es un tubo que en bruto tenía un aspecto descuidado, debido a la corrosión que ataca a los materiales que no tienen un tratamiento de cromado, cincado entre otros. Posterior al ajuste exterior del tubo se procede a realizar lo que en mecánica se denomina una caja; que es donde va a estar ensamblado el Flame Holder.

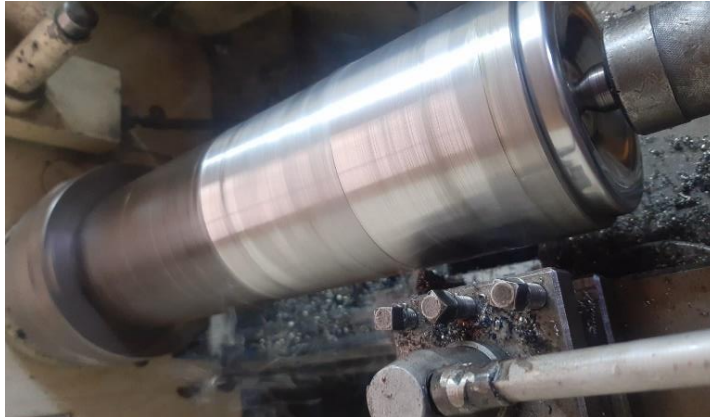
***Figura 45. Caja para ensamblar el Flame Holder***



Nota. Esta imagen muestra la caja de ensamble del Flame Holder. Elaboración propia

La caja de la Figura 45 es mecanizada en el torno con una copa de 4 mordazas independientes debido a que es una pieza muy grande para la copa tradicional de tres mordazas automática, tiene un ajuste de arrastre el cual solo se puede acoplar con golpe de martillo.

***Figura 46. Mecanizado de la cámara de combustión completa***



Nota. Esta imagen muestra el proceso realizado para la fabricación de la cámara de combustión.  
Elaboración propia

En la Figura 46 se muestra el proceso de mecanizado de la cámara de combustión completa; esto se hace con el fin de que tanto el ajuste interior del componente como el del exterior sean iguales en toda la cámara.

**Flame Holder.** Este componente se mecanizo desde un disco de Acero en bruto cuyo diámetro era de 12 cm y su espesor de media pulgada.

***Figura 47. Disco en bruto para el Flame Holder***



Nota. Esta imagen muestra el material en bruto en que se fabricó el Flame Holder. Elaboración propia

La pieza se mecanizo en el torno con un proceso de refrentado con poco paso, para solo devastarle medio milímetro por ambos lados para luego seguir con el proceso de cilindrado en el cual se acerca a la medida según los planos, posterior a este proceso en el torno; se prensa en la Fresadora la cual es una máquina que cuenta con un divisor especial el cual nos da la pauta para marcar los huecos y que estos queden equidistantes.

**Figura 48. Mecanizado del Flame Holder**



Nota. En la imagen se muestra uno de los procesos de mecanizado que se le realizaron al Flame Holder. Elaboración propia

El proceso de mecanizado culmina con la abertura de los huecos en un taladro de árbol y el posterior proceso de avellanado con un taladro de mano dispuesto con avellanador de un cuarto de pulgada.

**Tobera.** El proceso de mecanizado de la tobera se tomó desde un tubo de diámetro menor en bruto que se soldó a uno de mayor diámetro para posteriormente montar en el torno y mecanizarlo hasta darle la figura cónica con las medidas específicas.

**Recubrimiento.** El Estatorreactor cuenta con un recubrimiento en dos capas; las cuales están conformadas por fibra de vidrio y acero inoxidable.

*Figura 49. Recubrimiento de fibra de Vibrio*



Nota. En la imagen se muestra el posicionamiento del recubrimiento del motor. Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 49, se instaló un recubrimiento de fibra de vidrio entre el motor y un tubo de acero inoxidable con el objetivo de aislar el calor que produce la combustión y proteger componentes eléctricos vitales para el encendido y la lectura de temperaturas.

Esta se manipulo con todas las normas de seguridad debido a que es un material compuesto que tiene partículas que producen incomodidad al contacto con la piel. Este cuenta con una tapa para poder acceder a los recubrimientos en caso de que se necesite.

**Figura 50. Base en conjunto del estatorreactor**



Nota. Esta imagen muestra la forma estructural de la base del motor. Elaboración propia

**Estructura Base.** El Ramjet está soportado en una base rectangular de (100cm x 50cm x 70cm) la cual le brinda estabilidad ya que esta sobre unos soportes en caucho para absorber las posibles vibraciones y evitar que se mueva con facilidad, la cual cuenta con dos niveles; en el primer nivel están ubicados los componentes eléctricos y el tanque de combustible con sus respectivo aislamiento y medidas de seguridad, en el segundo nivel está ubicado el Estatorreactor con el soplador y los controles.

La base está fabricada en tubo cuadrado de una pulgada y media ( $1\frac{1}{2}$ " ) de Acero Cold Rolled 1010 el cual fue cortado con tronzadora y soldado con equipo de soldadura eléctrica, cuenta con pintura electroestática la cual resiste a la corrosión y es un aislante eléctrico y térmico, tiene dos tablas de cedro en los dos niveles atornilladas con tornillo Challenger de media pulgada para poder soportar el tubo y los componentes eléctricos además del tanque de gas propano.

***Figura 51. Base del prototipo***



Nota. Esta imagen muestra la forma estructural de la base del motor. Elaboración propia

El prototipo del Difusor, Cámara de Combustión, y Tobera se mecanizo en hierro colado para identificar en que puntos la soldadura podría quedar con poros y así debilitar todo el componente, el hierro colado es un material que se funde a baja temperatura lo que permite identificar con la soldadura eléctrica que partes del componente pueden quedar débiles al momento de soldar.

#### ***5.4.2. Sistema Eléctrico***

El prototipo cuenta con un sistema eléctrico complejo el cual necesita de un voltaje de entrada de 220V, el dispositivo cuenta con unos componentes eléctricos que se relacionan a continuación:

- Clavija especial de 220V
- Variador de velocidad (SIEMENS)
- Parada de emergencia con dos bloques de color rojo
- Interruptor de llave con dos bloques de color verde
- Interruptor de muletilla con un bloque de color verde
- Potenciómetro de 10 K
- Bombillo de indicación de color rojo
- Bombillo de indicación verde
- Interruptor de resorte
- Indicador de temperatura tipo k
- Pirómetro
- Interruptor de codillo con tres posiciones
- Bobina de bujías
- Dos bujías
- Termocupla tipo J
- Termocupla de bajas temperaturas
- Cable encauchado de 2X14
- Cable vehículo calibre 18
- Terminales eléctricos
- Amarres plásticos

- Indicadores de números

*Figura 52. Panel de control*



Nota. Esta imagen muestra el conjunto de operación del motor. Elaboración propia

El sistema eléctrico del proyecto se basa en circuitos básicos en serie y el cual consiste en manejar tres controles; de seguridad, de funcionamiento, de indicación. Además del sistema de potencia. Estos controles se enlazan entre sí para funcionar correctamente, es decir son dependientes entre sí

**Control de Seguridad.** Este tipo de control contiene la parada de emergencia la cual es la encargada de cortar la electricidad en todo el motor en caso de emergencia, esta está instalada al lado izquierdo del panel de control y tiene dos posiciones; esta cuenta con dos bloques de color

rojo (NC) que son por los que pasan las dos fases de 220 V provenientes del tomacorriente. Siendo este el primer componente de control de electricidad en el sistema.

También contiene el interruptor de llave el cual es el segundo componente de control ya que está ubicado en la esquina superior izquierda del panel de control; este interruptor está diseñado para que solo el operario que cuente con la llave pueda encenderlo debido a que también cuenta con dos bloques por los cuales pasan las dos fases de electricidad; estos bloques son de color verde (NO).

*Figura 53. Interruptor de llave*



Nota. Esta imagen muestra el interruptor de seguridad de encendido. Elaboración propia

**Control de funcionamiento.** El control de funcionamiento contiene los demás interruptores los cuales activan diferentes componentes.

El interruptor de muletilla es el encargado de controlar el encendido del soplador enviando una señal de 24 V al variador de frecuencia con el fin de controlar su velocidad.

El potenciómetro como resistencia variable es el encargado de controlar la velocidad del soplador por medio de variaciones en las dos señales variables y la señal común, este está conectado directamente al variador de velocidad.

El interruptor de resorte es el encargado de cerrar el circuito de las bujías, brindándole la electricidad bifásica que requieren para encender el motor.

El interruptor de codillo que cuenta con tres posiciones la cual una de ellas es neutral es la encargada de encender los diferentes indicadores de temperatura.

**Sistema de indicación.** El sistema cuenta con un sistema de indicación con un bombillo verde que indica cuando el motor este energizado es decir en sus componentes hay corriente eléctrica.

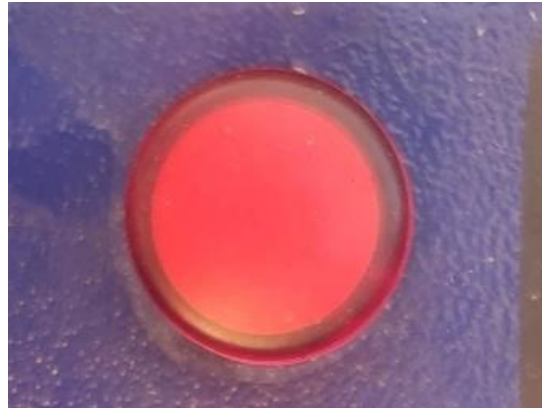
*Figura 54. Indicador de encendido*



Nota. Esta imagen muestra el indicador de encendido. Elaboración propia

El sistema de indicación también cuenta con un bombillo de aviso de color rojo que se enciende cuando se activa el interruptor de resorte encargado de las bujías, es decir este funciona en serie con las bujías indicando existe chispa dentro de la cámara de combustión.

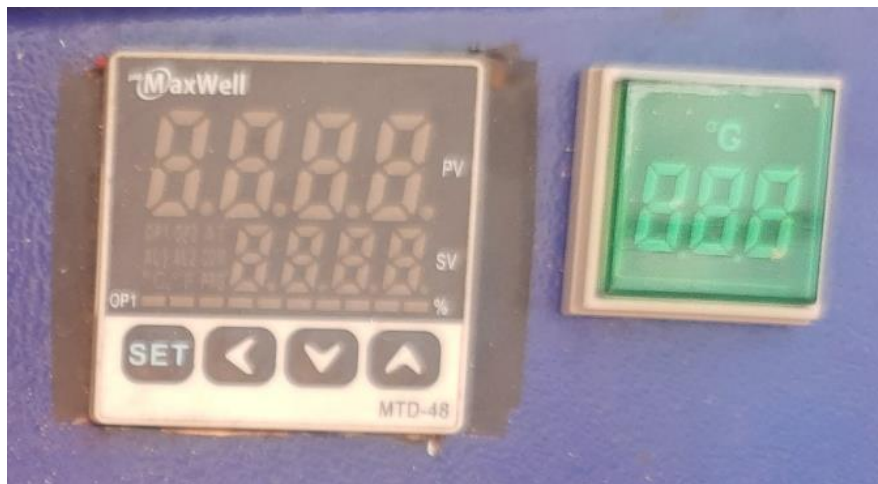
**Figura 55. Indicador de chispa**



Nota. Esta imagen muestra el indicador de ignición. Elaboración propia

Los indicadores de temperatura que se encuentran al lado derecho del panel de control nos indica la temperatura a la entrada del motor (verde) y la temperatura a la salida del motor (Rojo) los cuales reciben señales eléctricas de las termocuplas y posterior a esto las convierte en un dato digital que se escribe en pantallas de siete segmentos; las termocuplas están ubicadas estratégicamente a lo largo del motor.

**Figura 56. Indicadores de temperaturas**



Nota. Esta imagen muestra los indicadores de temperatura. Elaboración propia

**Sistema de potencia.** El Estatorreactor cuenta con un sistema de potencia integrado por un soplador de aire industrial y un variador electrónico de frecuencia, esto con el fin de que el flujo másico del aire sea variable por el usuario. El variador esta alimentado por dos fases a 220V.

*Figura 57. Variador de frecuencia*



Nota. Esta imagen muestra el variador de frecuencia. Elaboración propia

Este tiene la capacidad de generar una tercera fase de corriente gracias a un transformador y unos condensadores que tiene en su interior.

El soplador industrial funciona con tres fases de corriente generadas por el variador con una frecuencia variable; Su flujo másico fue calculado por medio de un experimento de tubo Pitot en la cual se basa en una presión dinámica y otra estática.

***Figura 58. Método de tubo Pitot***



Nota. Esta imagen muestra método utilizado para hallar el flujo másico del soplador. Elaboración propia

Con este método se logró hallar que el soplador funciona en un régimen de 15 Hz y 60 Hz arrojando una velocidad variable desde los 27 km/h hasta 100 km/h por medio de una turbina centrífuga que gira a más de 3000 revoluciones por minuto.

***Figura 59. Soplador industrial***



Nota. Esta imagen muestra el soplador industrial usado en el proyecto. Elaboración propia

#### ***5.4.7. Sistema de Combustible***

El sistema de combustible cuenta con una pipeta de gas propano de 10 libras la cual cuenta con un regulador de presión necesario para su funcionamiento; este está ponchado a una manguera de alta presión que conduce el combustible hasta un registro de bola o válvula de corte de 3/8 NPT de diámetro.

El registro permite tener un control primario del flujo de combustible para mayor seguridad y eficiencia ya que es una válvula de fácil cierre en caso de emergencia. Posterior a esto el combustible se conduce a través de un tubo de cobre hasta una segunda válvula de combustible que es la válvula de flujo variable que nos permite controlar el flujo de combustible de manera autónoma, esto con el fin de poder controlar la entrada de combustible a la cámara de combustión y lograr una mejor estequiometria con el aire. Posterior esto el combustible se dirige a los inyectores por medio de un tubo de cobre de 3/16.

***Figura 60. Inyector de combustible***



Nota. Esta imagen muestra la posición del inyector de combustible. Elaboración propia

Los inyectores cuentan con sistema dual el cual este compuesto por dos boquillas; una es de salida fija de combustible y la otra es una salida variable que se puede maniobrar directamente en el inyector con el fin de aumentar el flujo de combustible y como están ubicadas de manera opuesta, el inyector variable desprende combustible en dirección contraria al flujo de aire generando turbulencia y mejorando la mezcla.

#### ***5.4.8. Accesorios***

El Estatorreactor cuenta con una serie de accesorios que le brindan estabilidad y mejoran su aspecto además de elementos de seguridad; este cuenta con unos soportes graduables en la estructura con el fin de ajustar a la altura deseada el motor y evitar movimientos involuntarios a causa de la vibración, estos gatos están atornillados a la base por medio de unos espárragos de ½ pulgada

***Figura 61. Gatos niveladores***



Nota. Esta imagen muestra la configuración y posición de los gatos niveladores. Elaboración propia

El manual técnico (**Anexo 2**) provisional del motor, se encuentra al lado izquierdo de la estructura dentro de un bolsillo plástico diseñado para el acceso rápido de la información, también cuenta con un extintor que se encuentra en la parte inferior al lado de la pipeta de gas con fácil acceso en caso de emergencia, este extintor cuenta con todos los certificados requeridos para extinguir fuego producido por gas propano.

#### ***5.4.9. Ensamble de Componentes***

Se procedió a ensamblar todos los componentes fabricados (Difusor, cámara de combustión y tobera) junto con los demás sistemas que dieron como resultado un Producto Mínimo Viable conciso, fundamentado en los cálculos termodinámicos y en las funciones de uso.

***Figura 62. Ensamble del motor***



Nota. Esta imagen muestra el ensamble del motor y la conexión de este al soplador y los demás elementos. Elaboración propia

El motor se ensambló a la estructura metálica o base por medio de dos soportes de lámina calibre 14 que fue cortada y doblada con el fin de que ajustara perfectamente con el prototipo ya

armado; cómo se puede observar en la figura 66, estos soportes se atornillaron a la tabla con tornillos y tuercas con el fin de evitar movimientos involuntarios.

**Figura 63. Ensamble a la estructura base**



Nota. Esta imagen muestra el ensamble del motor a la estructura. Elaboración propia

El soplador fue ensamblado a la estructura por medio de tres soportes que fueron mecanizados en el torno de un material plástico industrial llamado Nylon; estos soportes cuentan con la altura exacta para que la salida del soplador acople perfectamente con la entrada del difusor con un ajuste manual.

**Figura 64. Soporte del soplador**



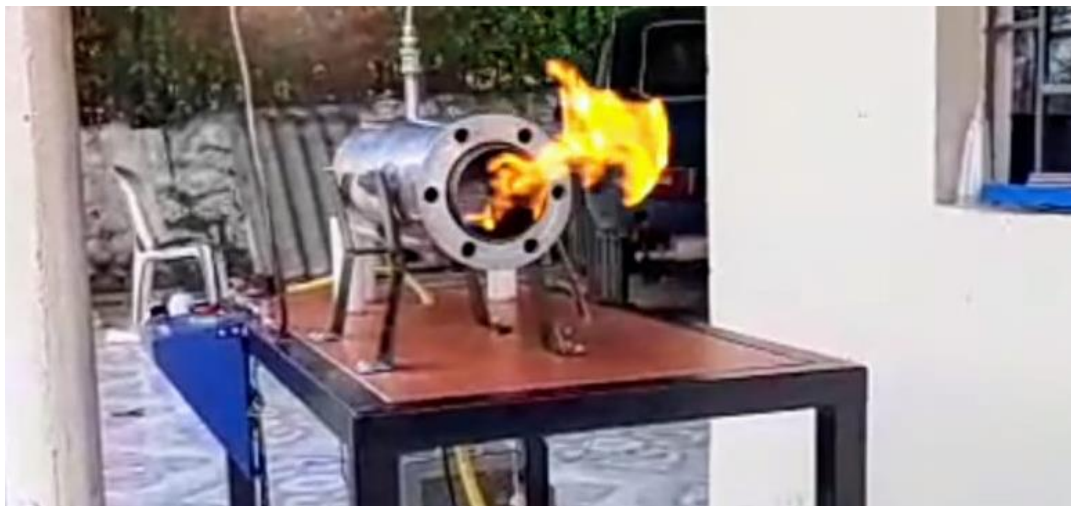
Nota. Esta imagen muestra el ensamble del soplador a la estructura. Elaboración propia

## 5.5. Fase de Testeo

### 5.5.1. Pruebas de Funcionamiento

El estatorreactor después de ser ensamblado completamente, se indujo a unas pruebas de funcionamiento que dieron como resultado un producto seguro y listo para su uso. Estas pruebas contaron con los testeos del sistema de combustión, el sistema de inducción de aire, el sistema de control y el sistema de indicación que posee el panel de control.

*Figura 65. Pruebas del sistema de combustión*



Nota. En la imagen se puede observar la prueba de la cámara de combustión en la que se procede a encender el motor y ver la generación de llama. Elaboración propia

Estas pruebas fueron realizadas en un sitio controlado y con una buena ventilación natural, para prevenir cualquier accidente o emergencia. Adicional a esto, las pruebas dieron como segundo resultado los protocolos de uso de manera segura. **(Anexos 3 y 4)**

**Figura 66. Prueba del sistema de control**



Nota. En esta imagen se evidencia la funcionalidad del panel de control. Elaboración propia

### ***5.5.2. Pruebas de Aplicabilidad (Validación pedagógica)***

En esta etapa se procedió a realizar un estudio sociológico, en el cual se involucraron 10 alumnos del curso de ingeniería aeronáutica de 9no semestre junto con un docente de la Escuela de Aviación del Ejército y se realizó una clase de “Motores de aviación” incorporando el uso del estatorreactor a gas de régimen subsónico junto a la metodología de aprendizaje basada en retos, en temas de combustión y funcionalidad de un motor.

Este estudio tuvo como finalidad realizar dos evaluaciones pedagógicas, una a los estudiantes (**Anexo 5**) y otra al docente (**Anexo 6**); estas evaluaciones dieron los resultados en los cuales se fundamentó la validación del estatorreactor como herramienta pedagógica en materias teórico – prácticas referentes a motores de aviación.

Los puntos que se tomaron en la evaluación de los alumnos fueron claves ante la perspectiva que tenían de la universidad y las materias teórico – prácticas, además de tomar su punto de vista

ante la forma en que se dictan estas clases con herramientas pedagógicas como la desarrollada en este proyecto. Los resultados de esta evaluación mostraron una aceptación del 96% de los protocolos y el uso del estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica en las prácticas de temas técnicos vistos en la clase “Motores de aviación”, además de mostrar la opinión positiva que tenían los alumnos por el uso de la herramienta en clase.

Los comentarios de los estudiantes son la respuesta ante la pregunta “La siguiente pregunta es abierta y tiene como finalidad resaltar la opinión general del estudiante, acerca de la contribución que genera usar un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica junto a la metodología de aprendizaje basado en retos en las clases referentes a motores de aviación.” (**Anexo 5**) y representan la visión que tienen ante el proyecto, la funcionalidad, el uso y todo lo referente a la incorporación de este en las materias, algunos de estos comentarios fueron:

- Este proyecto brinda un campo de prácticas y muchas posibilidades más a futuras actividades en distintas materias
- Buena propuesta para el aprendizaje, lo hace más práctico, atrae la atención, además que abre la puerta para nuevos proyectos del mismo tipo con apoyo de la Escuela.
- Es una herramienta interesante dado que la escuela no cuenta con nada parecido y aportaría a la educación practica que es en realidad aquella que más se necesita.

El puntaje obtenido o la calificación dada por el estudiante ante el estatorreactor como herramienta pedagógica fue de 4.8 de 5.0 posibles, resaltando la viabilidad del proyecto ante el uso de este en las clases teórico – prácticas, además, los protocolos de usos (**Anexo 3**) y de seguridad, obtuvieron una calificación de 4.8 de 5.0 posibles en tanto a la forma en que el estudiante manipula y realiza la actividad en el motor.

La calificación dada por el docente al proyecto fue de 5.0 de 5.0 posibles en tanto a la forma en que se califica al estudiante ante la manipulación del motor en el protocolo de calificación (**Anexo 4**) resaltando el comentario “Aprender haciendo como metodología de aprendizaje de la corriente constructivista nos corrobora que dentro de los procesos de aprendizaje es mucho más factible el “Saber haciendo” que el “Saber memorizando” (Wompner, 2007). De ahí la importancia de implementar estas herramientas pedagógicas que permitan el acercamiento a la práctica dentro de los procesos de aprendizaje”, también hace parte de la calificación, el manual técnico (**Anexo 2**) en tanto su fácil comprensión técnica tanto para alumnos como para el personal encargado del laboratorio y en la forma de emplear esta herramienta pedagógica en las clases referentes a motores de aviación.

El docente encargado de evaluar y validar el proyecto en una clase de “Motores de aviación” resalta en su comentario (**Anexo 6**) que “Los procesos de aprendizaje son complejos de alguna manera, se contempla de igual forma las diferencias en la adquisición de aprendizaje” y desde su punto de vista muestra la aceptación y el mejoramiento que otorga el uso del estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica en las clases referentes a motores y la ayuda que este brinda ante los temas relacionados en el syllabus de estas materias.

## **Capítulo 6. Conclusiones**

Se obtuvo mediante las fases de empatía y definición de la metodología Design Thinking, la alternativa de solución más eficiente ante la falta de prácticas especializadas en materias teórico – prácticas o que indican una visita empresarial del curso de ingeniería aeronáutica. Según los estudios realizados en este proyecto, el estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica, mejora varios aspectos educativos como el aumento en el ingreso de estudiantes, el incremento en la motivación de los alumnos y el mejoramiento en la calidad de proyectos, al igual mejora aspectos económicos de la universidad, tales como el fortalecimiento de la imagen corporativa ante la competencia universitaria y la disminución en la deserción estudiantil por falta de modernización, ya que este proyecto logra modificar en grandes rasgos la forma en la que se dictan las materias relacionadas con motores de aviación, ya que es inducida una nueva metodología de aprendizaje, junto con varias posibilidades prácticas fundamentadas por el protocolo de uso y el manual técnico, y a su vez, incrementa la satisfacción y se ajusta a las expectativas de los estudiantes ante la escuela, por el avance en contenido técnico y tecnológico, el mejoramiento continuo de las capacidades educativas y el fortalecimiento del pensum académico.

Los estudios termodinámicos y paramétricos realizados en este proyecto, ante la alternativa de solución dada por la metodología, dieron paso a diferentes ideas que se incorporaron en un boceto fundamentado en los resultados, que, a su vez, lograron culminar con éxito la fase de ideación, determinando una idea clara y concisa ante la solución más probable para abarcar el problema. Esta solución, fue la más viable ya que demostró una efectividad ante calidad y economía, junto con la fácil obtención de recursos físicos para su elaboración.

Los planos realizados para el estatorreactor, se desarrollaron pensando en la funcionalidad junto con el uso pedagógico y que lograra contribuir en diferentes materias del pensum académico como, “Motores de aviación”, “Hélices, rotores y tren potencia” y “Mantenimiento y reparación de motores”; estos a su vez, logran ofrecer una herramienta metodológica ante el syllabus de materias relacionadas a motores de aviación tanto en estructuras como en funcionalidad de un motor como producto aeronáutico, dándole al docente una herramienta pedagógica extra para sus clases.

En la fase de prototipado, se logró la fabricación de los diferentes componentes de los planos y estos se modificaron para su correcta adaptación al banco o base; esto se realizó para conservar la finalidad del estatorreactor, la cual es ser una herramienta pedagógica que brinde un uso educativo y logre que el estudiante pueda controlar diferentes factores en la funcionalidad del motor.

Al terminar la metodología en la fase de testeo, se logró determinar la correcta forma de uso del estatorreactor junto con todas las funciones del panel de control; este registro de uso quedo establecido en un Protocolo de Operación, tanto para estudiantes como para docentes (**Anexo 3 y 4**) fundamentado en un manual técnico.

Se evidenció mediante la Evaluación de Protocolo realizada por los estudiantes y el docente, que al utilizar el estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica en las materias relacionadas con motores de aviación, se aumenta considerablemente la percepción de atención a las clases por parte de los estudiantes, respecto a los temas relacionados con las partes y el funcionamiento de un motor aeronáutico.

Por último y como principal contribución, al usar la herramienta pedagógica junto a la metodología de aprendizaje basado en retos, se logra aumentar los conocimientos en fundamentos básicos de la combustión en las secciones prácticas de las materias, permiten al alumno el manejo

completo del motor a reacción de manera pedagógica y permiten al docente evaluar de manera técnica, práctica y teórica al estudiante.

## Capítulo 7. Recomendaciones

- La zona de trabajo o zona de operación del estatorreactor cuenta con un sistema electrónico que permite evidenciar la temperatura ambiente (de entrada) y la temperatura de una termocupla adaptada en la parte interior de la tobera (de salida); esta zona, puede ser modificada de tal manera en que estos indicadores de temperatura sean un solo sistema conjunto y se muestren estos valores en una misma pantalla.
- El controlador graduable del paso de gas (Válvula secundaria) que permite la inyección de combustible a la cámara de combustión, hace parte del panel de control y puede ser adaptado incluyendo un sistema mecánico con graduaciones o índices demarcados, dando así, una mejor experiencia en la operación del motor.
- Es necesario optimizar el mecanismo de inyección de aire mediante un sistema que genere aire laminar con más velocidad (Turbo), por cuestiones de mezcla de combustible en la cámara de combustión, ya que se requiere una mayor potencia en el sistema para inducción el aire a mayor velocidad y cantidad.
- La implementación de nuevas tecnologías y de nuevas operaciones en el funcionamiento del motor, tales como, nuevas válvulas de inyección de gas, adaptadores térmicos y de humedad, nuevos testigos de funcionalidad o controladores eléctricos son necesarias para conservar el mejoramiento continuo de la universidad y no hacer obsoleto el estatorreactor, siempre y cuando se conserve el índice de seguridad que posee el sistema de combustión y el sistema eléctrico.
- Debe realizarse un programa de mantenimiento relacionado con el motor y su funcionalidad, basado en el manual técnico del mismo junto con los protocolos de uso; esto para conservar la vida útil del motor y no presentar futuras fallas.



## Lista de Referencias

- Ángel Fidalgo; María Sein-Echaluze; Francisco García. (2017). Aprendizaje basado en retos en una asignatura académica universitaria . *Revista iberoamericana de informática educativa*, 1-7.
- Cuero Acosta, Y., & Paredes Escobar, M. R. (julio de 2020). *Reflexiones pedagógicas*. Obtenido de [https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/25249/Reflexiones%2022.pdf\\_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/25249/Reflexiones%2022.pdf_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cuesta Alvarez, M. (1980). *Motores de reacción* . Madrid, España: Parainfo.
- Cuesta Alvarez, M. (1980). *Motores de reacción*. Madrid, España: Parainfo.
- Delgado, C. A. (2013). Retos del aprendizaje basado en problemas . *Enseñanza e investigación en psicología* .
- Denisse Cepeda. (2017). *El País*. Obtenido de CincoDías: [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2017/04/24/fortunas/1493027974\\_912809.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2017/04/24/fortunas/1493027974_912809.html)
- El-Sayed, & A.F. (2016). *Fundamentals of aircraft and rocket propulsion*.
- El-Sayed, & A.F. (2016). *Fundamentals of aircraft and rocket propulsion*.
- El-Sayed; Ahmed F. (2017). *Aircraft propulsion and gas turbine*. Taylor & Francis Group.
- Escuela de Aviación del Ejército. (2019). Obtenido de [https://www.esave.mil.co/escuela\\_aviacion\\_ejercito/educacion\\_superior/\\_460106](https://www.esave.mil.co/escuela_aviacion_ejercito/educacion_superior/_460106)
- Fidalgo, Á., Sein-Echaluze, M., & Francisco, G. (2017). Aprendizaje basado en retos en una asignatura académica universitaria . *Revista iberoamericana de informática educativa*, 1-7.
- Galmés Belmonte, B. (2018). *Motores de reacción y turbinas de gas*. Madrid, España: Ediciones Parainfo.
- Lee, T.-W. (2014). *Aerospace Propulsion* . Chichester: John Wiley.
- Nammo. (2014). *Nammo AS - Oficina Central*. Obtenido de <https://www.nammo.com/>
- Nammo Talley. (2014). *Nammo A.S*. Obtenido de <https://www.nammo.com/what-we-do/rocket-motors/>
- Ordoñez Cardenas, G. (23 de julio de 2019). Estatorreactor fime (UNAC). (A. Torre Camones, Entrevistador)

Orientación                      Universia.                      (2019).                      Obtenido                      de  
[https://orientacion.universia.net.co/infodetail/orientacion\\_vocacional/orientacion/estudiar-ingenieria-aeronautica-en-colombia-6011.html](https://orientacion.universia.net.co/infodetail/orientacion_vocacional/orientacion/estudiar-ingenieria-aeronautica-en-colombia-6011.html)

Reglamentos Aeronáuticos de Colombia. (Octubre de 2019). *Aeronáutica Civil*. Obtenido de  
<http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/VERSION%20DIC%2031%202016/RAC%20%2021%20-%20Certificaci%C3%B3n%20de%20aeronaves%20y%20componentes%20de%20aeronaves.pdf>

Rodriguez Baron, I. F. (2013). Diseño Conceptual y Preliminar de un Motor Estatorreactor. *Tesis de Pregrado*. Bogota D.C., Colombia: Fundacion Universitaria Los Libertadores .

Waltrup P.; White M.; Zarlingo F. & Gravlin E. (1997). *History of ramjet and scramjet propulsion development*. Johns Hopkins APL Technical Digest.

## Anexos

### Anexo 1. Encuesta C1-005 (24/06/20)

Encuesta de satisfacción y calidad educativa. (Kevin Anderson Restrepo; Hernán Darío Torres, Entrevistadores). Resultados

Realizada vía Google Drive, mediante el correo institucional kevin.restrepoleiva@cedoc.edu.co y dirigida a la base de datos de información, para el proyecto de grado C1-005. Preguntas realizadas en contexto de estudio social como metodología en forma de encuesta:

1. Semestre actual (Cursado) – (5to semestre, 6to semestre, 7mo semestre, 8vo semestre)
2. Como estudiante de ingeniería aeronáutica con énfasis en mantenimiento, que tan importante es realizar el enfoque técnico (Prácticas de la teoría) en materias teórico-prácticas del pensum académico. \*Responder con una cifra de 0 a 5: siendo 0 (Solo deben enfocarse en teoría) y 5 (Esencial)
3. Para usted, qué importancia tiene la parte práctica en materias como: (Termodinámica), (Motores de aviación), (Hélices, rotores y tren de potencia) y (Mantenimiento y reparación de motores). \*Responder con una cifra de 0 a 5: siendo 0 (Solo deben enfocarse en teoría) y 5 (Esencial en estas materias)
4. Teniendo en cuenta su semestre actual y las siguientes materias: (Termodinámica), (Motores de aviación), (Hélices, rotores y tren de potencia) y (Mantenimiento y reparación de motores). Qué porcentaje aproximado de actividad práctica realizó en estas. \*Responder con una cifra de 0 a 5: siendo 0 (Solo se enfocaron en teoría) y 5 (un 50% de la materia fue práctica)

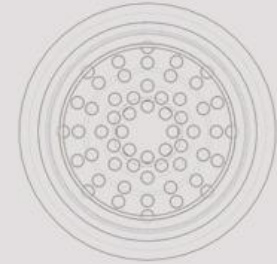
5. Como estudiante, cree usted que un prototipo didáctico que cubra la parte práctica en materias como: (Termodinámica), (Motores de aviación), (Hélices, rotores y tren de potencia) y (Mantenimiento y reparación de motores); Ayude a aumentar la calidad educativa y la comprensión de temas teóricos vistos en clase \*Responder con una cifra de 0 a 5: siendo 0 (no habría cambio alguno en la satisfacción como estudiante, ni aumentaría la calidad académica) y 5 (un incremento considerable en la satisfacción como estudiante y el aumento en la calidad académica)

Marca temporal	Semestre actual	Segunda Pregunta	Tercera Pregunta	Cuarta Pregunta	Quinta Pregunta
6/24/2020 16:01:05	8vo semestre	5	5	1	5
6/24/2020 16:07:19	8vo semestre	5	5	1	5
6/24/2020 16:08:12	8vo semestre	5	5	1	5
6/24/2020 16:10:27	8vo semestre	5	5	0	5
6/24/2020 16:12:15	6to semestre	5	5	0	3
6/24/2020 16:14:14	6to semestre	5	5	0	4
6/24/2020 16:14:47	6to semestre	4	5	1	4
6/24/2020 16:15:08	6to semestre	5	5	0	5
6/24/2020 16:15:13	6to semestre	5	5	3	5
6/24/2020 16:16:24	8vo semestre	5	5	0	5
6/24/2020 16:17:23	6to semestre	5	5	0	5
6/24/2020 16:18:35	8vo semestre	5	5	1	4
6/24/2020 16:25:04	5to semestre	4	5	0	3
6/24/2020 16:27:30	5to semestre	5	5	0	3
6/24/2020 16:28:47	5to semestre	5	5	0	3
6/24/2020 16:31:07	7mo semestre	5	5	1	5
6/24/2020 16:31:22	7mo semestre	5	4	2	5
6/24/2020 16:31:53	6to semestre	4	4	1	4
6/24/2020 16:32:56	7mo semestre	5	5	0	5
6/24/2020 16:33:43	7mo semestre	5	4	2	4
6/24/2020 16:34:51	5to semestre	5	5	1	5
6/24/2020 16:37:23	5to semestre	5	5	0	5
6/24/2020 16:37:28	8vo semestre	5	5	2	5
6/24/2020 16:40:07	5to semestre	5	5	0	5
6/24/2020 16:44:23	7mo semestre	5	5	2	5
6/24/2020 16:48:39	7mo semestre	5	5	3	5
6/24/2020 17:08:39	5to semestre	5	5	2	4
6/24/2020 17:14:34	5to semestre	5	5	0	3
6/24/2020 17:19:45	8vo semestre	5	5	1	4
6/24/2020 23:39:36	8vo semestre	5	5	2	5

## Anexo 2. Manual Técnico – Estatorreactor TR -120

ESTATORREACTOR A GAS  
DE RÉGIMEN SUBSÓNICO

RAMJET TR-120  
A000001/01



RAMJET  
TR-120

ESTATORREACTOR

MANUAL TÉCNICO



## ¡ATENCIÓN!

Este estatorreactor a gas de régimen subsónico es un proyecto desarrollado mediante diferentes métodos de investigación y estudios relacionados con la fabricación de motores aeronáuticos.

Los estudiantes de ingeniería aeronáutica Kevin Anderson Restrepo Leiva y Hernán Darío Torres Valencia, conceden este manual técnico como base fundamental de los protocolos de uso y las funciones generales de cada componente del estatorreactor; por lo tanto, no se hacen responsables por las alteraciones, modificaciones u otras actividades adicionales aplicadas al motor, que no se encuentren estipuladas en el proyecto.



### Consejos ambientales

Este aparato utiliza gases de acuerdo con el protocolo de Montreal.  
Este aparato no debe ser tratado como basura doméstica, debe ser entregado en un sistema de reciclaje de equipos eléctricos y electrónicos que atienda a la legislación local.

## Fallas y soluciones

### Asistencia al operador

En caso de que el motor presente algún problema de funcionamiento, verifique las probables causas y soluciones.  
Si no se encuentran las fallas en este manual, procure informar el problema a la institución, para que esta realice el respectivo mantenimiento.

PROBABLES CAUSAS / CORRECCIONES		
<b>Si el motor no enciende</b>	Enchufe desconectado del tomacorriente.	Conectar el enchufe en el tomacorriente.
	Tomacorriente con mal contacto.	Corregir el defecto en el tomacorriente eléctrico.
	Caída de energía eléctrica u oscilación de tensión.	Retirar el enchufe del tomacorriente por 15 segundos y reconectarlo.
	Falta de energía eléctrica, fusible de la residencia quemado o disyuntor desconectado.	Aguardar retorno de la energía, cambiar fusible o conectar el disyuntor.
	Tensión en el tomacorriente muy alta o muy baja.	Instalar el estabilizador de tensión.
<b>El variador de frecuencia no funciona (No enciende)</b>	La pantalla verde no enciende después de conectar el motor.	Verifique la conexión del enchufe
	El soplador no enciende pero la pantalla verde del variador sí.	Verificar la conexión del soplador y estado del interruptor.
	Sale aviso de falla (F1)	Verificar el voltaje de entrada.
	Sale aviso de falla (F3)	Apagar el soplador por un promedio de 15 minutos pues este se encuentra en una sobretemperatura.
<b>El sistema de combustión no genera fuego</b>	Las bujías no generan la chispa necesaria	Verificar la conexión de las bujías y estado del interruptor.
	Las válvulas se encuentran cerradas	Abra la válvula de seguridad, la válvula secundaria y verifique el regulador de salida del cilindro.
	El cilindro de gas se encuentra vacío.	Cambie o recargue el cilindro a su máxima capacidad.

## Consejos de uso



### Para evitar lesiones corporales

Asegúrese de utilizar todos los implementos de seguridad propuestos en el protocolo de uso y elementos de protección solicitados para el ingreso al laboratorio.

Adicional a esto, procure no mirar directamente la tobera de salida (De frente) ya que esta puede causar lesiones en los ojos o quemar levemente la cara.

No toque directamente el cuerpo del motor (Cámara de combustión y tobera) con las manos durante o después de haber realizado la operación, ya que este puede quemar de manera considerable la piel.

**ATENCIÓN:** Siga los pasos requeridos en el manual, los pasos dados por el docente y los pasos dados en el protocolo de uso.

### Para conservar la vida útil

Evite introducir elementos en la tobera y procure no obstaculizar la salida de fuego de la misma; Adicional a esto, siga al pie de la letra los pasos requeridos en el protocolo de uso.

No altere, modifique o cambie los sistemas, circuitos o conexiones que tiene el motor y el banco; esto puede alterar el funcionamiento y generar un accidente.

### Para transportar el motor

En caso de necesidad de transporte, procure NO desinstalar el motor por completo, únicamente retire el cilindro de gas y el extintor del banco.

Evite transportar objetos en la mesa base del banco y no coloque elementos encima del motor.

Es recomendable siempre nivelar el banco antes de realizar una operación después de ser transportado. Para pequeños desplazamientos, procure no inclinar la base levantando sus 4 soportes al mismo tiempo (+2 Personas).

### Para almacenamiento por inactividad

Procure desconectar el motor del tomacorriente en caso de almacenamiento por inactividad o no ser utilizado y cierre todas las válvulas reguladoras y de seguridad.

## Seguridad

### Advertencias preliminares

Leer las instrucciones técnicas antes de instalar este artefacto.

Leer las instrucciones de uso antes de encender este artefacto.

Solo manipule este artefacto con autorización del docente u otra persona autorizada por la universidad.

### Para usuarios e instaladores

Desconecte el motor del tomacorriente siempre que vaya a realizar un mantenimiento o no se encuentre en operaciones frecuentes.

Para desenchufarlo, no tire del cable eléctrico, utilice el enchufe.

No apriete, no doble ni ate el cable electrónico. Si su cordón de alimentación se daña, este deberá ser reemplazado por un técnico especialista o persona autorizada por la universidad, a fin de evitar riesgos.

No almacene productos, herramientas u otros objetos en el interior del banco, pues estos pueden causar un futuro accidente.

No se apoye sobre el motor ni sobre el sistema de inducción de aire, pues estos se pueden desajustar y generar una mala operación, comprometiendo el desempeño general del motor.



### ATENCIÓN

Jamás deje velas, cigarrillos encendidos o encendedores, cerca de la base del estatorreactor, bajo riesgo de provocar incendios.

Evite tocar el cuerpo del motor después de realizar operaciones, pues la alta temperatura puede causar lesiones en la piel.

## Seguridad



### ATENCIÓN

Riesgo de fuego / material inflamable  
Prohibido fumar, encender fuego, acercar llamas o aparatos que produzcan chispas

NOTA: Este motor usa gas propano inflamable en su sistema sellado de inducción y almacenamiento.

Las siguientes recomendaciones debe ser observadas para su seguridad:

- Este artefacto contiene una gran cantidad de gas propano, que no es nocivo al medio ambiente, pero es inflamable, no daña la capa de ozono, ni aumenta el efecto invernadero.
- Durante el transporte e instalación del aparato, cuide no provocar daños a las piezas (Compresor, tubos de cobre y accesorios del banco) del sistema de combustión.
- Escapes de gas del sistema de combustión (Tubos de cobre y accesorios del banco) pueden ser perjudicial para la

salud y provocar daños en diferentes partes del cuerpo.

- En caso de escape de gas, evitar la exposición del aparato y el lugar donde el mismo se encuentra, a las llamas (Fuego) y cualquier otro dispositivo que genere chispas.
- Permita la ventilación natural del ambiente donde está el aparato.
- Este aparato debe ser enchufado a un tomacorriente con puesta a tierra.
- **ADVERTENCIA:** Mantenga desobstruido los agujeros y las aperturas de pasajes de aire tanto de entrada como de salida, además de aquellos recomendados en este manual.
- **ADVERTENCIA:** No utilice

**ATENCIÓN:** NO encienda el motor con ningún elemento externo que genere chispa o llama (no coloque elementos que generen chispa o llama en la tobera), puesto que esto puede generar un accidente.

### 24. Interruptor de codillo

El interruptor de codillo activa y desactiva los indicadores de temperatura y tiene tres posiciones:

**Posición izquierda**, muestra la temperatura de salida del motor.

**Posición derecha**, muestra la temperatura de entrada del motor.

**Posición intermedia**, desactiva los indicadores.

### 26. Válvula de seguridad de paso de combustible

La válvula de seguridad de paso de combustible es el sistema con el que se puede restringir el paso de combustible en caso de una emergencia menor o en caso de terminar cualquier operación con el motor.

Esta válvula tiene dos posiciones las cuales se deben tener en cuenta ya que:

**Posición perpendicular al operario ( $\perp$ ):** Esta posición hace referencia a que la válvula se

encuentra cerrada y por lo tanto no hay paso de combustible.

**Posición paralela al operario (=):** Esta posición hace referencia a que la válvula se encuentra abierta y el flujo de paso de combustible se encuentra en control de la válvula secundaria.

### 27. Válvula secundaria de paso de combustible

Esta válvula, regula de forma mecánica el flujo de combustible y sirve para regular la cantidad de combustible que es inducido a la cámara de combustión del motor.

## Características de funcionamiento

### Sistema de control de inducción de aire

Este sistema se encuentra conformado por el compresor o soplador, el potenciómetro (Regulador de aire) y el interruptor de encendido del sistema de inducción de aire.

El uso de este sistema en las prácticas puede extenderse sin problemas y sin riesgos de sobrecalentamiento, siempre y cuando el operador siga los pasos requeridos en el protocolo de uso.

## Orientaciones principales

### Panel de control

Responsable de las regulaciones tanto del aire como del combustible de operación del motor.

En los niveles mínimos el motor puede no tener el desempeño adecuado.

**ATENCIÓN:** Los botones, reguladores e interruptores del panel de control, poseen una regulación mínima y máxima, NO sobrepase estos niveles forzando los controles.

### 16. Parada de emergencia

El de control cuenta con una parada de emergencia al costado izquierdo. Este botón es de color rojo y posee únicamente dos posiciones (Pulsado y no pulsado), las funciones que ocupan sus posiciones son:

**Pulsado:** bloquea y corta los circuitos eléctricos del motor de manera inmediata; para volver a operar el artefacto después de haber pulsado el botón de emergencia, deberá volver a reiniciar el sistema, apagando y prendiendo mediante el interruptor de llave.

**No pulsado:** posición para operar el motor.

### 18. Interruptor de llave

La función del interruptor de llave es iniciar la operación, proporcionar la activación del panel control.

El interruptor de llave sirve para reiniciar el sistema después de activar la parada de emergencia.

### 19. Potenciómetro

El potenciómetro, regula mediante señales eléctricos el flujo de aire y sirve para regular la velocidad en la que el aire es inducido al motor.

### 20. Interruptor de encendido del soplador

El interruptor del soplador solo posee dos posiciones; la posición de apagado la cual se puede ver con un Angulo 0 y la posición de encendido la cual se puede ver con una posición de 45 grados positivos.

**ATENCIÓN:** El interruptor únicamente tiene dos posiciones, por lo cual no se deben hacer movimientos adicionales ni sobrepasar los límites de estas.

### 22. Botón de ignición

La única función del botón de ignición es dar corriente a las válvulas ubicadas en la cámara de combustión y así encender de manera correcta el motor.

dispositivos mecánicos u otros medios para acelerar el proceso de combustión, además de aquellos recomendados en este manual.

• **ADVERTENCIA:** No dañe el sistema de inducción de combustible (Tubos de cobre y accesorios del banco).

• **ADVERTENCIA:** No utilice aparatos eléctricos dentro del banco.

• No almacene material explosivo dentro del banco o cualquier otro material que contenga propelentes inflamables, tales como latas de spray, líquidos explosivos o líquidos inflamables, que puedan causar una explosión. Durante el funcionamiento del aparato, termostatos y/o interruptores adicionales a los incorporados, pueden generar chispas que representan peligro de incendio.

• No utilice materiales de tipo "Espray" para efectuar o acelerar la combustión, pues tales materiales pueden contener sustancias nocivas que pueden reaccionar y dañar las piezas del motor.

• No use dispositivos de limpieza a vapor para limpiar. Vapor bajo presión puede provocar humedad en

componentes eléctricos, provocando un cortocircuito.

• El medio ambiente y la seguridad personal deben ser considerados al descartar el aparato. Asegúrese de que el aparato sea transportado para un lugar apropiado para el descarte y el reciclaje seguro. NO DEJE el aparato abandonado en vertederos, o terrenos baldíos, pues la fibra usada en el aislamiento es inflamable.

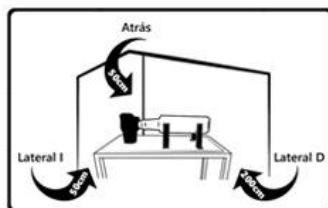
## Instalación

### Elija el lugar de instalación

Respete las distancias mínimas entre el motor y las paredes:

Laterales: 50 cm (Lado izquierdo con referencia al sistema de inducción de aire), 200 cm (Lado derecho con referencia a la tobera) / Atrás: 50 cm.

No instale el aparato cerca o próximo a productos químicos, inflamables o fuentes de calor directas al banco.



### Nivelación

Ajuste las patas niveladoras delanteras y traseras, de forma de garantizar la perfecta estabilidad del motor y su banco, evitando movimientos de balanceo.

Para esto las patas niveladoras deberán estar totalmente apoyadas en el suelo.

El buen funcionamiento del motor depende de su perfecta nivelación.

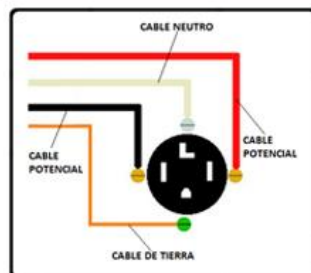
## Instalación eléctrica

Antes de prender el aparato, verifique si el voltaje del tomacorriente en el

que se encuentra conectado es igual al voltaje requerido por el sistema eléctrico del motor, el cual es de 220 V.

Conecte el aparato en un tomacorriente exclusivo, no utilice alargadores ni conectores tipo Triple. Este tipo de conexión puede provocar sobrecarga en la red eléctrica, perjudicando el funcionamiento del aparato y resultando en accidentes.

Tenga cuidado para que el aparato no quede apoyado sobre el cable eléctrico.

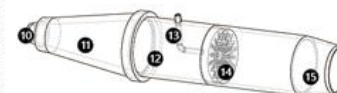
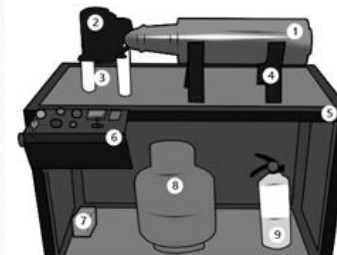


Para su seguridad solicite a la universidad la asignación de un electricista que compruebe la condición de la red eléctrica del local de instalación del aparato.


## Catálogo de partes ilustradas

1. Estatorreactor
2. Compresor (Sistema de inducción de aire)
3. Soporte del compresor
4. Soporte del motor
5. Banco del motor
6. Panel de control
7. Variador de frecuencia
8. Cilindro de gas (Intercambiable)
9. Extintor (Intercambiable)
10. Entrada de aire
11. Difusor
12. Cámara de combustión
13. Inyector de combustible
14. Flame holder - Acumulador de llama
15. Tobera de escape
16. Parada de emergencia
17. Indicador de encendido
18. Interruptor de llave
19. Potenciómetro (Regulador de aire)
20. Interruptor de encendido del soplador
21. Indicador de chispa
22. Botón de ignición
23. Indicador de temperatura (De salida)
24. Interruptor de codillo
25. Indicador de temperatura (De entrada)
26. Válvula de seguridad de paso del combustible
27. Válvula secundaria

SCRAMJET TR-120



## Anexo 3. Protocolo de Uso para Estudiantes

	Centro de Educación Militar - Escuela de Aviación del Ejército Curso de ingeniería aeronáutica
	Estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica <b>Protocolo de operación de uso educativo</b>
Proyecto de investigación e innovación Kevin Anderson Restrepo Leiva, Hernán Darío Torres Valencia	

El siguiente formato se encuentra vinculado al proyecto de grado "Desarrollo de un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica" y es parte de la evaluación pedagógica en el uso de esta herramienta educativa junto a la metodología de aprendizaje basada en retos en materias teórico – prácticas relacionadas con motores de aviación.

### **Protocolo de inicio operación:**

**Importante:** Antes de empezar a operar el estatorreactor correctamente, deben tener en cuenta los siguientes factores de seguridad:

1. El espacio de prácticas debe contar con un sistema de ventilación óptimo y con las medidas necesarias para una correcta operación.
2. El estatorreactor funciona a 220 Voltios, necesita de dos fases de corriente y un polo a tierra. Antes de empezar la operación verifique estas conexiones.
3. Tanto el estudiante como el docente, debe contar con los elementos de seguridad correspondientes para el ingreso al laboratorio o zona de prácticas (Overol o bata, guantes, gafas y protector de oídos).
4. El banco dispuesto para el estatorreactor se encuentra equipado con un kit de seguridad ante incendios el cual cuenta con un extintor (Vigente). Antes de iniciar la operación, verifique que este se encuentre en su lugar y conserve su sello de operación.
5. Antes de cada operación, observe y verifique el estado del tanque de gas (Que no se encuentre abollado, que el regulador se encuentre correctamente instalado y que no presente alteraciones).

Estos pasos deben realizarse antes de cada clase o actividad con el estatorreactor a gas en el laboratorio o zona de práctica, sin excepción alguna.

El docente debe tener en cuenta la actitud del estudiante y resaltarle la importancia de los factores de seguridad antes de realizar cualquier actividad.



### **En caso de emergencia:**

Sin importar la operación, en cualquier caso, de emergencia, tanto el alumno como el docente, deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Se debe cerrar la válvula de seguridad de paso del combustible (Gas).  
La posición de cerrado es perpendicular al operario.
2. Se debe pulsar de manera inmediata la parada de emergencia. La parada de emergencia queda activada, cuando esta se encuentra pulsada y no retoma a su punto de inicio.
3. Se debe desconectar el sistema del tomacorriente después de pulsar la parada de emergencia.
4. Se debe accionar el extintor en caso de incendio.  
En tal caso de que el fuego incendie el sistema, el extintor debe usarse desde la tobera hasta el sistema de inducción de aire.


**Protocolo de operación:**

<b>Proceso de encendido</b>	
<b><u>Lista de operaciones</u></b>	<b><u>Chequeo</u></b>
Leer y ejecutar el <b><u>protocolo de inicio de operación</u></b> junto con los pasos en caso de emergencia.	
Una vez realizado el protocolo de inicio de operación, verifique que la válvula de seguridad de paso del combustible (Gas) se encuentre cerrada. La posición en la que debe estar la válvula antes de iniciar la operación debe ser perpendicular al operador.	
El panel de control cuenta con una parada de emergencia al costado izquierdo. Verifique que esta no se encuentre pulsada.	
Proceda a encender el sistema con el interruptor de llave, verificando que tanto el testigo del panel de control de color verde, como la pantalla del variador de frecuencia, enciendan.	
<b>En caso de que la pantalla del variador de frecuencia no encienda, remítase al manual técnico.</b>	
Poner en la posición mínima el potenciómetro (Girarlo en sentido contrario de las manecillas del reloj hasta el tope).	
Encender el interruptor del soplador de modo que quede en una posición de 45° aproximadamente.	
<b>El soplador debe encender a velocidad ralenti, en caso de no encender, remítase al manual técnico</b>	
Abrir la válvula de seguridad de paso del combustible (Gas); esta debe quedar en posición paralela al operador.	
Graduar la cantidad de combustible mediante la válvula secundaria, girándola en dirección de las manecillas del reloj.	
<b>Importante:</b> No se deben dejar, el paso de gas (Válvula de seguridad de paso del combustible) junto con el paso de combustible (Válvula secundaria) abiertos por más de dos (2) minutos sin encender mediante las bujías el motor.	
Oprimir el botón de ignición de color rojo, para darle corriente a las bujías y así encender el estatorreactor.	
<b>Las bujías deben generar una chispa que inicie la combustión; en caso de superar los dos (2) minutos y no lograr encender el motor, deberá cerrarse el paso de combustible.</b>	
<b>La combustión funciona con una mezcla rica en combustible (Inicialmente) por lo cual se evidenciará una llama de color amarillo. Al iniciar la combustión, el motor generara un sonido de explosión; NO se alarme, este sonido es normal siempre y cuando la llama de salida este controlada.</b>	

<b>Proceso en operación</b>	
<u>Lista de operaciones</u>	<u>Chequeo</u>
<b>El motor estará en modo ralentí, es decir, en la menor potencia requerida para su funcionamiento.</b>	
Graduar la velocidad del aire que sea requerida (Aproximadamente) mediante el potenciómetro en sentido de las manecillas del reloj. La velocidad requerida es la solicitada por el docente.	
Graduar el paso de combustible que sea requerido (aproximadamente) mediante la válvula secundario en sentido de las manecillas del reloj. La cantidad de combustible requerida es la solicitada por el docente	
<b>Los controladores de flujo (aire y combustible) tienen un tope, tanto de mínimo como de máximo, NO sobrepase esos topes ya que puede dañar las perillas de manejo.</b>	
Los dispositivos indicadores de temperaturas (De entrada y de salida) se activan mediante un interruptor de codillo; use este interruptor para resaltar las temperaturas solicitadas por el docente.	
<b>El interruptor de codillo que activa y desactiva los indicadores de temperatura, tiene tres posiciones: Posición izquierda, muestra la temperatura de salida del motor; posición derecha, muestra la temperatura de entrada del motor y posición intermedia, desactiva los indicadores.</b>	
<u>Operación</u>	<u>Apuntes</u>
Temperatura inicial de operación	
Temperatura final alcanzada	

<b>Proceso de apagado y finalización de operación</b>	
<u>Lista de operaciones</u>	<u>Chequeo</u>
Una vez terminadas las actividades de operación con el motor encendido, gradúe la válvula secundaria de paso de combustible en dirección en contra de las manecillas del reloj hasta el tope y cierre la válvula de seguridad de paso del combustible (Gas).	
<b>La posición de cierre en la que debe quedar la válvula de seguridad de paso de combustible debe ser perpendicular al operador.</b>	
Desactive los indicadores de temperatura, colocando en posición intermedia (Posición central) el interruptor de codillo.	
Graduar la velocidad del aire al máximo mediante el potenciómetro en sentido de las manecillas del reloj.	
<b>El sistema de inducción de aire debe quedar encendido a máxima potencia por al menos cinco (5) minutos y tres (3) minutos a velocidad ralentí, para refrigerar de manera eficiente el motor.</b>	
Una vez cumplido el tiempo requerido para la refrigeración de manera eficiente, apague el sistema de inducción de aire, graduando a su mínimo grado el interruptor de muletilla.	
Apagar el sistema eléctrico, desactivando el interruptor de llave.	
<b>Importante:</b> No se deben dejar encendido el prototipo por más de diez (10) minutos, debido a que la estructura podría calentarse y generar una falla que incendie el sistema.	

## Anexo 4. Protocolo de Uso para Docentes

	Centro de Educación Militar - Escuela de Aviación del Ejército Curso de ingeniería aeronáutica
	Estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica <b>Protocolo de operación calificativo</b>
Proyecto de investigación e innovación Kevin Anderson Restrepo Leiva, Hernán Darío Torres Valencia	

El siguiente formato se encuentra vinculado al proyecto de grado "Desarrollo de un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica" y es parte de la evaluación pedagógica en el uso de esta herramienta educativa junto a la metodología de aprendizaje basada en retos en materias teórico – prácticas relacionadas con motores de aviación.

### **Protocolo de inicio operación:**

**Importante:** Antes de empezar a operar el estatorreactor correctamente, deben tener en cuenta los siguientes factores de seguridad:

1. El espacio de prácticas debe contar con un sistema de ventilación óptimo y con las medidas necesarias para una correcta operación.
2. El estatorreactor funciona a 220 Voltios, necesita de dos fases de corriente y un polo a tierra. Antes de empezar la operación verifique estas conexiones.
3. Tanto el estudiante como el docente, debe contar con los elementos de seguridad correspondientes para el ingreso al laboratorio o zona de prácticas (Overol o bata, guantes, gafas y protector de oídos).
4. El banco dispuesto para el estatorreactor se encuentra equipado con un kit de seguridad ante incendios el cual cuenta con un extintor (Vigente). Antes de iniciar la operación, verifique que este se encuentre en su lugar y conserve su sello de operación.
5. Antes de cada operación, observe y verifique el estado del tanque de gas (Que no se encuentre abollado, que el regulador se encuentre correctamente instalado y que no presente alteraciones).

Estos pasos deben realizarse antes de cada clase o actividad con el estatorreactor a gas en el laboratorio o zona de práctica, sin excepción alguna.

El docente debe tener en cuenta la actitud del estudiante y resaltarle la importancia de los factores de seguridad antes de realizar cualquier actividad.



### **En caso de emergencia:**

Sin importar la operación, en cualquier caso, de emergencia, tanto el alumno como el docente, deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Se debe cerrar la válvula de seguridad de paso del combustible (Gas).  
La posición de cerrado es perpendicular al operario.
2. Se debe pulsar de manera inmediata la parada de emergencia. La parada de emergencia queda activada, cuando esta se encuentra pulsada y no retoma a su punto de inicio.
3. Se debe desconectar el sistema del tomacorriente después de pulsar la parada de emergencia.
4. Se debe accionar el extintor en caso de incendio.  
En tal caso de que el fuego incendie el sistema, el extintor debe usarse desde la tobera hasta el sistema de inducción de aire.

<b>Proceso en operación</b>		
<u>Lista de operaciones</u>	<u>Observaciones</u>	<u>NOTA</u>
<b>El motor estará en modo ralenti, es decir, en la menor potencia requerida para su funcionamiento.</b>		
Solicitar al estudiante una velocidad del aire requerida (Aproximadamente) para que sea graduada mediante el potenciómetro en sentido de las manecillas del reloj		
Solicitar al estudiante un paso de combustible requerido (Aproximadamente) para que sea graduado mediante la válvula secundaria en sentido de las manecillas del reloj.		
<b>La velocidad de aire y el paso de combustible requerido deben ir vinculado con el funcionamiento y la operación del ejercicio; generalmente son vinculados con que el estudiante no deje apagar el motor en plena operación.</b>		
Solicitar al estudiante, indicar una o todas las temperaturas que muestran los indicadores de temperaturas (De entrada y de salida).		
Identificar la adaptación a la práctica del estudiante con respecto a uso de la maquina (Como uso los controles, como identifico los indicadores y como realizo los ejercicios de operación)		

<b>Proceso de apagado y finalización de operación</b>		
<u>Lista de operaciones</u>	<u>Observaciones</u>	<u>NOTA</u>
Una vez terminadas las actividades de operación con el motor encendido, ¿El estudiante graduó la válvula secundaria de paso de combustible en dirección en contra de las manecillas del reloj hasta el tope y cerro la válvula de seguridad de paso del combustible (Gas)?		
<b>La posición de cierre en la que debe quedar la válvula de seguridad de paso de combustible debe ser perpendicular al operador.</b>		
¿El estudiante desactivo los indicadores de temperatura, colocando en posición intermedia (Posición central) el interruptor de codillo?		
¿El estudiante graduó la velocidad del aire al máximo mediante el potenciómetro en sentido de las manecillas del reloj?		
<b>El sistema de inducción de aire debe quedar encendido a máxima potencia por al menos cinco (5) minutos y tres (3) minutos a velocidad ralenti, para refrigerar de manera eficiente el motor.</b>		
¿El estudiante tomo el tiempo requerido para la refrigeración de manera eficiente del motor, antes de apagar el sistema?		
¿El estudiante apago el sistema eléctrico, desactivando el interruptor de llave correctamente?		
<b>Importante:</b> No se deben dejar encendido el prototipo por más de diez (10) minutos, debido a que la estructura podría calentarse y generar una falla que incendie el sistema.		

<b>Resumen de calificación</b>		
<b><u>Lista de procesos</u></b>	<b><u>Observaciones</u></b>	<b><u>NOTA</u></b>
Proceso de encendido		
Proceso durante el encendido		
Ejercicios de operación y adaptación a la practica		
Proceso de apagado y finalización de operación		
<b>Calificación general de la practica</b>		

## Anexo 5. Evaluación de protocolo por los alumnos

# Evaluación de Protocolo

Escuela de Aviación del Ejército  
Programa de ingeniería aeronáutica

FECHA: 30/10/2020

CURSO EVALUADOR: 9no Semestre

CLASE RELACIONADA: Motores de aviación

### DESARROLLO DE UN ESTATORREACTOR A GAS DE RÉGIMEN SUBSÓNICO COMO HERRAMIENTA PEDAGÓGICA

Proyecto de investigación e innovación

Kevin Anderson Restrepo Leiva  
Hernán Darío Torres Valencia

La siguiente evaluación, se basa en la opinión general de los estudiantes ante el uso y las ventajas que conlleva una herramienta pedagógica junto a la metodología basada en retos, para materias teórico - prácticas relacionadas con motores de aviación.

Preguntas	Calificación	Observación (Opcional)
<b>Las siguientes preguntas se responden mediante un sistema numérico del 0 a 5, donde 0 es la nota más baja dando referencia a "Muy mala" y 5 es la nota más alta dando referencia a "Excelente".</b>		
Como estudiante, ¿Cómo califica las herramientas didácticas que tiene actualmente la universidad y el uso de estas, en las clases referentes a motores de aviación?	2.2	-
Los temas básicos en las primeras materias referentes a motores de aviación tratan acerca de las partes, funcionamiento y combustión de un motor aeronáutico, cómo estudiante, ¿Cómo califica el estatorreactor de régimen subsónico como una herramienta pedagógica que brinda una ayuda practica ante temas técnicos y operacionales de los motores?	4.7	-
¿Cómo califica el protocolo de uso del estatorreactor a gas de régimen subsónico aplicado en clase, como herramienta práctica de la materia "Motores de aviación"?	4.8	-
El proyecto propuesto para abarcar la parte práctica de las materias referentes a motores aeronáuticos, es un Producto Mínimo Viable (PMV) usado como herramienta pedagógica en conjunto con una metodología de aprendizaje basada en retos que aumente las capacidades técnicas de los alumnos. ¿Cómo califica la experiencia que brinda el uso del estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica en el campo practico de la materia "Motores de aviación" y de las materias referentes a motores de aviación?	4.8	-

Preguntas	Calificación	Nota (Opcional)
<p>Las siguientes preguntas se responden mediante un sistema numérico del 0 a 5, donde 0 es la nota más baja dando referencia a “No genera un aumento considerable en mi satisfacción” y 5 es la nota más alta dando referencia a “Genera un gran aumento en mi satisfacción como estudiante y me amplía la visión con respecto al futuro de la universidad”</p>		
<p>Las herramientas pedagógicas junto con las nuevas metodologías de aprendizaje son un punto factible en tanto a la mejora continua y la calidad educativa de una universidad. Cómo estudiante, ¿Cree que al utilizar nuevas metodologías de aprendizaje en materias teórico – prácticas, junto con herramientas pedagógicas como el estatorreactor, mejore sus expectativas frente a futuras materias teórico – prácticas?</p>	4.7	-
<p>El uso de herramientas pedagógicas en materias teórico – prácticas junto con la metodología de aprendizaje basado en retos, le brinda al estudiante un amplio conocimiento en temas técnicos y puede vincular estos conocimientos en futuras ideas que solucionen un problema específico, de manera innovadora y eficiente. Cómo estudiante, ¿Cree que estas metodologías y herramientas pedagógicas, incrementen su satisfacción y se ajustan a las expectativas que tenía al ingresar a la universidad?</p>	4.8	-
<p>Las siguientes preguntas se responden mediante un sistema numérico de 0 a 5, donde 0 es la nota más baja y 5 es la nota más alta.</p>		
<p>Califique de manera personal, el estatorreactor a gas de régimen subsónico usado en las clases de motores de aviación como herramienta pedagógica.</p>	4.9	-
<p>Califique la herramienta pedagógica usada en clase, junto a la metodología de aprendizaje basada en retos.</p>	4.7	-
<p>¿Como califica el protocolo usado en clase y la experiencia que este le brindo en el campo practico de la “Motores de aviación”?</p>	4.8	-
<p>La siguiente pregunta es abierta y tiene como finalidad resaltar la opinión general del estudiante, acerca de la contribución que genera usar un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica junto a la metodología de aprendizaje basado en retos en las clases referentes a motores de aviación.</p>		

- Este proyecto brinda un campo de prácticas y muchas posibilidades más a futuras actividades en distintas materias
- Me parece excelente el funcionamiento se entiende perfectamente la cámara de combustión
- Excelente proyecto
- Buena propuesta para el aprendizaje, lo hace más práctico, atrae la atención, además que abre la puerta para nuevos proyectos del mismo tipo con apoyo de la Escuela.
- La parte práctica siempre será un método para afianzar conocimientos en cualquier área, me parece muy importante la contribución (además de necesaria) de esta herramienta en la Escuela de Aviación.  
EXCELENTE TRABAJO
- Es una herramienta interesante dado que la escuela no cuenta con nada parecido, y aportaría a la educación practica que es en realidad aquella que más se necesita en las carreras como la ingeniería.
- Excelente herramienta pedagógica para llevar a la práctica los conocimientos teóricos adquiridos en la clase de motores.
- Permite afianzar y plasmar los conocimientos básicos adquiridos en la materia de motores de aviación vista en la ESAVE, mostrando de una manera clara como la teoría se ajusta al mundo real.
- Me parece, en mi opinión personal una buena herramienta pedagógica, para poder instruir y dar a comprender de manera más practica como sirve un estatorreactor a gas de régimen subsónico, también aplicando toda la parte de la metodología de aprendizaje
- Es una herramienta a la cual se le puede dar un uso pedagógico bastante grande para comprender más a fondo los conocimientos teóricos y conceptos que se ven en la misma materia

Marca temporal	1ra Pregunta	2da Pregunta	3ra Pregunta	4ta Pregunta	5ta Pregunta	6ta Pregunta	7ma Pregunta	8va Pregunta	9na Pregunta	10ma Pregunta
6/11/2020	1	4	5	5	5	5	5	4	5	Este proyecto brinda un campo de prácticas y muchas posibilidades más a futuras actividades en distintas materias
6/11/2020	1	5	5	5	4	4	5	5	4	Me parece excelente el funcionamiento se entiende perfectamente la cámara de combustión
6/11/2020	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Excelente proyecto
6/11/2020	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Buena propuesta para el aprendizaje, lo hace más práctico, atrae la atención, además que abre la puerta para nuevos proyectos del mismo tipo con apoyo de la Escuela.
6/11/2020	5	5	5	5	5	5	5	5	5	La parte práctica siempre será un método para afianzar conocimientos en cualquier área, me parece muy importante la contribución (además de necesaria) de esta herramienta en la Escuela de Aviación.
6/11/2020	0	4	5	5	4	5	5	4	4	Es una herramienta interesante dado que la escuela no cuenta con nada parecido, y aportaría a la educación practica que es en realidad aquella que más se necesita en las carreras como la ingeniería.
6/11/2020	0	5	5	5	5	5	5	5	5	Excelente herramienta pedagógica para llevar a la práctica los conocimientos teóricos adquiridos en la clase de motores.
6/11/2020	1	5	5	5	5	5	5	5	5	Permite afianzar y plasmar los conocimientos básicos adquiridos en la materia de motores de aviación vista en la ESAVE, mostrando de una manera clara como la teoría se ajusta al mundo real.
6/11/2020	3	5	4	4	5	5	5	5	5	Me parece, en mi opinión una buena herramienta pedagógica, para poder instruir y dar a comprender de manera más practica como sirve un estatorreactor a gas de régimen subsónico, también aplicando toda la parte de la metodología de aprendizaje
6/11/2020	1	4	4	4	4	4	4	4	5	Es una herramienta a la cual se le puede dar un uso pedagógico bastante grande para comprender más a fondo los conocimientos teóricos y conceptos que se ven en la misma materia

## Anexo 6. Evaluación pedagógica por el docente

# Evaluación Pedagógica

Escuela de Aviación del Ejército  
Programa de ingeniería aeronáutica

FECHA: 06/11/2020  
DOCENTE EVALUADOR: John Edwar González Arias  
CLASE RELACIONADA: Motores de aviación

### DESARROLLO DE UN ESTATORREACTOR A GAS DE RÉGIMEN SUBSÓNICO COMO HERRAMIENTA PEDAGÓGICA

Proyecto de investigación e innovación

Kevin Anderson Restrepo Leiva  
Hernán Darío Torres Valencia

La siguiente evaluación, se basa en la opinión del docente ante el uso y las ventajas que conlleva una herramienta pedagógica junto a la metodología basada en retos, para materias teórico - prácticas relacionadas con motores de aviación.

Preguntas	Calificación	Observación (Opcional)
<p><b>La siguiente pregunta se responde mediante un sistema numérico del 0 a 5, donde 0 hace referencia a “No se aportaría nada a las clases, con las herramientas disponibles es suficiente” y 5 hace referencia a “Genera un gran aporte a las clases en temas teóricos y prácticos, ya que no se dispone de suficientes herramientas pedagógicas”</b></p>		
<p>¿Cree usted que una herramienta pedagógica adicional a las que se encuentran disponibles en la universidad podría generar un aporte a las clases de motores, teniendo en cuenta la dimensión práctica o la visita empresarial que, según el pensum, estas requieren?</p>	5.0	-
<p><b>Las siguientes preguntas se responden mediante un sistema numérico del 0 a 5, donde 0 hace referencia a “No se aportaría nada a las clases, ya que con la teoría es suficiente” y 5 hace referencia a “Da un aporte considerable a las clases en temas teóricos y prácticos, y ayuda al alumno al aprendizaje de manera técnica”</b></p>		
<p>Según la encuesta realizada por el grupo de trabajo interno el día 24/06/2020 a los estudiantes de 5to a 8vo semestre del curso de ingeniería aeronáutica de la Escuela de Aviación del Ejército; el 43.3% de estos estudiantes vio las materias relacionadas con motores de aviación enfocadas únicamente a la teoría y un 50% más de los alumnos encuestados, tuvo al menos una salida practica o vio menos del 50% de la materia práctica. Teniendo en cuenta los datos anteriores, cómo docente, ¿cree usted que un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica daría un aporte adicional a las materias relacionadas con motores de aviación en diferentes temas y generaría un área de trabajo que cubra la carencia de prácticas de los alumnos?</p>	5.0	<p>Aprender haciendo como metodología de aprendizaje de la corriente constructivista nos corrobora que dentro de los procesos de aprendizaje es mucho más factible el “saber haciendo” que el “saber memorizando” (Wompner, 2007). De ahí la importancia de implementar estas herramientas pedagógicas que permitan el acercamiento a la práctica dentro de los procesos de aprendizaje.</p>
<p>¿Si la universidad contara con una herramienta pedagógica especializada en materias referentes a motores de aviación, como es el caso del estatorreactor, podría ayudar al alumno en el aprendizaje de una manera técnica y reforzaría los temas teóricos vistos en clase?</p>	5.0	-

Preguntas	Calificación	Observación (Opcional)
<p><b>Las siguientes preguntas se responden mediante un sistema numérico del 0 a 5, donde 0 hace referencia a “No se requiere adicionar una metodología de aprendizaje nueva, ya que la clásica es 100% efectiva” y 5 hace referencia a “Una metodología de aprendizaje basada en retos, es útil y eficiente en las materias teórico - prácticas y genera más concentración por parte del alumno ante temas técnicos y de gran importancia”</b></p>		
<p>Estudios realizados por los ingenieros de la Universidad de Zaragoza (España) en el año 2017, demuestran como la metodología de aprendizaje basado en retos, fomenta al estudiante a encontrar soluciones eficientes y practicas ante problemas específico; adicional a esto, los estudios resaltan la importancia que tienen los conceptos técnicos en la implementación de soluciones ante los problemas específicos. Teniendo en cuenta los aspectos que genera la metodología basada en retos, ¿Usted cree pertinente cambiar o adicionar nuevas metodologías y herramientas pedagógicas como las propuestas con el estatorreactor a gas en materias teórico – prácticas del pensum académico?</p>	<p>5.0</p>	<p>-</p>
<p>La Universidad del Rosario (Colombia) junto a la empresa NAOS en 2020, realizo un análisis de como los estudiantes, profesores y clientes internos de la empresa, relacionan soluciones ante problemas específicos en diferentes sectores, teniendo como referente la estrategia pedagógica de Aprendizaje Basado en Retos (ABR); este estudio demostró que los estudiantes generan ideas innovadoras y soluciones eficientes ante los problemas, y los profesores obtienen más caracteres para realizar una calificación optima ante lo aprendido en clase y sobre el cómo su estudiante genera soluciones a los problemas. Cómo docente, ¿Cree usted que aplicar una metodología de aprendizaje basada en retos junto con herramientas pedagógicas como el estatorreactor, sería útil en materias teórico – prácticas del área de motores de la ingeniería aeronáutica?</p>	<p>5.0</p>	<p>-</p>
<p><b>La siguiente pregunta es abierta y tiene como finalidad resaltar la opinión del docente, acerca de la contribución que genera usar un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica junto a la metodología de aprendizaje basado en retos en las clases referentes a motores de aviación.</b></p>		
<p>Los procesos de aprendizaje son complejos de alguna manera, ya que dentro de la diversidad del ser humano se contempla de igual forma las diferencias en la adquisición de aprendizaje. El poder usar un estatorreactor a gas de régimen subsónico como herramienta pedagógica en la que se suplan esas necesidades de prácticas en las materias relacionadas, puede generar no sólo una mejor adquisición del conocimiento, sino también permitir esa praxis que puede diferenciar a un profesional integral.</p>		