

Diseño y fabricación de un prototipo de Unidad de Poder Auxiliar (APU) a escala con la capacidad de generar energía eléctrica por medio de un generador de corriente continua.



Mateo Nicolás Díaz Barragán,

Andrés Felipe Alba Fuentes.

Centro de Educación Militar

Programa de Ingeniería Aeronáutica

Cohorte 1

09-noviembre-2020

Diseño y fabricación de un prototipo de Unidad de Poder Auxiliar (APU) a escala con la capacidad de generar energía eléctrica por medio de un generador de corriente continua.

Presentado por:

Andrés Felipe Alba Fuentes.

Mateo Nicolás Díaz Barragán.

Anteproyecto



Dirigido por

Daniel Santiago Gutierrez

Docente

Fuerzas Militares de Colombia

Ejército Nacional de Colombia

Escuela de Aviación del Ejército Nacional

Programa de Ingeniería Aeronáutica

Cohorte 1

DEDICATORIA

Dedicamos éste proyecto en primero lugar a Dios por todas las bendiciones recibidas a lo largo de la realización del proyecto, a nuestros padres porque sin su apoyo no se hubiese podido llevar a cabo todo lo realizado, a todos los docentes y tutor que estuvieron y participaron en la realización del trabajo, a todos nuestros compañeros con los que compartimos opiniones e ideales para llegar a dónde estamos y por último a la institución por creer en nosotros, nuestras ideas y permitirnos llevar a cabo un proyecto de ésta magnitud.

AGRADECIMIENTOS

En éste corto espacio queremos agradecer a Dios por permitirnos esta oportunidad y después de tantos pasos y camino recorrido estar a punto de llegar al primero destino, por permitirnos ingresar a un mundo que pocos pueden ingresar pero muchos aprecian como lo es el mundo de la aviación, gracias a nuestros padres por permitirnos cumplir con excelencia el desarrollo de esta tesis, gracias a nuestros amigos por compartir ideas y apoyarnos a lo largo de la carrera a nuestras pareja por darnos fuerza en los momentos más duros y a la vida por mostrarnos que vale la pena.

No ha sido sencillo el recorrido hasta ahora, pero gracias a cada granito de arena y aporte en nuestras vidas, lo complicado de lograr cumplir esta meta se ha notado menos, por último, le agradecemos a la Escuela de Aviación del Ejército por creer en nosotros y permitirnos la primera oportunidad de la historia de éste pregrado en la institución de haber sido parte de este bonito curso, hacemos presente nuestro gran afecto hacia ustedes.

RESÚMEN

Por medio de la metodología I+P+D3 de diseño de un producto se realiza el proyecto de la creación de un prototipo de Unidad de poder auxiliar (APU), teniendo como punto de partida la falta de prácticas universitarias de algunas materias en la Escuela de Aviación del Ejército, el objetivo principal es proveer un sistema con fines de instrucción y práctica que aborden temas correlaciones con materias aplicadas a lo largo del pregrado de ingeniería aeronáutica, dicho prototipo a escala tendrá las facultades de operación dependientes para evidenciar el funcionamiento del sistema anteriormente mencionado, cuyo principio final será la generación de prácticas provechosas para los estudiantes y no participar en un aprendizaje netamente teórico dentro de la institución.

ABSTRACT

Through the I + P + D3 methodology for designing a product, the project of creating a prototype of Auxiliary Power Unit (APU) is carried out, taking as a starting point the lack of university practices in some subjects at the School of Army Aviation, the main objective is to provide a system for instructional and practical purposes that address correlations with applied subjects throughout the undergraduate degree in aeronautical engineering, said scale prototype will have the dependent operating faculties to demonstrate the operation of the system aforementioned, whose final principle will be the generation of profitable practices for students and not participate in a purely theoretical learning within the institution.

Palabras claves

1. Apu.
2. Prototipo.
3. Prácticas de universidad.
4. Diseño.
5. Aprendizaje.

CONTENIDO

Capítulo 1 Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.1.1 Árbol de problemas.....	2
1.1.2 Análisis de alternativas	5
1.2 Pregunta de investigación.....	7
JUSTIFICACIÓN	8
1.3 Objetivos de la investigación.....	9
1.3.1 Objetivo general.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.	9
1.4 Delimitación	10
Capítulo 2. Estado del arte.....	11
2.1 Metodología de aprendizaje:	11
2.2 Historia y antecedentes de sistemas APU:	13
2.3 Antecedentes turbinas de gas a escala:.....	15
2.3.1 Turbina a escala universidad San Buenaventura:	15
2.3.2 Turbina a escala universidad Libertadores:.....	16
2.4 Empresas:	16
Capítulo 3. Marco teórico.....	17
3.1 APU:.....	17
3.1.1 PW980:.....	18
3.1.2 APS5000:	18
3.1.3 APS3200:	19
3.1.4 PW901C:	19
3.1.5 APS300:	19
3.1.6 Partes de la APU	20
3.2 Compresores:	21
3.3 Combustibles para generar calor o electricidad:.....	25
Clasificación general de los combustibles:	26
1. En función de su estado de agregación	26
3.4 Flujo másico y flujo volumétrico:.....	26

3.5	La ley de los gases:	27
3.6	Generadores:	28
3.7	Alternadores:	28
3.8	Los dinamos:.....	30
3.9	Perdidas y eficiencias la las maquinas eléctricas rotativas:	30
Capítulo 4 Metodología de la investigación		32
Capítulo 5. Resultados.....		37
5.1	Línea de tiempo	37
5.2	Presupuesto.....	39
5.3	Materiales	40
5.4	Construcción y evidencia.	44
5.4.1	Modelado.....	44
5.4.2	Proceso paso a paso	49
5.4.3	Evidencia fotográfica.	56
Capítulo 6. Conclusiones.....		72
Capítulo 7. Recomendaciones.		73
Bibliografía.....		74

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Diagrama de flujo del planteamiento del problema.	2
Figura 2 Cono del aprendizaje de Edgar dale.	4
Figura 3 Análisis de alternativas.....	7
Figura 4 Componentes de un sistema de APU.	20
Figura 5 Sistema interno de un APU.....	21
Figura 6 Ciclo Brayton.....	22
Figura 7 Diagrama T-S Ciclo Brayton.....	23
Figura 8 Diagrama P-V Ciclo Brayton.....	23
Figura 9 Posición de los álabes.....	24
Figura 10 Vista Isométrica álabes.....	25
Figura 11 Ley de los gases.	28
Figura 12 Modelado de alternador.....	29
Figura 13 Animación de un dinamo.....	30
Figura 14 Turbocompresor modelo 3D.....	45
Figura 15 Placa conexión turbo-tobera Modelo 3D.....	45
Figura 16 Flauta interna C.C Modelo 3D.....	46
Figura 17 Cuerpo externo C.C Modelo 3D.....	46
Figura 18 Ensamble Cámara de combustión Modelo 3D.....	47
Figura 19 Alternado Modelo 3D.....	47
Figura 20 Polea pequeña Modelo 3D.....	48
Figura 21 Banco del prototipo Modelo 3D.....	48
Figura 22 Panel de instrumentos.....	49
Figura 23 Ensamble prototipo final.	49
Figura 24 Partes de construcción.....	56
Figura 25 Construcción de tobera.....	56
Figura 26 Construcción Cámara de combustión interna.....	57
Figura 27 Ensamble C.C - tobera.....	57
Figura 28 Construcción banco.....	58
Figura 29 Adaptación ruedas a banco.....	59
Figura 30 Soldado tobera-conector turbo.....	59
Figura 31 Ensamble turbocompresor y C.C.....	60
Figura 32 Sistema de inyección y chispa.....	61
Figura 33 Adaptación eje a compresor.....	62
Figura 34 Ensamble sistema de piñon.....	62
Figura 35 Sistema de transmisión, piño-cadena.....	63
Figura 36 Sistema de transmisión de ignición.....	63
Figura 37 Proceso de imprimación.....	64
Figura 38 Proceso instalación panel de instrumentos.....	64
Figura 39 Panel de instrumentos terminado.....	65
Figura 40 Colores sección fría.....	65
Figura 41 Prototipo final.....	66

Capítulo 1 Introducción

El presente proyecto de investigación se refiere al tema de las prácticas universitarias en la Escuela de aviación del Ejército lo que se puede definir como una parte fundamental del aprendizaje durante el tiempo que se cursa el pregrado de ingeniería aeronáutica, dicho complemento acompaña el aprendizaje teórico y es necesario tenerlo en cuenta para la óptima preparación de los futuros profesionales.

La característica principal para llevar a cabo el presente al proyecto que tiene como fin instruir, operar y complementar lo aprendido teóricamente es la falta de prácticas en materias que se ven a partir de tercer semestre en el pregrado anteriormente mencionado hasta materias de octavo semestre, de igual forma se busca tener un método de aprendizaje práctica que no implique traslados y aumente la calidad académica de la misma institución.

Para analizar la problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es la falta creación u obtención de prototipos, sistemas, bancos de pruebas, laboratorios, entre otros materiales o artículos que faciliten la realización de prácticas dentro de la institución, se entiende de igual forma como prácticas universitarias la acción de desempeñar el conocimiento adquirido a lo largo de las diferentes materias aplicadas en cierto tipo de actividades que estén relacionadas con el campo de aplicación y enfocadas en las necesidades de un ambiente laboral.

Las oportunidades que se pierden de hacer una práctica efectiva por distintos factores como el traslado o simplemente la disponibilidad dejan algunos estudiantes con lagunas de conocimiento el cual puede ser suplido por medio de un prototipo el cuál sea realizado a fines de la carrera y sea ser utilizado para la adquisición de conocimientos y comprobación de teorías.

1.1 Descripción del problema.

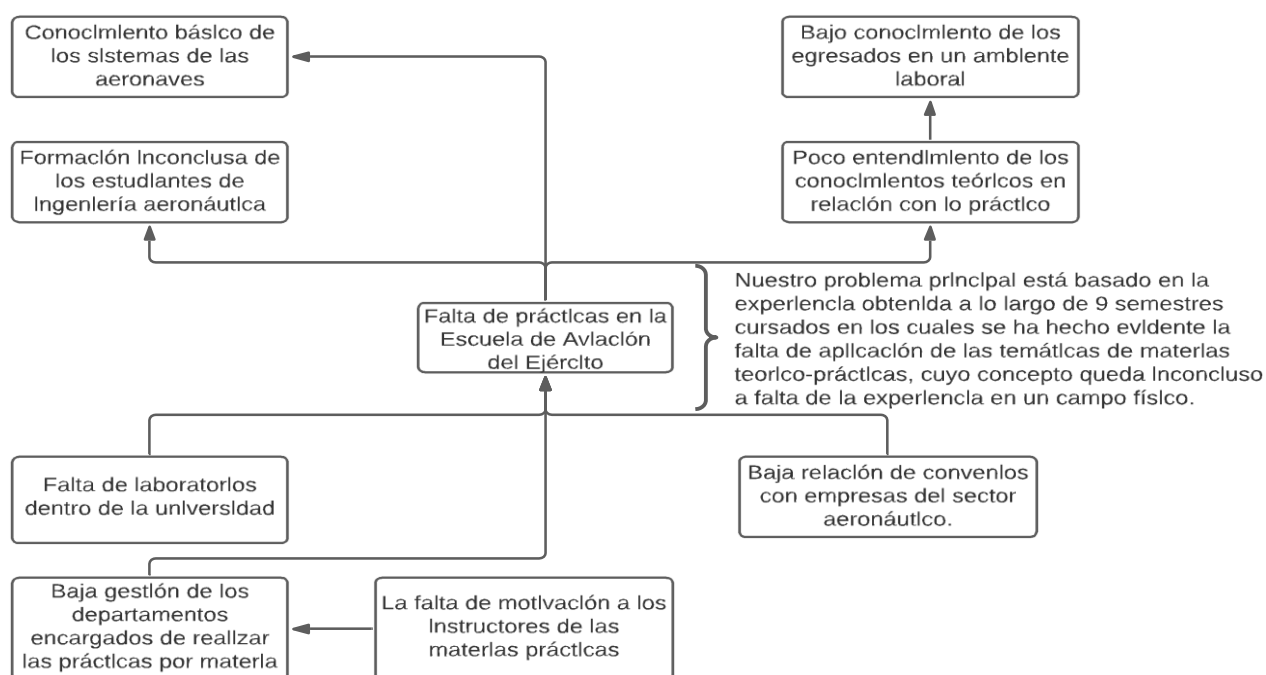
Tal cuál como el aprendizaje en cada etapa de vida, hasta un 50% es obtenido en base de una teoría y demás, pero es posible obtener un 90% de aprendizaje por medio de la práctica y así finalmente tener un aprendizaje amplio, definido y acertado. (Dale, 2015)

1.1.1 Árbol de problemas

En el siguiente árbol de problemas se explica de manera gráfica en un mapa mental los inconvenientes y posibles fallas a los que se ve sometida la Escuela de Aviación del Ejército a causa de la necesidad o problema que se ha evidenciado:

Figura 1

Diagrama de flujo del planteamiento del problema.



Central: En el cuadro central se puede admirar el problema o necesidad principal que se ha querido atacar, es necesario tener en cuenta ésta problemática para proceder con el análisis de todo el cuadro en general.

Parte superior: La presente sección del gráfico se desglosan distintos tipos de variables, en éste caso negativas, de lo que son el reflejo tanto a corto como a largo plazo de nuestra sección principal, es necesario crear éste tipo de contexto y tipo de análisis con el fin de evidenciar la magnitud o límites del problema principal.

Parte inferior: En esta sección se encontrarán las posibles causantes o más evidentes que llevan a que se produzca o genere el problema principal, es necesario fijarnos que entre las posibles causantes se puede identificar una o más que ayuden a mitigar o terminar con el problema principal o hacerlo gradualmente desde la más sencilla reduciendo el problema poco a poco dependiendo del caso.

En la Escuela de Aviación del Ejército, una institución de educación superior en dónde se dicta Ingeniería aeronáutica existen varios inconvenientes o fallas tales como:

- Enseñanza de materias prácticas (Motores de Aviación, mantenimiento y reparación de motores, entre otras) son dictadas solo de manera teórica, dejando la parte práctica a un video o material audiovisual lo cual no es nada práctico.
- No hay bancos o equipos para llevar a cabo laboratorios y experimentación necesaria para trabajos de investigación de las materias ya mencionadas, al alcance dentro de la institución.
- El NO apoyo para la innovación, creación y desarrollo en pro de un buen aprendizaje.

- Familiarización limitada con los sistemas de una aeronave.

Entre las principales y más destacadas se encuentra la falta de entendimiento práctico frente a unas etapas, o algunos temas llevados a cabo a lo largo del pregrado, esto debido a que no se cuenta con un sistema pedagógico enfocado a los sistemas principales de las aeronaves. No obstante el proyecto es planteado con el fin de hacer frente, a la inexistencia de un saber práctico de la operación y función de un sistema principal de una aeronave en éste caso una APU (Auxiliar Power Unit). (Gil)

Figura 2

Cono del aprendizaje de Edgar Dale.



Nota: Ivars, A (2009). Cono del aprendizaje de Edgar Dale. [figura]. recuperado de <https://es.slideshare.net/aidaivars/cono-del-aprendizaje-de-edgar-dale>.

Además, con la construcción de un sistema donde existen otros factores a los cuales se pueden dar solución tales como la falta de energía en unos lugares del país en dónde el acceso a

un producto básico como la electricidad no es posible, la energía podrá ser trasladada fácilmente con un sistema que sólo necesita una fuente de combustible para garantizar energía y proveer otros productos cuando el sistema esté terminado en su totalidad.

1.1.2 Análisis de alternativas

El análisis de alternativas es un método utilizado para convertir las soluciones de un problema de un contexto cualitativo a un contexto cuantitativo, dicho método contempla varias soluciones o proyectos los cuáles posteriormente son sometidos a evaluación con unos parámetros establecidos dependientes de las necesidades que se quieran satisfacer y finalmente obtener el mejor postulado por puntaje en éste caso en una escala de 1 a 5 siendo 1 muy poco viable y 5 muy viable, de ésta manera se define cuál es la mejor alternativa o solución para empezar con su debido desarrollo.

Lo que podemos ver a continuación es el análisis de alternativas de varios proyectos propuestos que hemos tenido en cuenta los autores de la misma investigación para realizar y satisfacer la necesidad anteriormente propuesta, dichos proyectos fueron escogidos por capacidades de la universidad y capacidades propias tanto a nivel económica como funcional, posteriormente se procede a evaluar 4 proyectos bajos los parámetros de:

- Gasto adquisitivo: Lo cual hace referencia al alcance económico de cada uno de los proyectos, siendo 1 muy poco viable (costoso) y 5 muy viable (bajo costo)
- Funcionalidad: Hace referencias a las capacidades del proyecto, es decir a las características que tiene el proyecto dentro del pregrado de ingeniería aeronáutica siendo 1 muy poco viable (Pocas características aplicadas dentro del enfoque) y 5 muy viables (Evidentes características aplicadas dentro del enfoque).

- Aplicación académica: Éste es un parámetro que examina el proyecto ya estando dentro del enfoque del pregrado y analiza la cantidad de materias a las cuáles el proyecto es aplicable siendo 1 muy poco viable (Pocas materias para aplicar) 5 muy viable (Cantidad óptima de materias a lo que es aplicable).
- Participación estudiantil en la operación del sistema: Éste parámetro está relacionado directamente con el usuario y el proyecto haciendo referencia a cuánta manipulación puede tener el estudiante con el proyecto siendo 1 muy poco viable (Poca relación entre el estudiante y el proyecto), 5 muy viable (Alta relación entre el estudiante y el proyecto).
- Calidad universitaria: Esto es un parámetro enfocado más que todo en el reconocimiento de la universidad gracias al proyecto y el aporte académico en relación con el desarrollo del mismo proyecto siendo 1 muy poco viable (Baja calidad universitaria), 5 muy viable (Alta calidad universitaria).

Figura 3*Análisis de alternativas*

Análisis de alternativas									
Obtención o creación de un sistemas para profundizar en las prácticas dentro de la universidad.									
Criterios	Importancia	Proyecto A		Proyecto B		Proyecto C		Proyecto D	
		calificación	puntaje	calificación	puntaje	calificación	puntaje	calificación	puntaje
Gasto adquisitivo	25%	4	1	4	1	4	1	1	0,25
Funcionalidad	25%	3	0,75	3	0,75	4,5	1,125	5	1,25
Aplicación académica	20%	4,1	0,82	3	0,6	4,7	0,94	5	1
Participación estudiantil en la operación del sistema.	20%	3,8	0,76	4	0,8	4	0,8	5	1
Calidad universitaria	10%	3,9	0,39	2,5	0,25	4,1	0,41	5	0,5
Total	100%		3,72		3,4		4,275		4

Proyecto A	Realizar un turborreactor básico
Proyecto B	Creación de motores convencionales a pistón.
Proyecto C	Desarrollo de un sistema Apu para dar instrucción dentro de la escuela de aviación del ejército.
Proyecto D	Adquisición de simuladores de sistemas y bancos de prueba aeronáuticos.

Fuente: desarrollada por los autores

1.2 Pregunta de investigación.

¿Es posible desarrollar un prototipo didáctico para apoyar a las clases en materias como: Motores de aviación, Combustibles, Mantenimiento y reparación de motores, Ciencias de materiales, ¿de la Escuela de Aviación del Ejército para el área de ingeniería aeronáutica destinado al aprendizaje?

JUSTIFICACIÓN

- Llevando a cabo este diseño se estará en la capacidad de crear el primer sistema con fines prácticos y de aprendizaje para la Escuela de Aviación del Ejército.
- Es un sistema el cual, por medio de actualizaciones, puede ser reencaminado para distintos fines tales como la obtención de energía para hogares colombianos.
- La elaboración de un sistema APU proveerá la herramienta necesaria en materias como motores de aviación, electrónica, entre otras, para la enseñanza y aclarar los conceptos vistos en la clase teórica. (Herranz)
- Con la creación de un sistema desde su inicio el concepto de ingeniería será aplicado utilizando los conocimientos previos para la innovación de los sistemas de enseñanza.
- Impulsar la industria aeronáutica a la creación con el diseño de un sistema funcional con elementos que están al alcance a nivel nacional.
- Con este proyecto buscamos que los estudiantes de ingenierías no sean escépticos antes las posibilidades de realizar un proyecto eficaz sin un presupuesto demasiado alto.
- Fortalecer los conceptos Adquiridos durante y a lo largo del programa de ingeniería aeronáutica para asimilar el conocimiento de distintas perspectivas en materias como: Motores de aviación, Termodinámica, mecánica de fluidos, ciencias de los materiales, electrónica, para la realización de un producto que aproveche la energía mecánica.

- La ingeniería aeronáutica en esta institución tiene un énfasis en mantenimiento, el cual énfasis no se ha podido desarrollar completamente debido a los protocolos de seguridad del ejército, esta misión de la ingeniería podrá llevarse a cabo puesto que el sistema a desarrollar, puede ser manipulado tanto por profesores, como por estudiantes.
- Con la realización de este proyecto los instructores a cargo de materias teórico-prácticas, tales como; motores de aviación, termodinámica, entre otras, estarán en las capacidades de transmitir el conocimiento por medio práctico, debido a que permite al estudiante aprende haciendo. Es una propuesta para realizar las clases más prácticas, donde el estudiante podrá aplicar los conocimientos adquiridos en clase.

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general.

Diseñar y construir un sistema Auxiliary Power Unit (APU) a escala para la Escuela de Aviación del Ejército para determinación de parámetros de eficiencia con capacidad de suministrar energía eléctrica.

1.3.2 Objetivos específicos.

1. Evaluar modelos de APU según requerimientos de diseño establecidos para generar energía eléctrica y requerimientos de la universidad para llevar a cabo prácticas y proyectos.

2. Establecer un documento de especificaciones técnicas y funcionales para el desarrollo del modelo en 3D.
3. Construir el prototipo del sistema APU con la capacidad de suministrar energía eléctrica según lo establecido en los requerimientos de diseño conceptual y detallado.
4. Desarrollar pruebas piloto del prototipo para la determinación de modificaciones y mejoras en su operación.

1.4 Delimitación

El proyecto está enfocado en un entorno estudiantil cuyo fin es el aprendizaje e instrucción de materias prácticas del pregrado (Física calor y ondas, Electricidad y magnetismo, Combustibles y lubricantes, Mecánica de fluidos, Electrónica, Termodinámica, Aerodinámica, Introducción a los mecanismos, Motores de aviación, Sistemas de las aeronaves, Mantenimiento y reparación de motores) de ingeniería aeronáutica en la Escuela de Aviación del Ejército, el proyecto consiste en producir energía eléctrica a partir de la expansión de los gases y transmisión de potencia, con el fin conocer el funcionamiento de un sistema APU real y sus aplicaciones.

Para la elaboración del prototipo se utilizarán materiales asequibles a un nivel económico y situacional (los lugares en dónde se pueden adquirir los materiales), dicho proyecto no será sometido a un certificado más que las aprobaciones dadas por los evaluadores, algunos miembros de la institución y espectadores del mismo, esto debido a que es un proyecto estudiantil que puede ser sometido a mejoras continuas y a la fecha no será considerado un producto para la venta masiva.

Capítulo 2. Estado del arte.

2.1 Metodología de aprendizaje:

Los estudiantes aprenden de una forma monótona como, por ejemplo; toman nota y lo aprenden, pero por lo general no lo comprenden, algunos lo hacen solo para aprobar.

Numerosos estudios confirman que se aprende más en la práctica que en un aula de clase y al mismo tiempo le da más sentido a la carrera. La (FPIE) facultad de pedagogía e innovación educativa de la universidad Autónoma de Baja California, dice que la práctica es el factor más importante en una carrera universitaria ya que los estudiantes tendrán que desenvolverse y desarrollarse en un ámbito principalmente práctico y tendrán que relacionarse en un ambiente que constantemente estará evaluando su quehacer, además de contribuir en la formación integral del alumno, que permiten desarrollar habilidades y aptitudes mostrando todo lo que se sabe y aprendiendo un poco sobre su sector asimismo, para la solución de problemas, obviamente teniendo vinculado la teoría con la práctica para contar con las herramientas necesarias para resolver las problemáticas de la vida real.

Desde las primeras etapas de la formación profesional en el campo de la ingeniería, se debería permitir practicar de lo aprendido con el fin de tener la capacidad de una activa construcción de ideas que conllevará al aumento de las oportunidades para desarrollar e inventar nuevas tecnologías para el beneficio del pueblo.

En las últimas décadas se han venido adelantando investigaciones sobre las prácticas, que de hecho son de gran importancia según (Hodson et al, 1994) generando un amplio consenso en torno a la orientación del trabajo experimental como una actividad investigativa que juega un papel fundamental con la familiarización con la metodología científica.

Es por ello por lo que el estudio se hizo una percepción de la importancia de las clases teórico-prácticas, laboratorios, prácticas profesionales para el fortalecimiento y el acercamiento los estudiantes a la realidad de su vida profesional. Sin duda, el trabajo practico constituyen un hecho diferencial propio de la enseñanza de la ciencia, la tecnología y en general con la carrera profesional.

Hace casi trescientos años que John Locke propuso la necesidad de que los estudiantes realizaran trabajo práctico en su educación, y a finales del siglo XIX ya formaba parte integral del currículo de ciencias en Inglaterra y Estados Unidos (Gee et al, 1992); (Layton, 1990); (Lock, 1988). . Desde entonces, se ha mantenido una fe inamovible en la tradición que asume la gran importancia del trabajo práctico para la enseñanza de las ciencias. (Barberá y Valdes 1996)

Por todo lo anteriormente mencionado se debería crear convenios en el cual los estudiantes de Ingeniería aeronáutica puedan realizar una práctica real a partir del cual corroboran lo aprendido previamente en clase. Es de gran importancia ya que se van a familiarizar con las aeronaves, asimismo se va a corroborar de manera directa la carrera como lo es la termodinámica, estructuras, sistemas de propulsión y dinámica de vuelo, donde cada docente asignado diseñe una misión a cada estudiante como estar en plataforma, ordenes de Ingeniería, diseño, construcción, mantenimiento, entre otros. Sería de gran importancia en la formación como ingeniero dado que va a permitir contrastar y afianzar los conocimientos adquiridos.

Por esto las universidades deberían darle mayor relevancia a la parte práctica, creando cursos netamente prácticos, con fin de fomentar actitudes como la creatividad y la disciplina, pues bien lo menciona un biomédico en un artículo de su autoría (Wasserman, 2001) “No me refiero solamente al profesional dedicado a los nuevos desarrollos, sino también al más modesto

y menos ambicioso de ellos, pero con una ética que lo impele a hacer las cosas lo mejor posible. Ese tipo de profesional debe ser formado en un medio que valora más la generación de conocimiento y su adquisición por esfuerzo propio, que en un aula repetitiva y memorizante” (p.19) el cual nos habla sobre la importancia de investigar en Colombia, señalándonos algunas personas importantes para el crecimiento de la tecnología en investigación, concluyendo así la importancia de la práctica, conocimiento en conjunto para desarrollar habilidades frente a su trabajo.

Tener la oportunidad de interactuar en una oficina de Ingeniería, una fábrica, un hangar o laboratorios para probar o inspeccionar las aeronaves. (Germás Urrea, 2013)

2.2 Historia y antecedentes de sistemas APU:

El primer sistema de APU reconocido se fabricó 1916 en una aeronave tipo caza denominado como “Noel Pemberton Billing P.B.31 Nighthawk” construido con el fin de atacar zeppelines en la primera guerra mundial, a dicha aeronave se le adaptó un pequeño motor de 1.75 Hp impulsado a gasolina, construido por la compañía ABC con el fin de proporcionar energía a unos reflectores instalados en la nariz de la aeronave principalmente para ver en la noche a los zeppelines enemigos y de esta manera poderlos atacar, ya dicho esto la compañía Supermarine, fabricante de dicho avión le da vida a la primera aeronave de ala fija en llevar consigo un sistema de APU. Cerca de 15 y 20 años después, para inicios de la segunda guerra mundial, Boeing tomó la iniciativa de implementar sistemas de APU en algunas de sus aeronaves entre ellas B-29, estos sistemas estaban compuestos por motores de cuatro tiempos y dos tiempos, que conectados a un generador podían proveer energía, entonces ya se implementaba el sistema de APU como ayuda para encender los motores en tierra desde allí se le ha dado dicha utilidad a dichos sistemas.

(FLAPS 5, 2018)

Aunque también hubieron pruebas, y modelos distintos, tanto por la ubicación en dónde eran puestos como los componentes de fabricación y la forma de actuar, todos estos se implementaban en las aeronaves con el mismo fin, el cuál básicamente consistía en proveer energía eléctrica, entre éstos modelos de APU construidos durante la segunda guerra mundial, con la llegada de los primeros motores a reacción de fabricación alemana destacó un sistema el cuál consistía de un sistema mecánico el cual estaba oculto en el desviador de admisión asemejándose así a las APU de la actualidad, éste mismo sistema contaba con un motor de 10 Hp de potencia, de dos tiempos, diseñado por el Ingeniero Mecánico Nobert Riedel y fue implementado principalmente en el motor Jumo 004 y BMW 009 dándole así un puesto primordial al sistema de APU tanto al inicio del vuelo como durante el mismo en estos tiempos. (Great Bustard's Flight, 2018)

Para el año 1963 Boeing implemento en el 727 el primer sistema de APU para una turbina propulsada a gas, de referencia “Garret GTC85”, esto al ser una aeronave comercial y de pasajeros le permitía llegar a aeropuertos pequeños en dónde no había un sistema GPU el cuál era usado para poder encender los motores de las aeronaves y proveer la energía en tierra, con el sistema de APU con ayuda de un acumulador de energía encendía la APU la cuál proveía la rotación y combustión necesaria para que los motores alcancen la velocidad necesaria para que enciendan. Después de éste avance, la industria de la aviación y los soportes de emergencia que debe tener una aeronave comenzaron a sofisticarse y además de ellos certificarse para que éstas mismas fueran Aero navegables, de tal manera que el APU se volvió un sistema vital, así que no podía faltar puesto a que el sistema era el soporte de emergencia para prender los motores en vuelo si alguno de ellos se apagaban, para ellos los nuevos sistemas que salieron al mercado

debían tener un techo de operación mayor a los 40000 ft con el fin de suplir la necesidad en vuelo sin fallo alguno. (Boeing, s.f.)

Entre los sistemas de APU más recientes se encuentran los fabricados por las compañías Hamilton hundstran y Honeywell, que se encargan de proveer de éste sistemas a los Boeing 787, Embraer E-jet entre otras aeronaves, además de éstas dos empresas existen varias, incluyendo a Boeing el cuál diseñó una de las APU más confiables las cuales son usadas en algunos equipos de Boeing e inclusive algunos de la serie Airbus A-320. (Limited, 2020)(Morales, 2019)

2.3 Antecedentes turbinas de gas a escala:

A lo largo del siglo XXI se han construido turbinas a escala caseras con varios fines, bien sea como proyectos, como investigación y a manera de experimentación, se han obtenido varios registros en documentos y en video de turbinas a escala ensambladas en Rusia, Estados Unidos y otros países, pero debido a que son sólo un producto casero no hay un registro de las diferentes turbinas a escala que se han construido a nivel mundial pero en Colombia si hay registro de varios prototipos construidos por estudiantes de varias universidades particular de la facultad de ingeniería aeronáutica que han construido una turbinas a escala, éstas consisten en modelo a escala con la capacidad de generar impulso. (José Villalobos)

2.3.1 Turbina a escala universidad San Buenaventura:

Esta turbina a escala fue diseñada en el año 2010 por 4 estudiantes de la facultad de Ingeniería Aeronáutica, la cual utilizaba un sistema de turbo cargador para conectado a una tubería adaptada de tal manera que se comporte como un ciclo regenerativo, aunque se tiene un documento concreto de los pasos del diseño y un adelanto de la fabricación no se logra corroborar la conclusión del proyecto.(Cesar Mondradón, 2010)

2.3.2 Turbina a escala universidad Libertadores:

Este fue un motor a reacción desarrollado en el proyecto del semillero de investigación en el año 2014, el cual se basa en un turbocompresor adaptado de tal manera que genere empuje, con una tobera convergente al final, del presente proyecto se tiene evidencia de funcionamiento, pero no documentada. (Oferman Gonzales)

2.4 Empresas:

Existen empresas como Capstone Turbine corporation, Calnetix Technologies, Bowman Power Systems, y muchas más, que se dedican al proceso, desarrollo e innovación de sistemas de generación de energía, uno de estos sistemas es enfocado es las micro turbinas las cuáles sufren un proceso de adaptación de las turbinas convencionales, utilizando partes como compresor, turbina, cámara de combustión y un generador eléctrico, le apuestas a por medio de la combustión transformar la energía obtenida y por medio de un eje conectarlo con un generador para proveer energía suficiente para un uso doméstico, con el fin de reducir gastos energéticos y obtener eficiencias altas a cambio de bajas emisiones, la idea nace a partir de la combinación de sistemas como turbinas a reacción, turbocompresores, asemejándose así al proceso que hace una APU, pero en tierra. (Barney L, 2016) (balears, 2006)

Capítulo 3. Marco teórico.

3.1 APU:

(Siglas de la denominación inglesa Auxiliary Power Unit) Es un mecanismo que permite que una aeronave opere de manera autónoma sin depender de apoyos de equipo en la tierra, existen diferentes tipos de APUS que se montan en aviones o grandes vehículos como trenes o grandes camiones.

Los primeros sistemas APU a gasolina, se montan en un Noel Pemberton Billing P.B. 31 Nighthawk de 1916, en ocasiones se encuentra ubicada en la góndola del motor o en el hueco de la rueda, pero normalmente se sitúan en la cola de los reactores modernos, tanto civiles como militares.

Consiste en un generador eléctrico que se suele emplear para proporcionar electricidad, presión hidráulica, aire acondicionado, presión neumática cuando están en tierra y se apagan los motores, así la cabina estará lista para recibir a los pasajeros durante el embarque

Se puede iniciar solo utilizando las baterías de la aeronave, aunque a veces se puede arrancar con un carrillo de potencia exterior, una vez esté en funcionamiento proporcionara energía eléctrica y neumática a los principales sistemas de la aeronave, también se usa como una fuente de aire de purga, para el arranque del motor. Se usa también en vuelo en caso de emergencia para suplir corriente, potencia hidráulica o neumática.

EL Boeing 727, fue el primer avión equipado con un APU, permitiéndole operar en pequeños aeropuertos gracias a este se permitió una mayor eficiencia en la tierra como en el aire. Se inicia en tierra para energizar el avión con los motores apagados y en la actualidad las APU es encendida por un motor eléctrico de arranque el cual es alimentado por un cúmulo de baterías la

cual suministran energía eléctrica al arranque y por tanto dan inicio a la rotación de las turbinas y compresor generando la suficiente energía para que esta continúe con la rotación por medio de un proceso de combustión y expansión de gases. En tierra la APU es utilizada para dar arranque a los motores principales, este es principal mente utilizado cuando no se dispone de un GPU (GROUND POWER UNIT) el aeropuerto, pero también cumple funciones como suministrar aire desangrado para la calefacción de cabina, suministrar energía eléctrica por medio de unos generadores y en algunas veces producir potencia hidráulica que después van a ser utilizadas en sistemas de control. (Morales, 2019)(SKYbrary, 2017)

En la aviación actual se encuentran varios tipos de sistemas dependiendo la necesidad de las aeronaves, por lo tanto, se pueden apreciar diversas configuraciones para APU teniendo en cuenta los requerimientos necesarios para cada una de ellas, cada una de estas configuraciones está dada por la casa fabricante manejando unos parámetros estandarizados los cuales cumplen la función de brindar un correcto funcionamiento de la máquina. En estas encontramos las siguientes:

3.1.1 **PW980:**

Esta APU es la más grande del mercado dando vida a la flotilla de Airbus 380, esta es una turbina de dos ejes propulsada a gas. Está diseñada para suministrar energía eléctrica en tierra manejando dos generadores los cuales brindan 120KVA montada en caja de cambios además de esto brinda aire de purga o de sangrado para suministrar calefacción al interior de cabina. (Pratt and Whitney)

3.1.2 **APS5000:**

La APS5000 creada por Pratt & Whitney es una APU únicamente eléctrica esto quiere decir que su única función es la suministrar energía eléctrica entregando unos 450KVA de

energía, fue creada solo para la flotilla Boeing 787 Dreamliner. Es catalogada como la APU más silenciosa del mercado y además la menos contaminante. (Pratt and Whitney)

3.1.3 **APS3200:**

Creada también por Pratt y Whitney está instalada en la flotilla de aviones Airbus A320 fue creada con el propósito de satisfacer las necesidades de aviones modernos, su configuración está dada por un único eje con un núcleo de alta presión y alta revolución el único eje esta aliado aun compresor el cual suministra aire para la calefacción de cabina y el arranque del motor principal, además puede suministrar 90KVA de energía eléctrica dándole lugar a una certificaciones de operaciones gemelas de rango extendido de 180 minutos. (Pratt and Whitney)

3.1.4 **PW901C:**

Nació de un motor Pratt Whitney utilizado para aviones de vuelos comerciales fue modificado para poder ser operado como APU para después ser instalados en aviones Boeing 747-8 y su predecesor, el Boeing 747-400 durante la operación en tierra suministra energía eléctrica con dos generadores de 90 KVA además utiliza aire desangrado para la calefacción de cabina. (Pratt and Whitney)

3.1.5 **APS300:**

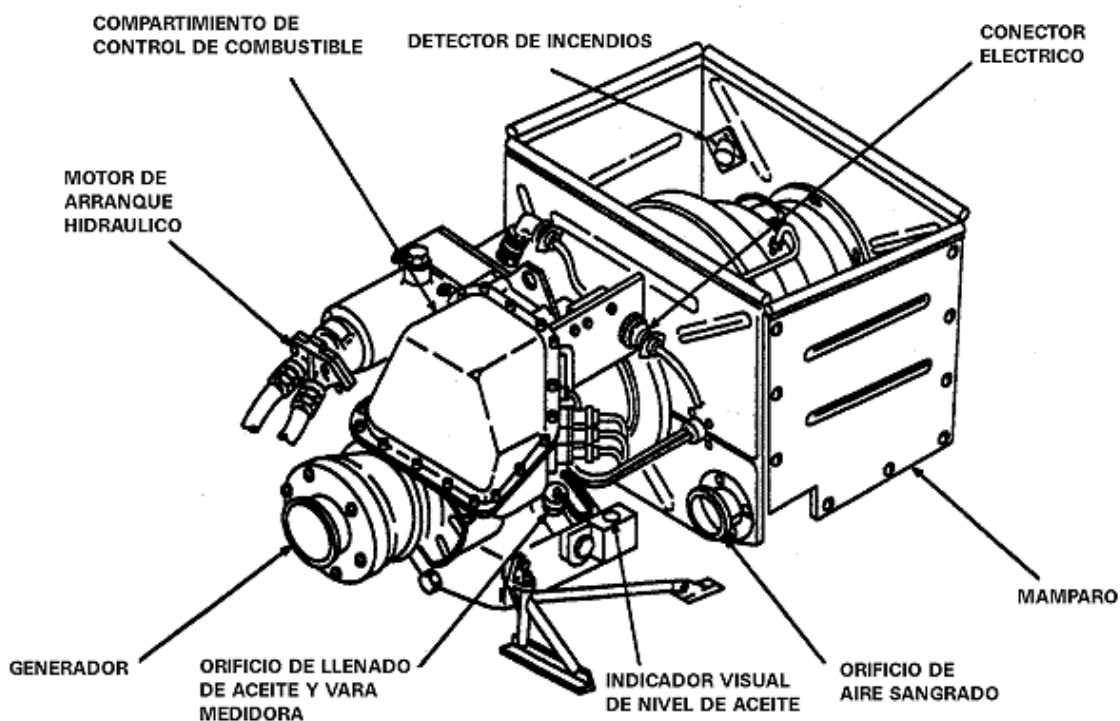
Pratt & Whitney creo la APS300 fue diseñada para aviones medianos de 60 a 110 pasajeros, en los cuales se encuentra Embraer 170/195. La APU APS2300 E170 / 175/190/195 de Embraer, así como en los aviones comerciales Embraer Lineage 1000. La APU APS2300, este tiene la configuración de un compresor centrifugo de flujo reversible y dos etapas d turbina axial. (Pratt and Whitney)

3.1.6 Partes de la APU

La APU es una pequeña turbina de gas, con sistemas integrados que hace que su encendido sea autónomo logrando que su función principal sea suministrar la energía suficiente para dar poder eléctrico e hidráulico a una aeronave.

Figura 4

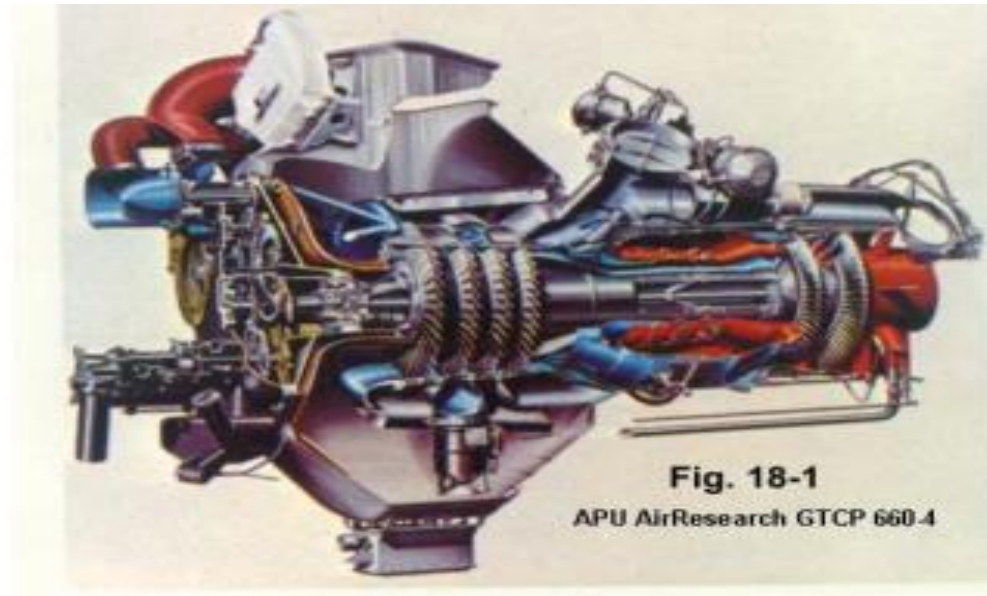
Componentes de un sistema de APU.



Nota: US ARMY.(1996).Sistema de APU.[Ilustración].Recuperado de <https://rdl.train.army.mil/catalog-aws/view/100.ATSC/3E5ECAFE-1FA6-4A5A-A49E-76318AD92AC0-1275122083208/uh-60/toc.htm>

Figura 5

Sistema interno de un APU.



Nota: Rivas,A.(2003).Interior de un APU.[Ilustración].Reecuperado de <https://www.volarenargentina.com/descargas/APU.pdf>

3.2 Compresores:

El compresor axial fue creado por primera vez en 1926 teniendo en cuenta la teoría de los perfiles aerodinámicos como lo explica griffith teniendo un rendimiento del 55% y que comparándolo con los de hoy en día alcanzan hasta un 85%, los compresores axiales cumplen la función de comprimir un fluido, esto lo logra debido a que el aire que fluye dentro de estos corre de forma axial a través de una serie de alavés móviles situados en un rotor que a la vez se incorpora a un eje. Cada etapa consta de una sección de alabes rotatorios que cumplen la función

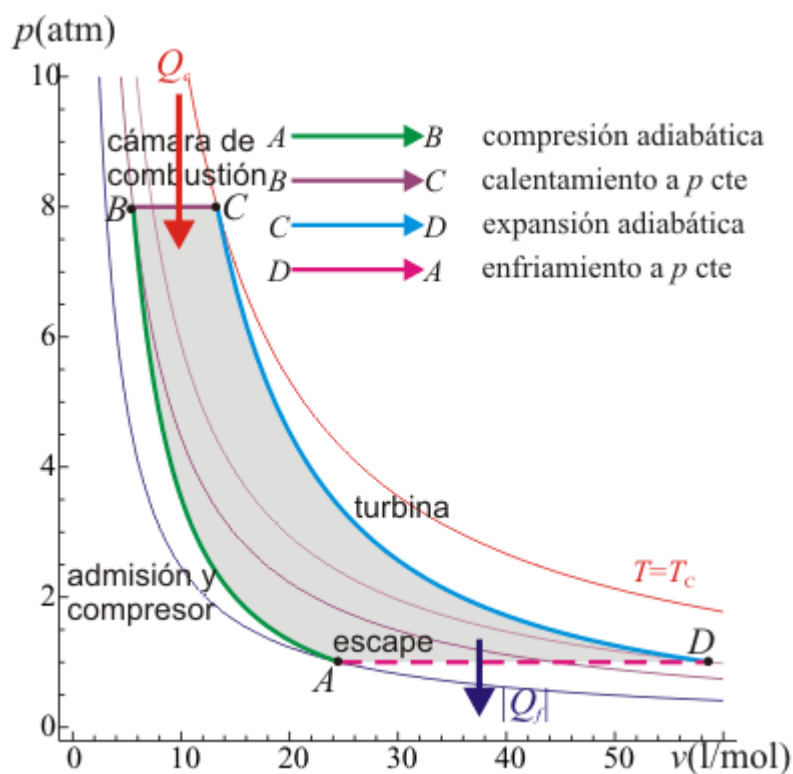
de comprimir como se mencionó anteriormente y otra parte estática la cual redirección el aire para que este sea enviado a otra etapa de compresor si es necesario.

El compresor es el primer elemento en un motor de reacción teniendo en cuenta que su función principal es comprimir la mayor cantidad de aire y proporcionar oxígeno para que se realice la combustión en la cámara de combustión proporcionando una relación de compresión desde 1-15 hasta 1-30 esto varía dependiendo la configuración de los alabes o la cantidad de etapas de compresor.

En la sección de compresor se cumple la transición indicada por el ciclo Brayton:

Figura 6

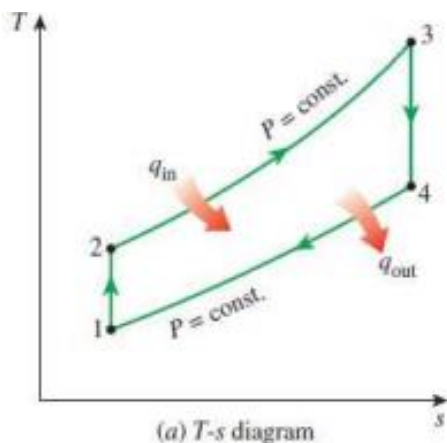
Ciclo Brayton



Nota: Pérez,B.(2019). Ciclo Brayton.[Figura]. Recuperado de https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/Sahagun/industrial/2019/Ciclo-Brayton.pdf

Figura 7

Diagrama T-S Ciclo Brayton



El cuál si es visto en un diagrama T-S (Temperatura vs Entropía) donde la compresión idealmente isentrópica la presión y la temperatura aumentan, el volumen y la entropía se mantiene constante solo en condiciones ideales tal cual como se puede evidenciar en la gráfica P-V

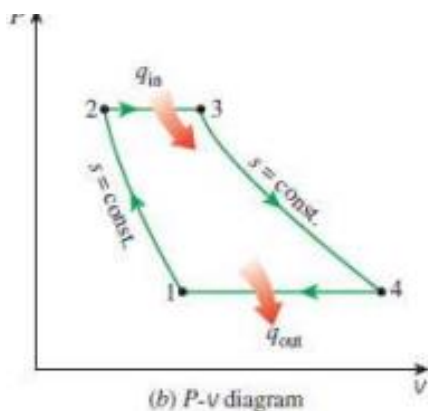
(Presión vs Volumen)

Nota: Fuente: Instituto de Física,UC.(sin fecha).Ciclo brayton T-S. [Diagrama]. Recuperado de fis.puc.cl/~jalfaro/fis1523/clases/12%20Ciclos.pdf

Esto ocurre en un proceso simple de 4 pasos:

Figura 8

Diagrama P-V Ciclo Brayton



1. Compresión: La cuál represente la compresión isentrópica en el compresor axial.
2. Cámara de combustión: Es dónde ocurre la inyección de combustible y se genera el proceso de combustión al momento de ser mezclado con aire a presión contante, produciendo un aporte de calor al sistema.
3. Turbina: Se da una expansión isentrópica de la combustión desarrollada en la turbina.
4. Intercambiador de calor: Se da un rechazo de calor a presión constante, y se repite el ciclo.

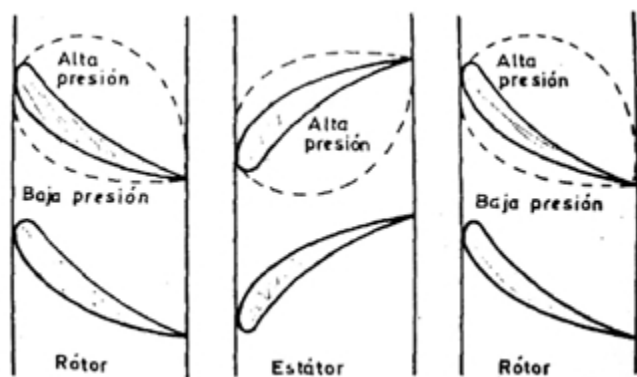
Nota: Fuente: Instituto de Física,UC.(sin fecha).Ciclo brayton P-V. [Diagrama]. Recuperado de fis.puc.cl/~jalfaro/fis1523/clases/12%20Ciclos.pdf

Al hablar de múltiples alabes rotando en un eje con su determinado perfil aerodinámicos, el alabe crea una baja presión en el lado convexo y por el contrario por el lado cóncavo crea una zona de alta presión, logrando que, al pasar el aire, esta sufra un aumento de velocidad sobre la parte convexa inicial del perfil para que después se reduzca cuando llegue al borde de salida, lográndose un proceso de difusión de la materia. Este proceso se repite en cada una de las etapas de compresión axial dentro de cualquier motor. (Renove Tecnología, 2009)

Gracias a la difusión provocada por el proceso de compresión se logra que a lo largo de este se cumpla el propósito de comprimir el aire por otro lado los estatores logran corregir la deflexión dada al aire por alabes del rotor, la última etapa de estator está dada con el propósito de alinear el aire para que este entre en forma uniforme a la cámara de combustión y se pueda controlar las condiciones de combustión. (Renove Tecnología, 2009).

Figura 9

Posición de los álabes.

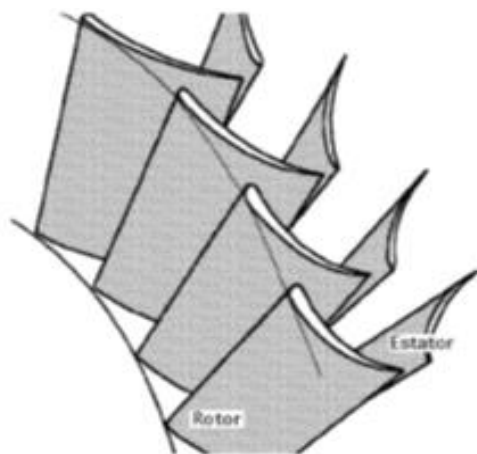


En éste imagen, se puede visualizar como están posicionados los álabes en las a lo largo de las etapas del compresor, con el fin mantener un flujo de aire no turbulento a lo largo de las etapas y aprovechar al máximo toda la energía.

Nota: Fuente: Renovetec.(2020).Posición de los álabes.[Imagen].
Recuperado de <http://www.turbinasdegas.com/el->

Figura 10

Vista Isométrica álabes



Nota: Fuente: Renovetec.(2020).Vista Isométrica de los álabes.[Imagen].
 Recuperado de <http://www.turbinasdegas.com/el-compresor>

Finalmente, los álabes quedan ésta posición en el compresor si son visto de una perspectiva isométrica listos para recibir un flujo de aire.

3.3 Combustibles para generar calor o electricidad:

Un combustible utilizado para generar algún tipo de energía puede ser de tipo gaseoso y sólido y principalmente son utilizados para el sector de electrificadoras que funcionan con este sistema (termo eléctrica), el cual consiste en genera una considerable cantidad de calor y luego ser aprovechada por medio de un mecanismo el cual lleva una serie de turbina y genera movimiento mecánico para luego ser transmitido por un eje y a un generador eléctrico.

Un combustible para generar calor puede estar creado con más de un elemento químico, usual mente los elementos químicos que se utilizan como combustible tiene con elemento el hidrogeno o algunos combustibles nucleares con el uranio y el plutonio, en el caso de combustibles usados para la calefacción se encuentra el gasóleo de calefacción, la madera, y el carbón, debido a su composición de carbón e hidrogeno, se puede aprovechar toda su energía almacenada por medio de la combustión.

Clasificación general de los combustibles:

1. **En función de su estado de agregación.**
 - Sólidos
 - Líquidos
 - Gaseosos
2. En función de sostenibilidad
 - Combustibles fósiles
 - Combustibles nucleares
 - Combustibles regenerativos

El poder calorífico de un combustible es medido por su poder calorífico inferior y poder calorífico superior. El poder calorífico superior es el que se libera después de una combustión en totalidad de un combustible con el consiguiente enfriamiento de los gases de combustión y condensación de los vapores, por otro lado, el poder calorífico inferior, es la cantidad máxima de energía que se puede aprovechar generada por la combustión, en el caso de los combustibles con hidrogeno hay una excepción, la cual es que el valor de ambos calores (superior-inferior) es igual. (Oiltanking, 2015)

3.4 Flujo másico y flujo volumétrico:

El flujo másico mide el número de moléculas en un gas que esta dinámico, el flujo volumétrico mide el espacio ocupado de cierto gas, estos coeficientes pueden ser variados por un cambio de presiones debido, aunque los gases son comprimibles y también depende de un cambio de la temperatura de cierto sistema.

- Tasa de flujo volumétrico: está dada por medio de un espacio tridimensional que ocupa un gas, esta depende de las condiciones térmicas y de presión a las que se están siendo sometidas este fluido.
- La tasa de flujo másico: esta se da por el número de moléculas que ocupa cierto fluido las condiciones no varía si se le aplica energía térmica ni tampoco si se le imprime presión, estas condiciones están dadas cuando un fluido se transporta por un medio.

Teniendo en cuenta cuál es su aplicación específica se puede realizar mediciones tanto de flujo másico como de flujo volumétrico.

3.5 La ley de los gases:

$$PV=nRT$$

Donde:

P=Presión estática

V =Volumen

n=masa molar

R=constante universal de gas

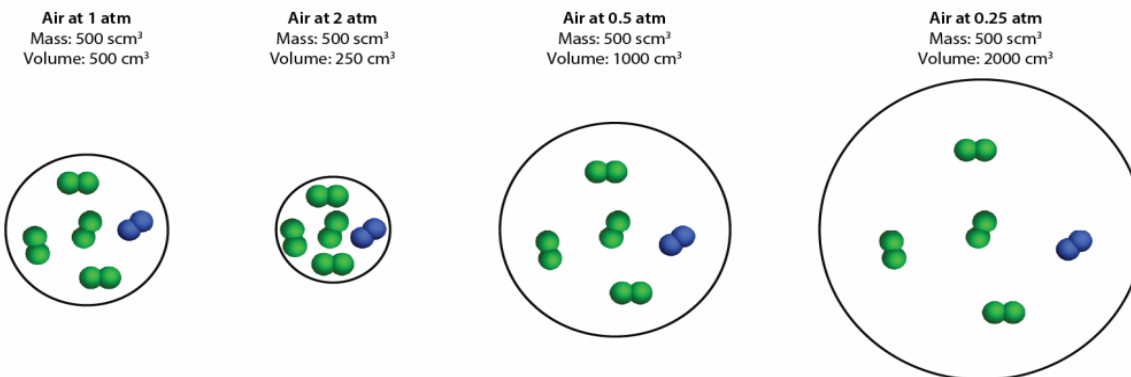
T = temperatura absoluta

Cuando la presión se eleva en un sistema cerrado las moléculas se unen un poco más reduciendo el espacio que hay entre ellas, cuando ocurre el caso contrario donde presión disminuye las moléculas se separan dejan un mayor espacio entre ellas todo este proceso ocurre

sin que la cantidad de moléculas varié esto quiere decir que sin importar si la presión se eleve o disminuya la cantidad inicial de moléculas siempre se mantiene. (Alicat scientific)

Figura 11

Ley de los gases.



Nota: Fuente: Alicat scientific, (sin fecha).Ley de los gases.[Imagen].Recuperado de <https://www.alicat.com/spanish/que-son-el-flujo-de-masa-y-el-flujo-volumetrico/>

3.6 Generadores:

Un generador eléctrico es una maquina capaz de transformar energía mecánica de rotación en energía eléctrica para un en fin en especial, está compuesto por dos partes la primera es la parte estator y la segunda la parte rotatoria.

Cuando este se encuentra en funcionamiento la parte rotatoria genera un flujo magnético el cual es captado por la parte estator y hace la función de inducido. En el mundo de los generadores existen dos tipos de generadores, y esto se debe según el tipo de corriente que este produce, en esta gran familia se encuentran los dinamos y los alternadores, teniendo como principio de funcionamiento la rotación.

3.7 Alternadores:

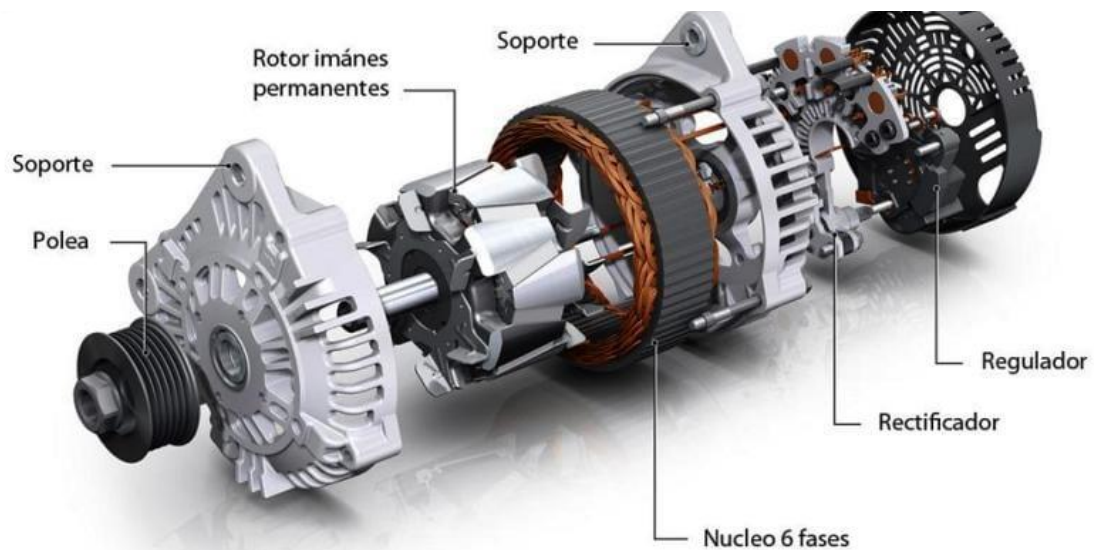
Los alternadores generan electricidad en forma de corriente alterna sus con ponentes están de tal forma que el elemento inductor es el rotor y el inducido el estator, un gran ejemplo son los generadores utilizados en las centrales termoeléctricas las cuales utilizan un sistema de fuente de calor para hacer funcionar estos generadores. (Navarrete, Funcionamiento del alternador, 2011)

Partes de alternador:

- Soporte
- Polea
- Rotor de imanes permanentes
- Núcleo
- Rectificador
- Regulador

Figura 12

Modelado de alternador



Nota: Fuente: Navarrete,J.(2011).Modelado de alternador.[Figura].Recuperado de <https://www.actualidadmotor.com/funcionamiento-del-alternador/>

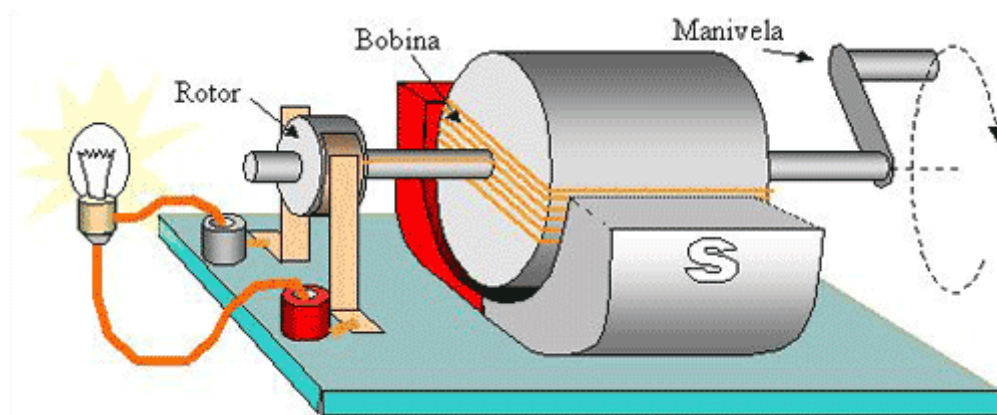
en la imagen anterior se puede apreciar que está instalado un rectificador el cual cumple la función alinear los picos de voltaje irregular que se da a consecuencia de la variación de RPM del rotor. Por otra parte, se encuentra un regulador donde actúa las veces de regular el voltaje de salida del alternador, esto debido a que la cantidad de voltaje varía dependiendo de la velocidad de giro del artefacto.

3.8 Los dinamos:

Los dinamos generan electricidad en corriente continua. El inductor es el estator y el inducido el rotor, estos los podemos encontrar en las linternas que se recargan con giros producidos por la mano. (Rojas, El dinamo y actividad, 2020)

Figura 13

Animación de un dinamo.



Nota: Fuente: Rojas,P.(2016).Animación de un dinamo.[Figura].Recuperado de <http://profepedro Rojas.blogspot.com/2016/05/el-dinamo-y-actividad.html>

3.9 Perdidas y eficiencias la las maquinas eléctricas rotativas:

Cuando hablamos de eficiencias y perdidas de cualquier maquina se habla de la potencia suministrada menos la potencia de salida donde nos da como resultado las perdidas esto quiere decir que cada máquina tiene perdidas debido a una serie de fenómenos físicos donde se pueden evidenciar fricciones, sumideros, etc.

$$P_{\text{suministrada}} - P_{\text{salida}} = \text{perdidas}$$

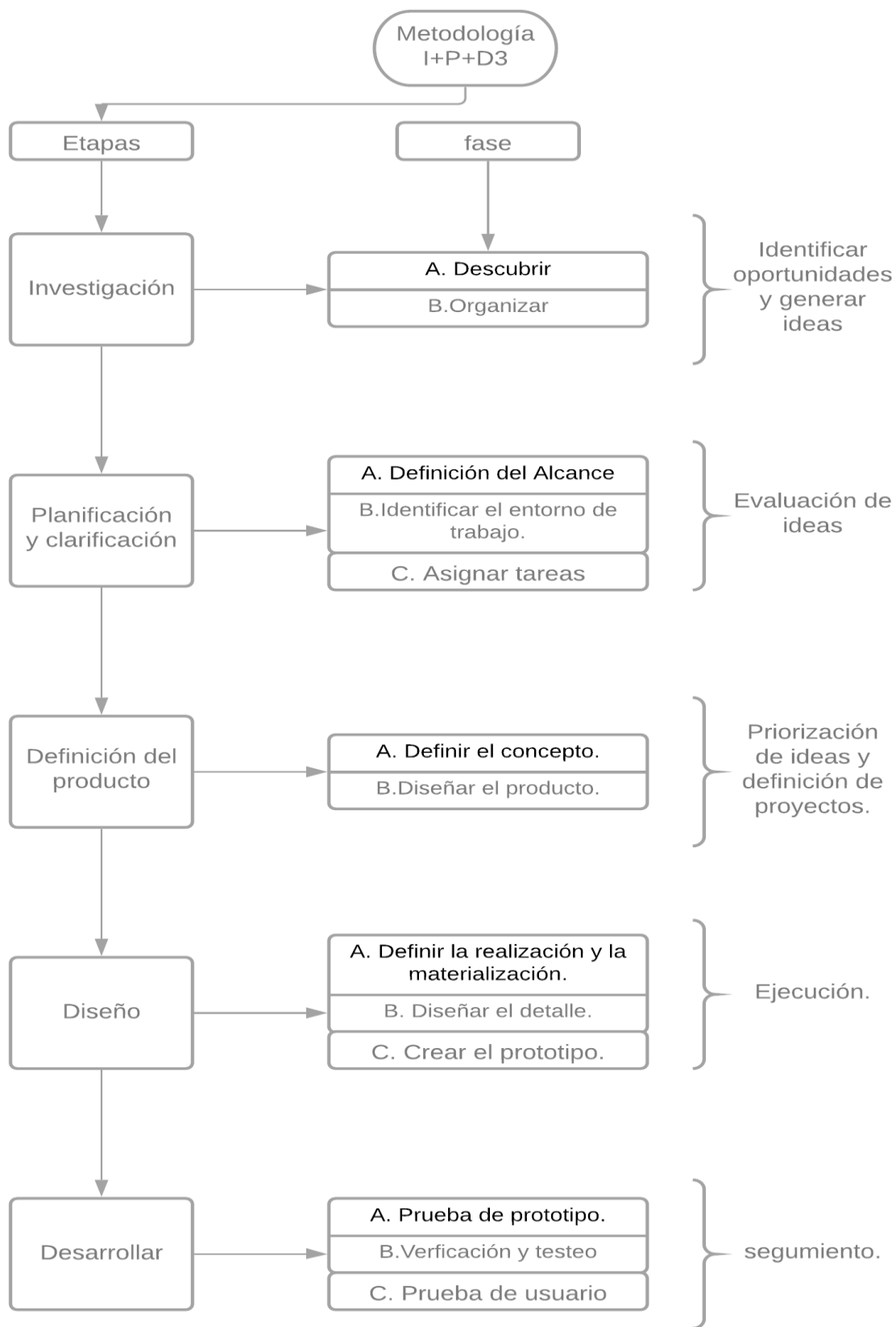
Por lo tanto, la eficiencia de una maquina determina la cantidad de trabajo máximo que pueda producir, teniendo como referencia la cantidad total de energía que consume. (Rincon educativo).

Capítulo 4 Metodología de la investigación

Para la realización de éste proyecto se ha utilizado una metodología denominada I+P+D3 (Investigación + Planificación + Definición del producto, diseño y desarrollo) o también “Metodología de diseño de producto bajo la estructura de innovación y creatividad.

Éste es un tipo de metodología reciente puesto que es determinada a partir de un estudio realizado en 2018, la cual busca por medio de la evidencia y antecedentes de varias metodologías implementadas en compañías para el diseño de productos crear una nueva metodología con lo mejor de cada una de las que se han analizado para posteriormente adaptarla a un producto en específico sin dejar puntos inconclusos o sin tener en cuenta siendo así una metodología clara, precisa y enfática.

En el siguiente cuadro se puede evidenciar una serie pasos y etapas que se llevarán a cabo cumpliendo las fases que se encuentran anexas dentro de cada una de las etapas, de igual forma unas notas de innovación o facultades la misma etapa:



Éste metodología se propone llevar a cabo el proyecto en 5 etapas cada una de éstas etapas con unas características específicas:

ETAPA	CARACTERÍSTICAS
Investigación	<ul style="list-style-type: none"> • En la etapa de investigación se busca realizar un sondeo de información profunda tanto del cliente como el usuario. • Se establecen las respectivas necesidades del cliente, para llevar a cabo éste proceso de analiza información relacionada con las características del cliente, y el contexto de uso (entorno cultural, económico, social, tecnológico). • Por último para culminar ésta etapa se identifica todos los parámetros y se organiza la información para finalmente presentar distintas soluciones.
Planificación y clarificación	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe comenzar especificando las capacidades del producto. • En ésta etapa se hace la definición del alcance y por ende determinación de la solución más viable a cumplir con todos los objetivos y necesidades propuestas desde un comienzo.

	<ul style="list-style-type: none"> • Por último de manera organizada se asignan las tareas y en éste caso se designa una línea de tiempo para cumplir con las expectativas del producto sin percances.
Definición del producto	<ul style="list-style-type: none"> • En ésta etapa de definición del producto se procede a detallar los últimos alcances que va tener el producto. • Se analizan datos técnicos, el campo de acción teniendo en cuenta los límites y posibles variables (entorno, medio ambiente, operación) • Se definen estrategias a partir de la planeación y se diseña el concepto lo cual corresponde a un modelo escrito, esto conduce a un concepto del producto el cual toma forma de diseño.
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Se toman los resultados de la etapa anterior y se incluye una estructura, funcionamiento, requerimientos técnicos y se crean diversos prototipos. • Se define como será la realización y materialización. • Se determina de forma organizada lo que corresponde a componentes, piezas, materiales, y elementos necesarios para el desarrollo del mismo. • Se diseña el detalle, esto corresponde netamente a como se llevará a cabo la construcción del producto, y con las debidas especificaciones se procede a la creación final del prototipo

Desarrollo	<ul style="list-style-type: none">• En ésta etapa se le realizan pruebas al prototipo y se analiza su funcionamiento.• Se realizan testeos y verificaciones con el fin de comprobar que el comportamiento del prototipo es el esperado, entre éstos se tienen en cuenta aspectos como seguridad, confiabilidad, calidad y operación.• Prueba de usuario, en éste caso después de haber cumplido con los requerimientos necesarios, se procede a un análisis de los usuarios comprobando que las necesidades identificadas fueron satisfechas.• Se realizan pruebas piloto dispuestas para la determinación de mejoras o posibles modificaciones.
-------------------	---

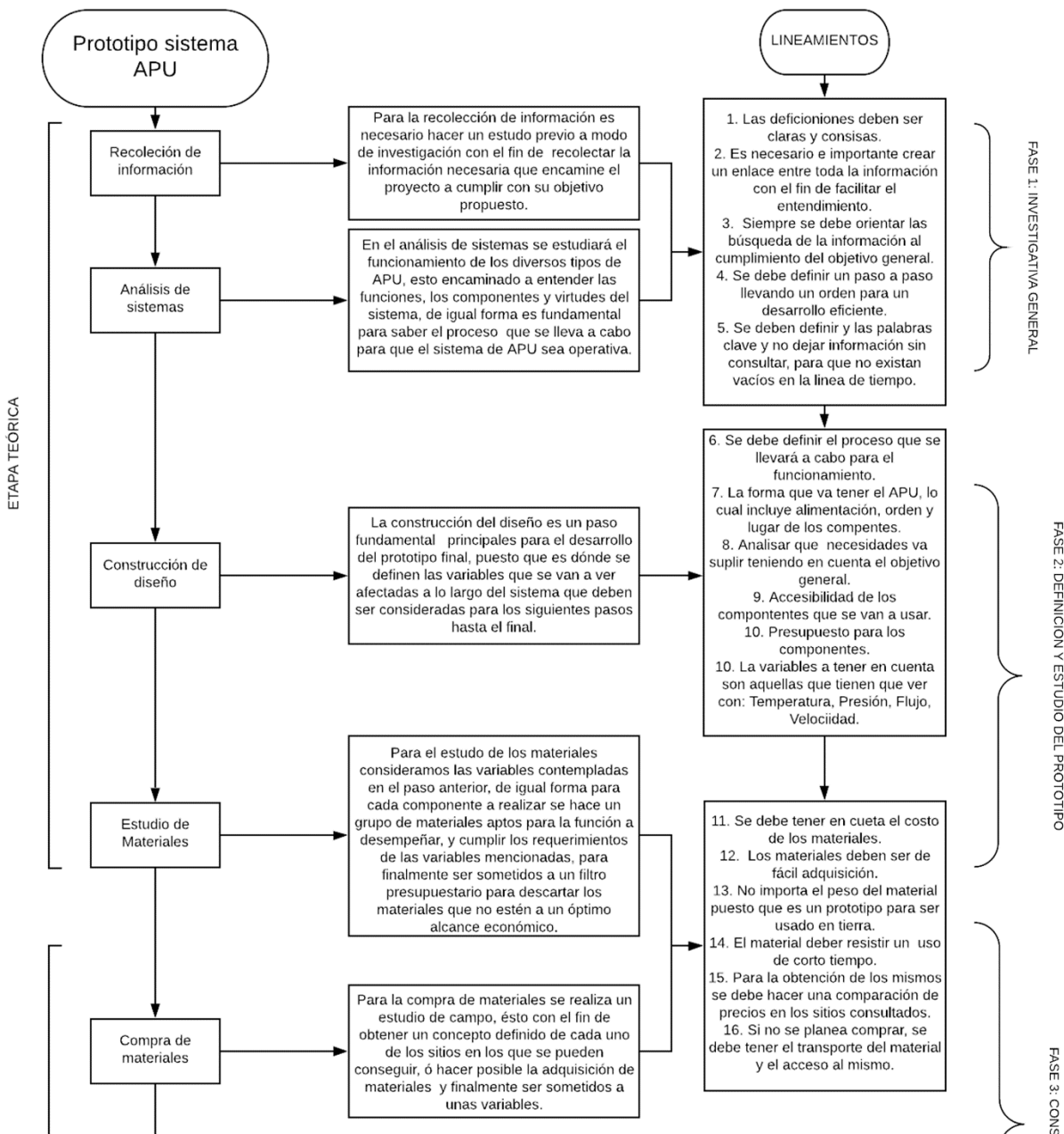
Capítulo 5. Resultados.

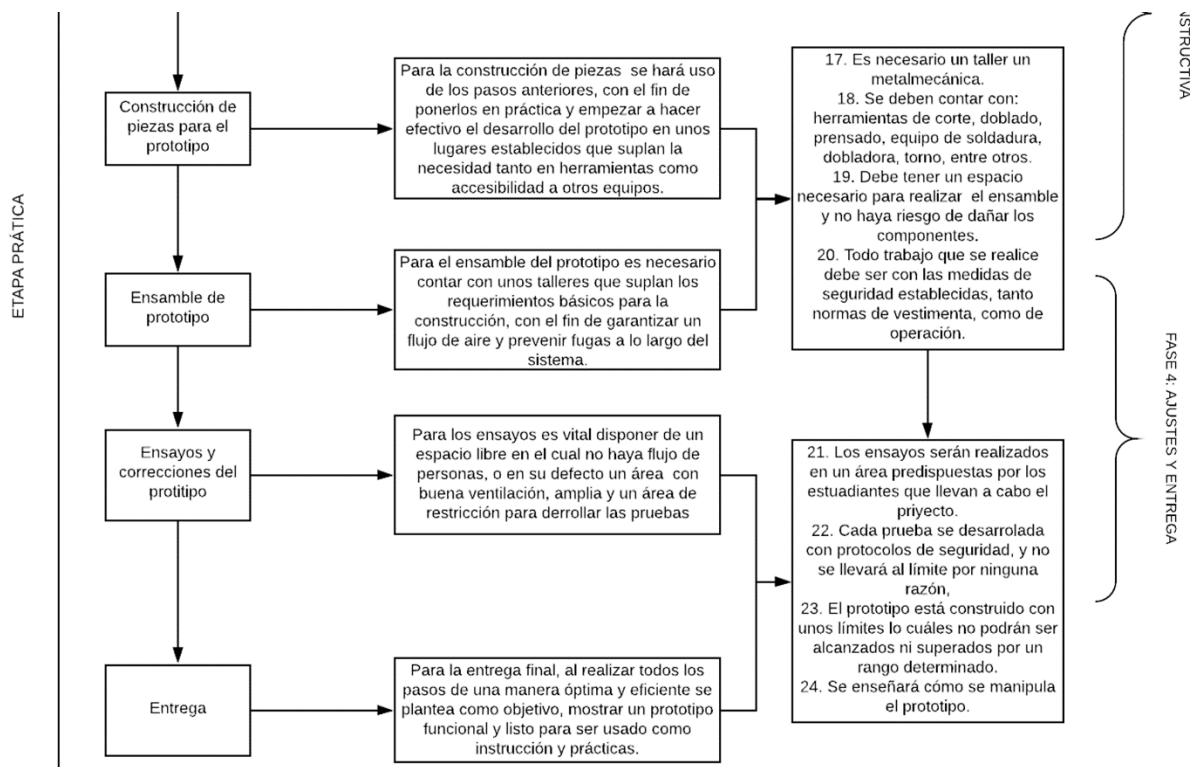
En el siguiente capítulo podemos evidenciar el cumplimiento de los objetivos con la construcción del prototipo Apu de igual forma se podrá ver el camino a seguir para la realización del mismo de ésta manera es como se le da conclusión a la investigación anterior y se aplica toda la información adquirida por medio de la metodología propuesta.

Para comenzar es preciso dividir éste capítulo en las partes que fueron esenciales y en el orden preestablecido según los parámetros propuestos y las posibilidades presentes al momento de la realización de éste trabajo.

5.1 Línea de tiempo

Como podemos ver, la línea del tiempo a lo largo del cuadro se compone por dos etapas distintas en las cuales se desarrollarán cada uno de los pasos propuesto, de igual forma cada etapa se divide en fases distintas las cuáles son tareas que se desarrollaran en simultáneo o bien están encaminados a unos mismos objetivos específicos, finalmente cabe aclarar que; éste proyecto se desarrollará en el área de ingeniería aeronáutica de la Escuela de Aviación del Ejército ubicada en la ciudad de Bogotá, cuyo propósito se enfoca en satisfacer la necesidad de la comunidad estudiantil de la misma área de interactuar con un sistema propio de una aeronave.





5.2 Presupuesto

Rubro	Especificaciones	Precio	Cantidad	Unidad	Financiación Propia	
					Efectivo	Especie
Personal	Mecánico industrial	\$5.000,00	8	Hora hombre	\$ 40.000,00	
					\$ -	
Materiales	Tuberia inoxidable 3"	\$83.000,00	1,5	m	\$ 124.500,00	
	Turbo	\$500.000,00	1	N/A	\$ 500.000,00	
	Lamina de acero inoxidable calibre 16	\$30.000,00	0,5	M ²	\$ 15.000,00	
	Abrazaderas	\$6.000,00	4	N/A	\$ 24.000,00	
	Juego tornillos tuerca y arandela 5/16*2"	\$1.000,00	14	N/A	\$14.000,00	
	Rodachinas precio por par	\$8.000,00	2	N/A	\$16.000,00	

	Combustible para pruebas	\$8.000,00	3	Gal	\$24.000,00	
	Rodamiento	\$9.000,00	2	N/A	\$18.000,00	
	1/8 Conjunto pintura	\$15.000,00	1	Gal	\$15.000,00	
	Eje y turbina	\$20.000,00	1	N/A	\$20.000,00	
	Registro	\$8.000,00	1	N/A	\$8.000,00	
	Inyector	\$30.000,00	1	N/A	\$30.000,00	
	Ángulos en acero calibre 16"	\$6.700,00	6	m	\$40.200,00	
Equipos	Equipo soldadura	\$1.000,00	5	Horas	\$5.000,00	
	Compresor	\$20.000,00	1	Dia	\$20.000,00	
					\$-	
Transporte	Transmilenio	\$2.500,00	36	Pasajes	\$90.000,00	
	Acarreos une- bogota	\$60.000,00	2	N/A	\$120.000,00	
	Gasolina vehiculo propio	\$8.500,00	5	Gal	\$42.500,00	
Viaticos	Promedio comidas, bebidas	\$40.000,00	1	N/A	\$40.000,00	
Varios	N/A	\$60.000,00	1	N/A	\$60.000,00	
	Total efectivo y				\$1.266.200,00	

5.3 Materiales

A continuación, en la siguiente fase para la realización del proyecto, se describirán los materiales utilizados y una breve referencia de cada uno de ellos:

- Turbocompresor: Turbocompresor marca holset utilizado en motores de hasta 16 litros empleados para camiones, es uno de los más completos y eficiente en el mercado.

- Alternador Hitachi: Éste alternador fue obtenido de un Mazda 323 y sobre los años de fabricación de éste vehículo fue usado por grandes marcas como Mazda, Nissan entre otros se caracteriza por fiabilidad y rendimiento.
- Tubo 6 pulgadas petrolero: Tubo de hierro implementado para labores petroleras y otros trabajos de régimen pesado.
- Mangueras de silicón y alta temperatura: Éste tipo de mangueras es usualmente utilizadas para transportar fluidos calientes y tengan la capacidad de no derretirse gracias a que se compone de una maya interna no tiene afectaciones al dilatarse o contraerse, además de tener un revestimiento de silicón que permite esos movimientos provocados por los cambios de temperatura.
- Regulador de gas: Es un sistema usual en los hogares dónde la estufa emplea gas propano, es utilizado para mantener un flujo constante.
- Cilindro de gas de 20 lb: Gas propano utilizado en la actualidad para las estufas de los hogares, o en unos casos como combustible alternativo.
- Tubo 4 1/2 pulgadas petrolero.
- Anillos 6 pulgadas.
- Ángulos de acero: Éstos ángulos son muy resistentes e ideales para realizar estructuras o como refuerzos.
- Soldadura 6013: Es un electrodo con un revestimiento, empleado para la soldadura de acero con alto carbono.
- Tubo 2 1/2: Tubo de acero de calibre delgado utilizado para traslado de fluidos de aguas negras.
- Codos de hierro: Sirve como uniones para los tubos de aguas negras usualmente.

- Embudo de lámina de hierro: Embudo realizado con ayuda de una dobladora y empleando una lámina de hierro para después ser empleado como tobera.
- Placa de hierro 18cm*25cm*2cm.
- Empaque turbo de alta temperatura: Empaque utilizado para el sellado de los turbocompresores, especiales para alta temperatura y evitar derramamientos de aceite.
- 3 empaques de papel húmedo de 6 pulg.
- Tubo aguas negras 1 pulg.
- Tornillos de acero grado 8 $\frac{1}{4}$ * $\frac{1}{2}$ con tuercas.
- Acople $\frac{3}{4}$ hembra.
- Extensor de $\frac{3}{4}$ macho.
- Reductor $\frac{3}{4}$ a media.
- Extensor de $\frac{1}{2}$ macho.
- Acople para gas.
- Teflón.
- Acoples sistema de aceite del turbo.
- Mangueras de aceite $\frac{3}{4}$: Debido a que la presión del turbo es tan alta, éste necesita de un sistema de mangueras especiales para el traslado del aceite al turbo sin que sufran algún tipo de daño o fisura.
- Contenedor de aceite: Recipiente para mantener el aceite utilizado por el turbo.
- Ruedas de goma con bloqueo: Ruedas de adaptación para poder mover el banco por algún área sin ningún inconveniente.
- Manguera de caucho de 2 $\frac{1}{2}$.
- Manzana de bicicleta.

- Un piñón de 10 dientes de bicicleta.
- Un piñón de 48 dientes de bicicleta.
- Cadena de bicicleta.
- 1 batería de carro.
- Cable de cobre: Éste tipo de cable es empleado en conexiones eléctricas domésticas, y el calibre a usar es dependiente del trabajo que se le vaya a dar.
- Sistema de engrane de yoyo: Este es un sistema que funciona similar a un freno coster, el cuál por medio de unos dientes se engrana y hace girar el sistema cuándo sea necesario, o por lo contrario se desengancha y deja girar el sistema libremente cuándo se requiera.
- Chumaceras: Acople con rodamientos que permite acoplar un eje y dejarlo girar.
- Ejes en hierro.
- Polea 1 pulg: Es un sistema utilizado en conjunto para la transformación y transmisión de potencia, dependiendo de su relación.
- Polea 5 pulg.
- Correa de caucho: Utilizada en conjunto con un sistema de poleas para la transmisión de potencias
- Motor eléctrico (para iniciar): Este es un motor que usa energía eléctrica para funcionar, su potencia se define en Watts y se escoge dependiendo del sistema o fuerza requerida.
- Pintura: Pintura con una composición térmica especial para las altas temperaturas.
- Tablas de madera: Empleada para trabajos varios.
- Registro para gas: Válvula utilizada para cerrar o abrir el flujo de paso de gas.
- Interruptor de llave: Utilizado para desbloquear el sistema.
- Interruptor de pin:

- Pulsador: Utilizado para dar inicio al motor eléctrico.
- Manómetro: Es un instrumento de medición utilizado para medir la presión de los fluidos en éste caso, la presión del gas.
- Volti-amperímetro: Instrumento conectado en éste caso a un alternador y para indicar la energía recibida en amperio y voltios.
- Empaques para aceite: Empaques utilizados para evitar fugas de aceite.

Insumos

- ¼ Aceite 20w50
- Gas propano

5.4 Construcción y evidencia.

Para realizar la construcción del prototipo en específico se llevaron a cabo una serie de pasos, estos pasos son obtenidos y descritos con respecto a la experiencia propia al momento de llevar a cabo el procedimiento descrito, los pasos mencionados a continuación describen a plenitud y con pruebas los procesos realizados en cada uno de los pasos, mencionando de igual forma las fallas que se obtuvieron, el descubrimiento y la solución.

Las imágenes con el fin de hacer más ordenado el proceso se han anexado al final de los pasos.

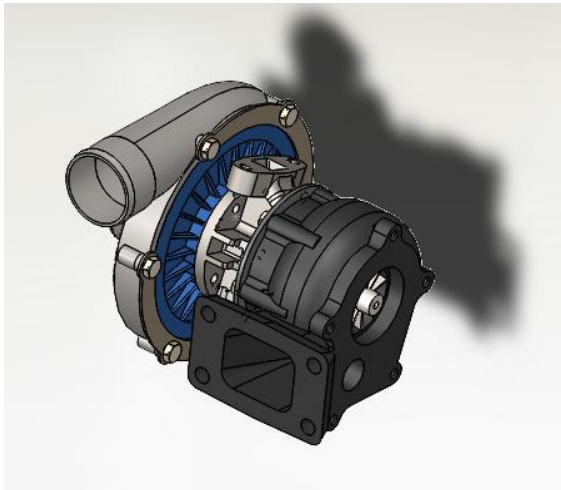
5.4.1 Modelado.

Para llevar a cabo la construcción del proyecto fue necesario realizar un modelado con ayuda de la herramienta Solidworks de lo que sería el prototipo terminado, éste modelado fue sometido a distintos tipos de correcciones antes de proceder a realizar el proceso de construcción

física, de éste forma se pudo hacer los ajustes requeridos de dimensiones y posicionamientos de los componentes en el banco, además de esto se logró la adaptación más conveniente de los componentes y se hizo un análisis previo que las posibles modificaciones de los componentes que así lo necesitaran sin necesidad de afectar el componente real, se pudo evidenciar futuros errores y evitar posibles riesgos en el proceso de construcción, y el modelado se realizó de la siguiente manera.

Figura 14

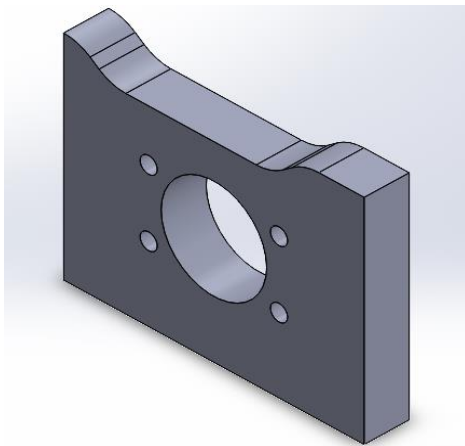
Turbocompresor modelo 3D



Nota: Fuente: Autores. El turbocompresor que se ve previamente, es un modelo en 3D elaborado con ayuda de la herramienta Solidworks.

Figura 15

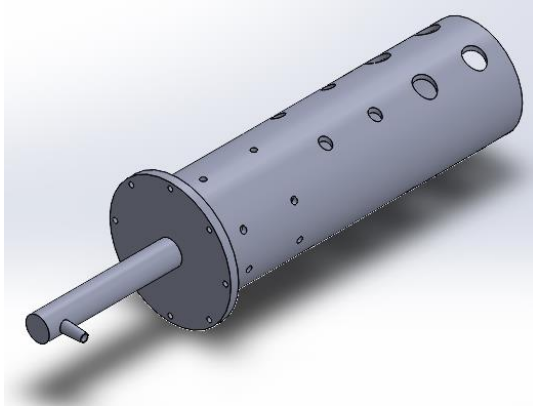
Placa conexión turbo-tobera Modelo 3D



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede apreciar el diseño propuesto para la conexión entre la tobera y el turbo.

Figura 16

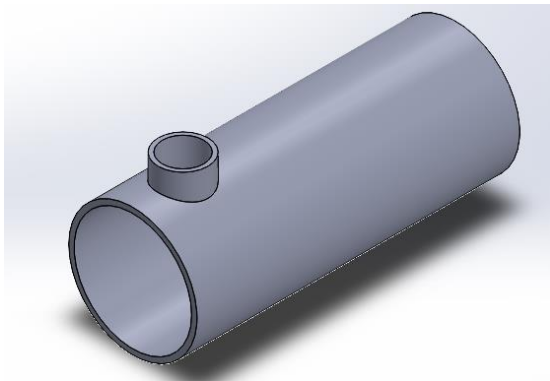
Flauta interna C.C Modelo 3D



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se logra apreciar la tapa de sellado de la cámara de combustión y el sistema tipo flauta de combustión.

Figura 17

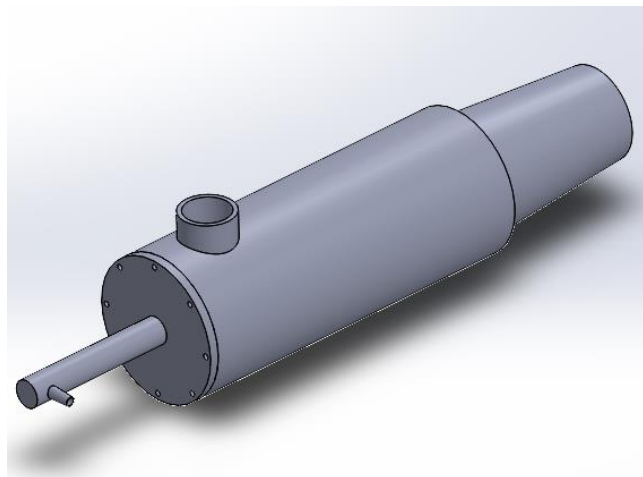
Cuerpo externo C.C Modelo 3D



Nota: Fuente: Autores. En anterior imagen se puede apreciar el modelo de la estructura externa de la cámara de combustión con su respectiva conexión de flujo.

Figura 18

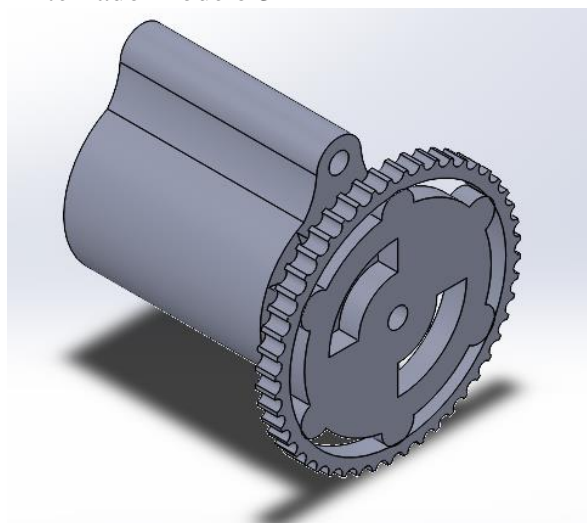
Ensamble Cámara de combustión Modelo 3D



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se aprecia en ensamble completo y como quedaría la cámara de combustión sin líneas de conexión.

Figura 19

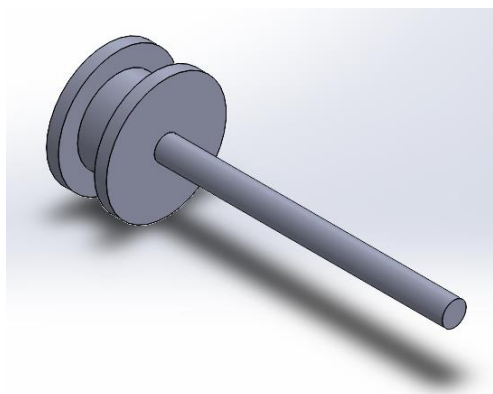
Alternado Modelo 3D



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede apreciar una réplica del alternador propuesto a comprar.

Figura 20

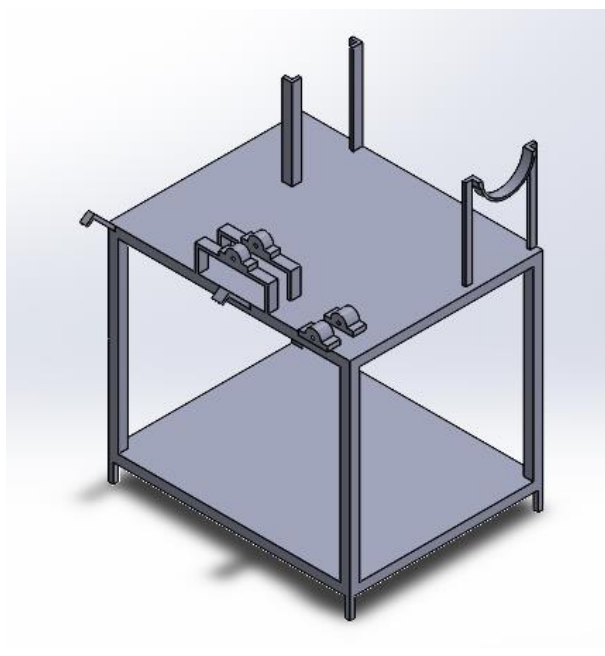
Polea pequeña Modelo 3D



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se observa el modelado de la polea pequeña.

Figura 21

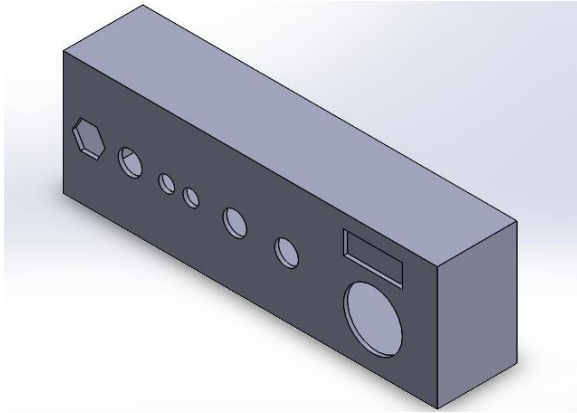
Banco del prototipo Modelo 3D



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede apreciar el banco o soporte del prototipo con sus respectivas bases y posiciones.

Figura 22

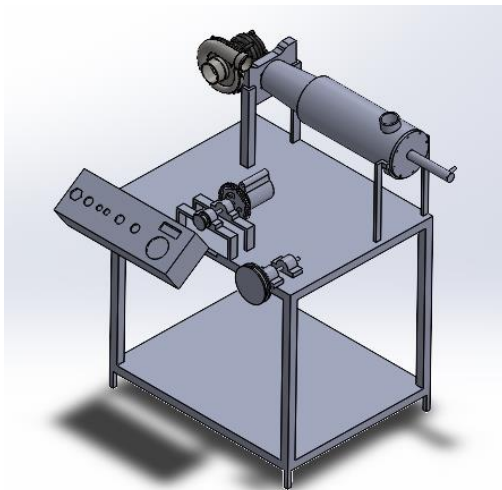
Panel de instrumentos.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se aprecia el panel con las ranuras exactas para los instrumentos.

Figura 23

Ensamble prototipo final.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se evidencia el prototipo final del modelo que se busca materializar.

5.4.2 Proceso paso a paso

1. Para empezar con la construcción, se deben tener en cuentas ciertas especificaciones de los materiales, en primero lugar y en parte lo más importante es la temperatura a la cual

serán expuestos los componentes, en seguida la función, costos y lugares en los que se puedan conseguir.

2. Después de haber hecho un análisis de los componentes y tomando como referencia el modelado, se realiza la compra de los materiales más principales como el turbo y los necesarios materiales para realizar la cámara de combustión, incluyendo el soportes o banco para el prototipo.
3. Tomando como base el modelo en 3D se inicia tomando un esquema con medidas para posteriormente empezar con la fabricación del banco y no tener posibles errores mientras se van posicionando los elementos del prototipo.
4. El banco va estar sujeto a traslados debido a las múltiples conexiones y trabajos que se le deben hacer, para hacerlo más fácil se le instalan 4 ruedas de gomas al banco. (Opcional)
5. Teniendo en cuenta los antecedentes de proyectos similares evidencias en la etapa de investigación se realiza el respectivo análisis para empezar a construir la cámara de combustión, esto es un proceso que no funciona en un entorno ideal, así que es necesario someter a pruebas los componentes por individual y evidenciar si el resultado es el esperado.
6. Se toma el tubo petrolero de 6 pulgadas y se recorta a la medida calculada.
7. Se recorta el tubo petrolero de 4.5 pulgadas según las medidas calculadas.
8. Se fabrica una tobera en lámina de acero con el fin de acelerar los gases a la salida de cámara de combustión, para la realización y ensamble de estos componentes, nos apoyamos de máquinas básicas de uso manual.
9. Se acopla el tubo de 4.5 pulgadas a la tobera de manera que esta sea fácil de retirar, para llevar a cabo este procedimiento se utiliza un anillo en lámina.

10. Se procede a soldar en un extremo del tubo de 4.5 pulgadas una tapa con 8 perforaciones realizadas previamente alrededor de la misma con un diámetro de $\frac{1}{4}$ y un último hueco en todo el centro de 2.5 mm que permite soldar el ducto de ingreso del combustible al inyector. El grosor de la tapa es de $\frac{1}{4}$ y su diámetro es de 6 pulgadas. Adicional tiene un ducto tipo flauta con 20 huecos y en uno de sus extremos con un acople de $\frac{3}{4}$ soldado al centro de la tapa con el propósito de que este funcione como un inyector del gas.
11. En seguida se realizan unos agujeros a tubo de 4.5 pulg con las siguientes especificaciones: el tubo tiene una longitud de 39 cm, se divide en 3 partes iguales. En la primera sección se realizar 18 agujeros de 7 mm en la segunda sección 4 agujeros de 13mm y en la tercera sección 4 agujeros de 23 mm.
12. Posteriormente se solda a un anillo de 6 pulgadas diámetro externo y 4.5 pulgadas diámetro interno con 8 agujeros de la mismas características de la tapa y el mismo calibre, 8 tuercas de $\frac{1}{4}$ en cada uno de los agujeros con propósito de ajustar la tapa y anclar la cámara de combustión. Esto soldado a un extremo del tubo de 6 pulgadas.
13. En el otro extremo del tubo de 6 Pulgadas se suelda la tobera con su respectivo anillo.
14. Posterior a esto soldamos todo el sistema de combustión a una placa de 25 cm *18 cm con espesor de 12 mm el cual tiene en el centro dos perforaciones iguales a la entrada de gases del turbo y 4 agujeros de $\frac{1}{2}$ a los cuales va a ajustar el turbo por medio de unos tornillos esta lamina fue trazada según el molde sacado al turbo y posteriormente cortada por oxicorte.
15. A la lámina mencionada en el paso anterior, se suelda dos perfiles a cada uno de los extremos de 1.5 pulgadas * $\frac{1}{8}$ con propósito de soportar todo el sistema.

16. En éste paso se comienza parte del ensamblaje el cual se realiza por medio de un equipo de soldadura y es posicionado al banco según lo establecido en el modelado dejándolo nivelado y firme.
17. Se procede a la instalación del turbo a la cámara de combustión, en el cual se utiliza 4 tornillos de $\frac{1}{2}$ * 1.5 pulgadas y un empaque de metal para alta temperatura para hacer que el sistema sea hermético.
18. Se toma la imprenta de la tapa del sistema de combustión para recortar de papel húmedo 3 empaques y posterior mente hacer el respectivo ensamble de la cámara de combustión a todo el sistema y se ajusta con 8 tornillos de $\frac{1}{4}$ * 1.5 pulgadas.
19. Después de tener todo el sistema de combustión ensamblado se procede a la sección de compresión del aire.
20. Instalamos a la salida de aire comprimido del turbo una manguera de 2.5 pulgadas * 20 cm con sus respectivas abrazaderas de cremallera y posteriormente se toman las medidas de la tubería que van dirigidas desde el compresor del turbo hasta la cámara de combustión, para este procedimiento se utilizaron 2 codos de 2.5 pulgadas y 1 metro de tubo de aguas negras de 2.5 pulgadas, se realizan los cortes necesarios y se procede a soldar los tubos con los codos a los ángulos necesarios para que estos lleguen con precisión a la cámara de combustión.
21. Se realiza un hueco de 2 pulgadas a la cámara de combustión y posterior mente se suelda toda la tubería anteriormente mencionada.
22. Se realiza un chequeo de posibles fugas en el sistema debido a que el no chequeo las mismas puede ocasionar el mal funcionamiento del sistema, éste revisión tiene como resultado que el sistema esta herméticamente sellado.

23. Se compra un cilindro de gas propano de 20 Psi y un regulador de gas propano.
24. Se conecta al sistema por medio de un acople de $\frac{3}{4}$ con su respectivo teflón para evitar fugas de gas.
25. Estos turbos compresores debido a su alta temperatura y prolongado funcionamiento necesitan refrigeración por lubricante, para este sistema de refrigeración se instalan los acoples al turbo para el sistema y posteriormente se instala el sistema de aceite.
26. Se procede a la primera prueba de funcionamiento del turbo, de la siguiente manera:
 - se activa la llave del gas y se inicia de una forma manual la llama por medio de un encendedor posicionado en la sección del compresor se inicia por medio de aire a 120 PSI originado de un compresor de aire a presión, hasta que el turbo alcance las revoluciones suficientes para que por sí solo pudiese comprimir el aire y enviarlo a la cámara de combustión.

En éste caso la prueba fue fallida, no obstante, se proceden hacer unos ajustes debido a se evidencia que la llama estaba siendo expulsada del turbo, esto debido a que la ignición se estaba realizando desde afuera y el aire impulsaba el gas al exterior del sistema.

27. Para realizar una segunda prueba, ésta vez siendo exitosa, se define que es necesario posicionar la llama más adentro del sistema para que calentara el aire proveniente del compresor del turbo, de esta manera se inició el turbo con aire a una mayor presión y sosteniendo el sistema por un tiempo suficiente para que la cámara de combustión alcanzara una temperatura estable y el turbo las RPM (Revoluciones por minuto) suficientes, teniendo como resultado que el sistema comenzara a ser autónomo y funcionara a de la manera esperada dando el visto bueno para proceder al siguiente paso.

28. Se realiza un soporte al alternador en forma de columpio con su respectivo tensionado y se suelda a el banco.
29. Para que el alternador funcione es necesario hacer una modificación suspendiendo la polea original, remplazándose por un piñón de 48 dientes y una copa para un sistema de accionamiento unidireccional.
30. Se instala el alternador a la base con un tornillo de 6 pulgadas * 5/16 pulgadas, un tornillo adicional de 1.5pulgadas por 5/16 usado para el tensionador.
31. Se diseña y se fabrica un eje bajo las condiciones necesarias, para ser adaptado al turbo, éste es construido de la siguiente manera:
 - Con una manzana de bicicleta, 3 sobrantes de lámina de 1.5 pulgadas * 1/8 y 3 tornillos 1/4 * 1.5 pulgadas, son soldados para poder montar un piñón de 10 dientes montado al eje principal del turbo y se realiza una prueba comprando que no quede torcido provocando el frenado o mal funcionamiento del sistema.
32. Posteriormente con una cadena de bicicleta recortada a la medida de los engranajes, se monta y se tensiona el sistema en un punto medio, enseguida se realiza una prueba dando como resultado que a altas RPM la cadena se desmontaba del piñón.
33. Se hace una revisión acompañada de varias pruebas verificando el porqué del error.
Dando como resultado que al elevar las RPM la cámara de combustión empezaba a vibrar en exceso y desmontaba la cadena de su piñón, posterior a esto vimos la posibilidad de realizar unos soportes adicionales a la cámara de combustión y al soporte del alternador. Los cuales fueron realizados en forma de cuna y media luna para el cilindro de cámara y de Angulo para el alternador y finalmente dando en distintas pruebas el resultado esperado.

34. A continuación, se procede a realizar un sistema de engranaje unidireccional para la ignición del sistema para esto utilizamos un sistema de yoyo, 4 chumaceras, dos ejes, 1 polea de 1.5 pulgadas- 5 pulgadas, 1 correa, y un motor eléctrico, se hace un ensamble de sistema de poleas con correa, con la relación adecuada para encender el sistema sin necesidad de un compresor de aire comprimido externo.
35. Se realizan pruebas al alternador conectándolo a una batería para poder activar su campo magnético y tomando muestras a la hora de girar dando como resultado unos datos exitosos.
36. Para los pasos finales se empiezan a crear los detalles para la manipulación del prototipo creando una consola de manejo la cual tiene:
- Volti-amperímetro.
 - Manómetro.
 - Llave de accionamiento.
 - Botón pulsador de arranque.
 - Válvula de paso de gas.
 - Interruptor de campo magnético.
37. Se pulen todas las soldaduras con el fin de que no queden esquirlas o bordes que afecten la seguridad al momento de manipular el prototipo.
38. A continuación, para el proceso de pintado se procede a aplicar imprimación tapando todos los ductos a los que no deba ingresar pintura.
39. Para el proceso de pintado se empieza por la zona de compresor y ducto de aire de color azul, para la zona caliente y sección de turbina color rojo, para el banco color amarillo,

para panel de control color negro mate, todo este proceso con el fin de identificar las zonas de riesgo, de temperatura, exposición.

40. Para dar por terminado el proyecto, se agregan las indicaciones y demarcaciones necesarias para la identificación.

5.4.3 Evidencia fotográfica.

Figura 24

Partes de construcción



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede apreciar parte los materiales comprados para la elaboración de la cámara de combustión, entre otros materiales para ensambles y diversos componentes.

Figura 25

Construcción de tobera.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede evidenciar el proceso de soldado y fabricación de la tobera de escape de la cámara de combustión.

Figura 26

Construcción Cámara de combustión interna.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede evidenciar el sistema tipo flauta en proporción, utilizada para le expansión de los gases dentro de la cámara de combustión.

Figura 27

Ensamble C.C - tobera.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede ver el proceso y ensamble de la parte externa de la cámara combustión y tobera.

Figura 28

Construcción banco



Nota: Fuente: Autores. Previamente se puede ver el proceso de fabricación del banco o soporte del prototipo, esto se hizo teniendo en cuenta las medidas que obtenidas por el modelado y la cámara de combustión.

Figura 29

Adaptación ruedas a banco.



Nota: Fuente: Autores. Aquí se puede ver la adaptación con las ruedas, que se le hace al banco de pruebas para poderse trasladar más fácil.

Figura 30

Soldado tobera-conector turbo



Nota: Fuente: Autores. En ésta imagen se ve el proceso de soldado de la tobera a la base o placa de acero que permite la conexión con el turbo y la cámara de combustión.

Figura 31

Ensamble turbocompresor y C.C.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede apreciar el ensamble y conexión de lo que sería el sistema principal de expansión de gases, que consiste de la unión de la cámara de combustión y el turbo de manera parcial.

Figura 32

Sistema de inyección y chispa.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede apreciar el sistema de inyección y chispa del sistema, éste componente se encuentra adentro de la cámara de combustión.

Figura 33

Adaptación eje a compresor.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se aprecia como por medio de unas placas metálicas, herramientas de sujeción, y demás materiales nombrados se adapte el eje al turbo.

Figura 34

Ensamble sistema de piñón.



Nota: Fuente: Autores. Previamente se puede ver el ensamble parcial del sistema de piñones y la conexión se la sección de turbina a la cámara de combustión.

Figura 35

Sistema de transmisión, piño-cadena.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se logra ver el sistema de transmisión de potencia del eje de turbina al alternador, por medio de piñones con relación 10:38 y cadena.

Figura 36

Sistema de transmisión de ignición.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen mostrada se evidencia la conexión de componentes ensamblados para el sistema de ignición del prototipo.

Figura 37

Proceso de imprimación.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede ver el paso de imprimación, paso en el que se le aplica una capa de pintura de protección al prototipo con la precaución necesaria.

Figura 38

Proceso instalación panel de instrumentos.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se puede apreciar el proceso de fabricación del panel de instrumentos, en dónde se podrá manipular el prototipo.

Figura 39

Panel de instrumentos terminado.



Nota: Fuente: Autores. Previamente se puede ver el último paso del panel de instrumentos en el cuál se han pegado las indicaciones y se ha pintado el panel.

Figura 40

Colores sección fría.



Nota: Fuente: Autores. En esta imagen se puede ver el color de la sección fría del turbocompresor, de igual forma el eje con su debido mantenimiento.

Figura 41

Prototipo final.



Nota: Fuente: Autores. En la imagen se evidencia lo que es el prototipo final con las respectivas correcciones y ajustes necesarios hasta el momento.

Cálculos:

El consume de combustible se identifica mediante el consume de combustible específico del freno (BSFC o SFC)

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{SP}$$

Donde SP es la potencia del eje.

$$\eta_{general} = \frac{P_{suministrada\ por\ el\ alterador}}{P_{suministrada\ por\ el\ eje}}$$

Donde η es la eficiencia.

Para calcular el flujo másico del combustible es la variación de la masa por unidad de tiempo.

$$\dot{m}_f = \frac{\Delta m_{Fuel}}{\Delta t}$$

Para crear la cámara de combustión se tuvo en cuenta el área de entrada del compresor del turbo cargador con la siguiente ecuación

$$area\ de\ turbo = \pi * r^2$$

Donde el diámetro de entrada del compresor equivale a

$$diametro\ del\ turbo\ (mm) = 63.5$$

Teniendo como resultado en el flujo de aire para la referencia de turbo compresor HOLSET HX 55W

$$rango\ de\ salida = 220kw - 420kw$$

$$\text{flujo de aire} = 0.75 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Para determinar el largo del tubo de la cámara de combustión se consideró multiplicar el diámetro de la entrada del compresor y multiplicarse por seis.

$$\text{largo del tubo de la camara de combustion} = \text{diametro del compresor} * 6$$

Para saber el diámetro de cámara de combustión se multiplico por dos el diámetro del área del compresor.

$$\text{diametro camara de combustion} = \text{diametro entrada compresor} * 2$$

Para realizar la combustión se decide utilizar gas propano el cual maneja un poder calórico de 11.082 kcal/kg.

Dentro de la cámara de combustión se realizaron unos agujeros estratégicamente para que la mezcla aire combustible se realiza de una forma adecuada. Teniendo la siguiente consideración.

31.75

area del turbo

$$\pi * 31.75^2 = 3166.92 \text{mm}^2$$

La cámara de combustión se dividió en tres partes iguales con el fin de homogenizar la mezcla y al mismo tiempo impulsar el flujo en dirección a la turbina del turbocompresor después que la mezcla este encendida, para esto se tuvieron las siguientes consideraciones.

Primera sección

$$30\% \text{del area del turbo: } 3166.92 \text{mm}^2 * 0.3 = 950.1 \text{mm}^2$$

Se divide en 20 huecos iguales alrededor de la cámara de combustión

$$\text{area del los agujeros en la primera seccion: } \frac{950.1mm}{20\text{agujeros}} = 47.51mm^2$$

$$\text{radio de los agujeros: } \sqrt{\frac{47.51mm^2}{\pi}} = 3.8mm$$

$$\text{diametro agujeros primera seccion: } 3.8mm * 2 = 7.6mm$$

Segunda sección

$$20\% \text{del area del turbo: } 3166.92mm^2 * 0.2 = 633.4mm^2$$

Se divide en 4 huecos iguales alrededor de la cámara de combustión

$$\text{area del los agujeros en la segunda seccion: } \frac{633.4mm^2}{4\text{agujeros}} = 158.35mm^2$$

$$\text{radio de los agujeros: } \sqrt{\frac{158.35mm^2}{\pi}} = 7.1mm$$

$$\text{diametro agujeros segunda seccion: } 7.1mm * 2 = 14.2mm$$

tercera sección

$$50\% \text{del area del turbo: } 3166.92mm^2 * 0.5 = 1583.5mm^2$$

Se divide en 4 huecos iguales alrededor de la cámara de combustión

$$\text{area del los agujeros en la tercera seccion: } \frac{1583.5mm^2}{4\text{agujeros}} = 395.9mm^2$$

$$\text{radio de los agujeros: } \sqrt{\frac{395.9mm^2}{\pi}} = 11.23mm$$

*diametro agujeros segunda seccion: $11.23\text{mm} * 2 = 22.5\text{mm}$*

Tenido en cuenta que en la cámara de combustión se genera un intercambio de calor de forma isocórico debido a que por medio de la temperatura el volumen del aire aumenta y es liberado por la tobera acelerando hacia la turbina para poder generar un trabajo en el turbo compresor para esto es importante conocer sus valores específicos.

$$p_{03} = p_{01} * \left(\frac{t_{03}}{t_{01}}\right)$$

p_{03} = presión en la entrada de combustión

t_{03} = temperatura del aire comprimido

Poder calorífico del combustible (gas propano)

12.052 Kcal/Kg

La principal función de la cámara de combustión es calentar el aire del compresor hasta tal punto de elevar el volumen del mismo por tan motivo es necesario conocer la temperatura en la cámara de combustión .

$$(\dot{m}_f + \dot{m}_a) * c_{p_h} * t_{03} = \dot{m}_a * c_{p_c} * t_{02} + \dot{m}_f * Q_M$$

\dot{m}_f = flujo masico del combustible

\dot{m}_a = flujo masico del aire

c_{p_h} = calor especifico del aire a la temperatura especifica t_{03}

$cp_c = \text{calor específico del aire a la temperatura específica } t_{02}$

$Q_M = \text{poder calorífico del combustible}$

Para calcular el flujo masico del combustible es necesario:

$$mf = \frac{\dot{\Delta}m_{fuel}}{\Delta t}$$

Para que la combustión sea la adecuada se necesita un numero de inyectores específicos para realizar correctamente la mezcla de aire y combustible si no se cumple esta norma correctamente no sería posible la ignición de la llama dentro del Cámara de combustión, se utiliza la siguiente ecuación para determinar la cantidad de fistos que lleva el inyector:

$$n \text{ fistos} = 18200 * D_e * h$$

$$18200 * 0.005 * 0.2 = 18.2$$

La flauta de inyector de gases tiene 19 fistos distribuidos a lo largo de la flauta.

Capítulo 6. Conclusiones.

- Todo esto conlleva a que sea un prototipo de máquinas capaces de producir algún tipo de energía fácil y económica para poder ser aprovechada en el diario vivir del ser humano.
- Es posible desarrollar un producto que complemente el aprendizaje teórico con metodologías prácticas.
- Con este prototipo a escala, el traslado por el laboratorio no será incómodo y podrá usarse sin ningún inconveniente.
- Un prototipo a escala facilita las prácticas dentro de la institución sin la necesidad de trasladarse fuera de la misma o buscar convenios.
- Un prototipo de sistema Apu es capaz de brindar más posibilidades de operación que otro sistema alternativo, debido a que tiene las facultades de un turborreactor pequeño pero la capacidad de brindar energía.
- Es posible realizar un prototipo Apu en el país, con los materiales que se tienen al alcance.
- Este mecanismo es vital para la operación de una aeronave, puesto que gracias a éste sistema la aeronave es capaz de mantenerse en vuelo debido a que las líneas hidráulicas y la fuente de energía eléctrica no se ve afectada en caso de falla de los motores.
- Con la creación de éste prototipo los estudiantes de la Escuela de Aviación del Ejército tendrán la oportunidad de hacer el desarrollo de sus prácticas dentro de la institución.
- Con éste prototipo la Escuela de Aviación del Ejército estará en las capacidades de brindar el conocimiento necesario de manera práctica en las materias nombradas.

Capítulo 7. Recomendaciones.

1. Una modificación pertinente es diseñar un sistema el con adaptación directa al sistema apu para poder generar energía hidráulica con propósito de adicionar un nuevo servicio a al prototipo.
2. Instalar componentes para realizar tomas de datos por medio de sensores modernos con el fin de corroborar las eficiencias del prototipo y verificar si están siendo aprovechadas para la producción de energía.
3. Modificar el sistema de encendido para que este no se haga por medio de un motor 110v sino por medio de un motor de 12v para que así mismo del prototipo de ésta manera podrá ser más fácil de accionar en cualquier lugar.
4. Adicionar un sistema el cual eleve la potencia de la energía almacenada a 110v para poder hacer uso de aparatos eléctrico que se utilizan en el día a día.
5. Este proyecto es la idea prematura materializada para futuras energías auto sostenibles las cuales se pueden aprovechar para ser utilizadas en lugares donde la energía aun no llega.
6. Adicionar un segundo turbo para poder generar mayor potencia y así mismo poder suministrar mayor energía.

Bibliografía.

- Alicat scientific. (s.f.). *¿Que son el flujo de masa y el flujo volumétrico?* Recuperado el 13 de Mayo de 2020, de <https://www.alicat.com/spanish/que-son-el-flujo-de-masa-y-el-flujo-volumetrico/>
- Alicat scientific. (sin fecha). *Ley de los gases*. Obtenido de [Imagen]: <https://www.alicat.com/spanish/que-son-el-flujo-de-masa-y-el-flujo-volumetrico/>
- balears, g. d. (Julio de 2006). *Pla D'eficiencia Energética*. Recuperado el 12 de Abril de 2020, de http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portalenergia/pla_eficiencia_energetica/produccioenergia_2.es.html
- Barney L, C. P. (22 de Diciembre de 2016). *Microturbines*. Washington, Estados Unidos: National Institute of Building Sciences. Recuperado el 12 de Abril de 2020, de <https://www.wbdg.org/resources/microturbines>
- Boeing. (s.f.). *Boeing*. Recuperado el 20 de Abril de 2020, de Boeing: <https://www.boeing.com/history/products/b-29-superfortress.page>
- Cesar Mondradón, D. P. (3 de Junio de 2010). *Diseño y Construcción de una turbina de gas para la generación de baja potencia con ciclo regenerativo a partir de un turbo cargador. Diseño y Construcción de una turbina de gas para la generación de baja potencia con ciclo regenerativo a partir de un turbo cargador*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 10 de Abril de 2020, de <https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/36/136>
- Dale, E. (10 de Junio de 2015). *Cono de la experiencia. La pirámide del aprendizaje*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://javierdisan.com/2015/06/10/mitos-educacion-piramide-aprendizaje/>
- FLAPS 5. (11 de Abril de 2018). *¿Ques el APU? ¿Sabías que los aviones tienen un motor escondido?* Flaps 5. Recuperado el 20 de Abril de 2020, de <http://flaps5.blogspot.com/2018/04/el-motor-oculto.html>
- Germás Urrea, A. N. (2013). *DEL AULA A LA REALIDAD. LA IMPORTANCIA DE LOS LABORATORIOS EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO. CASO DE ESTUDIO: INGENIERÍA AERONÁUTICA*. Recuperado el 27 de Abril de 2020, de <https://acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/viewFile/502/145>
- Gil, Á. P. (s.f.). *LA PIRÁMIDE DEL APRENDIZAJE*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 31 de Marzo de 2020, de <http://webs.ucm.es/BUCM/revcul/e-learning-innova/27/art1263.pdf>
- Great Bustard's Fligth. (4 de Abril de 2018). *La unidad de potencia auxiliar. La unidad de potencia auxiliar*. Great bustard's fligth. Recuperado el 20 de Abril de 2020, de <https://greatbustardsflight.blogspot.com/2018/04/la-unidad-de-potencia-auxiliar.html>

- Herranz, A. (s.f.). El APU y sus beneficios. Bogotá, Colombia. Recuperado el 31 de Marzo de 2020, de <https://aertecsolutions.com/2015/05/11/el-apu-y-sus-beneficios/>
- Ivars, A. (2009). *Cono del aprendizaje de Edgar Dale*. Obtenido de [Figura]: <https://es.slideshare.net/aidaivars/cono-del-aprendizaje-de-edgar-dale>
- José Villalobos, J. D. (s.f.). Diseñor y construccion de una microturbina a gas para modelos de aviones a escarla usando el rotor de un turbo compresor. *Diseñor y construccion de una microturbina a gas para modelos de aviones a escarla usando el rotor de un turbo compresor*, 16. Guayaquil, Ecuador. Recuperado el 13 de Abril de 2020, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1865/1/3680.pdf>
- Limited, A. (20 de Abril de 2020). *Aerotes Limited*. Obtenido de Aerotes Limited: <https://aerotest.com/news/auxiliary-power-units-everything-you-need-to-know/>
- Morales, E. (19 de Abril de 2019). ¿Qué es es la Unidad de Poder Auxiliar (APU)? ¿What is the APU? México: Transponder 1200 S.A.S de C.V. Recuperado el 20 de Abril de 2020, de <https://www.transponder1200.com/que-es-la-unidad-de-poder-auxiliar-apu/>
- Nacional, E. (Ed.). (31 de 03 de 2020). *escuela de aviación del ejercito*. Obtenido de Escuela de Aviación del Ejército: <https://www.esave.mil.co/index.php?idcategoria=190107>
- Navarrete, J. (2011). Funcionamiento del alternador. *Actualidad Motor*. Recuperado el 12 de Mayo de 2020, de <https://www.actualidadmotor.com/funcionamiento-del-alternador/>
- Navarrete, J. (2011). *Modelado de alternador*. Obtenido de [Figura]: <https://www.actualidadmotor.com/funcionamiento-del-alternador/>
- Oferman Gonzales, J. G. (s.f.). Primer Motor a Reacción, Universidad los libertadores. Bogotá, Colombia. Recuperado el 10 de Abril de 2020, de <https://www.youtube.com/watch?v=773YqHeKNT0>
- Oiltanking. (Diciembre de 2015). *Oiltanking*. Recuperado el 14 de Mayo de 2020, de Combustibles: <https://www.oiltanking.com/es/publicaciones/glosario/detalles/term/combustibles-para-generar-calor-o-electricidad.html>
- Pérez, B. S. (2019). *Ciclo brayton*. Obtenido de [Figura]: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/Sahagun/industrial/2019/Ciclo-Brayton.pdf
- Pratt and Whitney. (s.f.). Auxiliary Power Units (APU). Canadá. Recuperado el 18 de Abril de 2020, de <https://www.pwc.ca/en/products-and-services/products/auxiliary-power-units>
- Renove Tecnología. (2009). *Compresor Axial*. Recuperado el 14 de Abril de 2020, de <http://www.turbinasdegas.com/el-compresor>
- Renovetec. (2020). *Álabes de compresor*. Obtenido de [Imagén]: <http://www.turbinasdegas.com/el-compresor>

- Rincon educativo. (s.f.). *Generador Eléctrico*. Recuperado el 11 de Mayo de 2020, de Foro Nuclear: <http://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/que-es-un-generador-electricoley>
- Rivas, A. (2003). *interior de APU*. Obtenido de [Ilustración]: <https://www.volarenargentina.com/descargas/APU.pdf>
- Rojas, P. (2016). *Animació dinamo*. Obtenido de [Figura]: <http://profepedrorojas.blogspot.com/2016/05/el-dinamo-y-actividad.html>
- Rojas, P. (Mayo de 2020). *El dinamo y actividad*. Recuperado el 11 de Mayo de 2020, de Profe pedro rojas: <http://profepedrorojas.blogspot.com/2016/05/el-dinamo-y-actividad.html>
- SKYbrary. (25 de Julio de 2017). Auxiliary Power Unit (APU). Recuperado el 13 de Abril de 2020, de [https://www.skybrary.aero/index.php/Auxiliary_Power_Unit_\(APU\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Auxiliary_Power_Unit_(APU))
- UC, I. d. (sin fecha). *Ciclo termodinámicos*. Obtenido de [Diagrama]: <http://www.fis.puc.cl/~jalfaro/fis1523/clases/12%20Ciclos.pdf>
- US ARMY. (1996). *Manual técnico de mantenimiento, sistema de apu*. Obtenido de [Ilustración]: <https://rdl.train.army.mil/catalog-ws/view/100.ATSC/3E5ECAFE-1FA6-4A5A-A49E-76318AD92AC0-1275122083208/uh-60/toc.htm>
- Wasserman, M. (2001). Ensayo sobre la importancia de investigar en Colombia. *La importancia de investigar en Colombia*. Bogotá, Colombia.