



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA

CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE LICENCIADO EN CIENCIAS NAVALES**

**TEMA: SIMULADOR DE TURBINA A GAS DEL
LABORATORIO DE MAQUINARIA NAVAL DE LA ESCUELA
SUPERIOR NAVAL Y SU CONTRIBUCIÓN EN EL
APRENDIZAJE DE LOS GUARDIAMARINAS.**

AUTOR: SANTIAGO MARCELO PROAÑO ARTEAGA

DIRECTOR: ING.MEC.NAVAL. EDER TORRES VERA. MSC.

SALINAS

2015



**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA
CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**SIMULADOR DE TURBINA A GAS DEL LABORATORIO DE MAQUINARIA NAVAL DE LA ESCUELA SUPERIOR NAVAL Y SU CONTRIBUCIÓN EN EL APRENDIZAJE DE LOS GUARDIAMARINAS**” realizado por el señor **SANTIAGO MARCELO PROAÑO ARTEAGA**, ha sido revisado en su totalidad, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **SANTIAGO MARCELO PROAÑO ARTEAGA** para que lo sustente públicamente.

Salinas, 09 de diciembre del 2015

Atentamente,

Director



**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA
CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**SIMULADOR DE TURBINA A GAS DEL LABORATORIO DE MAQUINARIA NAVAL DE LA ESCUELA SUPERIOR NAVAL Y SU CONTRIBUCIÓN EN EL APRENDIZAJE DE LOS GUARDIAMARINAS**” realizado por el señor **SANTIAGO MARCELO PROAÑO ARTEAGA**, ha sido revisado en su totalidad, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **SANTIAGO MARCELO PROAÑO ARTEAGA** para que lo sustente públicamente.

Salinas, 09 de diciembre del 2015

Atentamente,

Director



**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA
CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **SANTIAGO MARCELO PROAÑO ARTEAGA**, con cédula de identidad N° 1725915316, declaro que este trabajo de titulación **“SIMULADOR DE TURBINA A GAS DEL LABORATORIO DE MAQUINARIA NAVAL DE LA ESCUELA SUPERIOR NAVAL Y SU CONTRIBUCIÓN EN EL APRENDIZAJE DE LOS GUARDIAMARINAS”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Salinas, 09 de diciembre del 2015

SANTIAGO MARCELO PROAÑO ARTEAGA

C.C. 1725915316



**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA
CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

AUTORIZACIÓN

Yo, **SANTIAGO MARCELO PROAÑO ARTEAGA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución la presente trabajo de titulación “**SIMULADOR DE TURBINA A GAS DEL LABORATORIO DE MAQUINARIA NAVAL DE LA ESCUELA SUPERIOR NAVAL Y SU CONTRIBUCIÓN EN EL APRENDIZAJE DE LOS GUARDIAMARINAS**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Salinas, 09 de diciembre del 2015

SANTIAGO MARCELO PROAÑO ARTEAGA

C.C. 1725915316

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Santiago Marcelo Proaño
Arteaga

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por estar a mi lado brindándome sabiduría, para no dejarme vencer ante las adversidades y cumplir con lo que me propuse en la vida. A mis padres, porque son el pilar fundamental en mi vida que me apoyaron y confiaron en mí, siempre estuvieron animándome y motivándome; espero recompensar esos momentos dándoles esta alegría al haber culminado mis estudios. A mi hermana, porque con su inocencia y alegría me motivo a alcanzar la meta propuesta. A mi amiga y enamorada; Tatiana, porque juntos aprendimos a ser el apoyo el uno del otro y logramos superar los problemas que tuvimos, pero también aprendimos a crecer como mejores personas con lecciones que la vida nos dio. Agradezco a mi tutor de este proyecto de investigación, por ser más que un docente es un amigo que siempre tuvo consejos para orientarme.

Santiago Marcelo Proaño Arteaga

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
PÁGINAS PRELIMINARES	ii
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii
CAPITULO I.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3. HIPÓTESIS Y VARIABLES	1
1.3.1. HIPÓTESIS.....	1
1.3.2. VARIABLES.....	2
INDEPENDIENTE	2
DEPENDIENTE	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	2
1.5. OBJETIVOS	3
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPITULO II.....	4

MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. INTRODUCCIÓN.....	4
2.2. TURBINAS A GAS.....	4
2.3. HISTORIA DE LAS TURBINAS A GAS	6
2.4. CLASIFICACIÓN DE TURBINAS A GAS	7
2.4.1. TURBINAS DE GAS DE CICLO ABIERTO.....	8
2.4.2. TURBINAS DE GAS DE CICLO CERRADO	9
2.5. CICLO BRAYTON	10
2.6. COMPONENTES DE UNA TURBINA A GAS	11
2.6.1. COMPRESOR.....	12
2.6.2. CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	14
2.6.3. TURBINA	15
CAPITULO III	17
MARCO METODOLÓGICO.....	17
3.1. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.1.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	17
3.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	18
3.2. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	19
3.3.1. NIVEL EXPLICATIVO.....	19
3.3.2. NIVEL APLICATIVO	20
3.4. TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	20
3.4.1. LA ENCUESTA.....	20
3.4.2. LA OBSERVACIÓN	21
3.4.2. ANÁLISIS DE DATOS	22
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA	23
3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	23

3.6.1. LA ENCUESTA	23
3.6.2. LA OBSERVACIÓN.	29
CAPITULO IV	30
4. RESULTADOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	30
4.1. TITULO DE LA PROPUESTA	30
4.2. DATOS INFORMATIVOS	30
4.2.1. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	30
4.2.2. JUSTIFICACIÓN.....	31
4.3. OBJETIVOS.....	31
4.4. FUNDAMENTACIÓN PROPUESTA	32
4.5. DISEÑO DE LA PROPUESTA	33
4.5.1. INSPECCIÓN TÉCNICA	33
4.5.2. MANTENIMIENTO	37
4.5.3. MONTAJE DE PARTES.....	40
4.5.4. PRUEBAS REALIZADAS.....	45
4.5.5. SECCIONAMIENTO	50
4.5.6. FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL	54
4.5.7. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO	57
4.6. METODOLOGIA PARA EJECUTAR LA PROPUESTA	58
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFIA	61
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Historia de las Turbinas a Gas	7
Tabla 2: Conoce que es una turbina a gas	24
Tabla 3: Tiene aplicación en nuestra fuerza naval	25
Tabla 4: El simulador es ayuda didáctica?	26
Tabla 5: El simulador aporta en la formación de los guardiamarinas	27
Tabla 6: Productos de combustión podrían generar fluido eléctrico	28
Tabla 7: Seccionamiento del simulador de turbina a gas	51
Tabla 8: Seccionamiento de suministros del simulador de turbina a gas	52
Tabla 9: Sistema de lubricación y enfriamiento	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Turbina de Ciclo Abierto	8
Figura 2: Turbina de Ciclo Cerrado	9
Figura 3: Ciclo de Brayton.....	10
Figura 4: Componentes de una turbina a gas	11
Figura 5: Compresor Centrífugo	13
Figura 6: Compresor de Flujo Axial	14
Figura 7: Cámara de Combustión.....	15
Figura 8: Conocimiento sobre una turbina a gas	24
Figura 9: Tiene aplicación en nuestra fuerza naval	25
Figura 10: El simulador es una ayuda didáctica.....	26
Figura 11: El simulador aporta en la formación de los guardiamarinas ...	27
Figura 12: Productos de combustión podrían generar fluido eléctrico	28
Figura 13: Simulador de turbina a gas en estado inicial.	34
Figura 14: Partes afectadas por oxidación.....	35

Figura 15: Estado inicial del sistema de enfriamiento	35
Figura 16: Templador hidráulico	36
Figura 17: Sistema de lubricación	36
Figura 18: Retiro de óxido y renovación de piezas	37
Figura 19: Limpieza de marco del simulador	38
Figura 20: Elaboración de tensores de banda	39
Figura 21: Conexiones de cableado al turbogenerador.	39
Figura 22: Renovación de pintura en el simulador	40
Figura 23: Colocación de la bujía	41
Figura 24: Instalación de la manguera para la entrada de gas.	41
Figura 25: Habilitación del sistema de enfriamiento	42
Figura 26: Fijación del transformador	43
Figura 27: Montaje de turbo-generador	43
Figura 28: Montaje de bandas y tensores de banda	44
Figura 29: Comprobación del funcionamiento de bandas	45
Figura 30: Sistema de ignición con bujía	46
Figura 31: Incorporación de tensores de banda	47
Figura 32: Reconstrucción de dinamómetro y rotor	47
Figura 33: Control de encendido del turbo - generador	48
Figura 34: Tablero principal del simulador	49
Figura 35: Seccionamiento del simulador de turbina a gas.....	50
Figura 36: Seccionamiento de suministros del simulador de turbina	52
Figura 37: Sistema de lubricación y enfriamiento	53
Figura 38: Mantenimiento del Simulador de Turbina a Gas	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: MODELO DE ENCUESTA	63
Anexo 2: REGISTROS DE OBSERVACIÓN	64
Anexo 3: ELEMENTOS ADICIONALES DE UNA TURBINA A GAS	69
Anexo4: CRONOGRAMA DE HABILITACIÓN DEL SIMULADOR	76
Anexo 5: PRESUPUESTO DE INSUMOS Y REPUESTOS	78
Anexo 6: MANUAL DE USO PRÁCTICO DEL SIMULADOR.....	79
Anexo 7: SYLLABUS DE MAQUINARIA NAVAL I, II Y III.....	87

ABREVIATURAS

ESSUNA	Escuela Superior Naval
Rpm	Revoluciones por minuto
°C	Grados centígrados
Kg	kilogramo
Hz	Hertz
mm	milímetro
M	metros

RESUMEN

Este proyecto de investigación, consta de cuatro capítulos, el primero menciona el planteamiento del problema en referencia a los sistemas de propulsión como una herramienta importante para la preparación técnica de los guardiamarinas a través de la habilitación del simulador de turbina a gas, durante el período de su formación académica. El segundo capítulo trata sobre el marco teórico en donde se establecen las bases teóricas para evaluar y habilitar el sistema de turbina a gas de doble eje existente en el Laboratorio de Maquinaria naval de la ESSUNA; en donde a través de la búsqueda de información, su estudio, comprensión y aplicación en donde se fundamenta el proyecto de investigación. El tercer capítulo trata sobre el marco metodológico que se encarga de revisar los procesos a realizar para la investigación y se determinan las herramientas de estudio que se van a emplear en el proyecto de investigación. El cuarto capítulo trata sobre la propuesta que se planea implementar para la habilitación del simulador de turbina a gas de doble eje.

PALABRAS CLAVES: SISTEMA DE ENCENDIDO, PROPULSIÓN, TURBINA A GAS, RECUPERACIÓN, REPOTENCIACIÓN, HERRAMIENTA DIDACTICA, FORMACIÓN, PREPARACIÓN.

ABSTRACT

This research project consists of four chapters, the first mentions the problem approach in reference to the propulsion systems as an important tool for the technical preparation of the midshipmen through the recovery and upgrading of a gas turbine simulator during the period of their education. The second chapter discusses the theoretical framework, in which theoretical basis to assess and enable the gas turbine system to double existing shaft at the Laboratory of Naval engineering of ESSUNA established; where through information search, study, understanding and application in which the project is based. The third chapter discusses the methodological framework that is responsible for reviewing the processes to be performed for research and study tools that will be used in the research project are determined. The fourth chapter discusses the proposal which is planned to implement the recovery and upgrading of a gas turbine simulator.

KEYWORDS: PROPULSION SYSTEM, TURBINE UPGRADE, TRAINING, PREPARATION TOOLS.

INTRODUCCIÓN

Al referirnos del simulador de turbina a gas, se habla de una herramienta didáctica que contribuye en el proceso de aprendizaje de la Brigada de Guardiamarinas.

La cual al encontrarse inoperativa en el laboratorio de maquinaria naval por un periodo aproximado de 15 años es imprescindible para la contribución a la formación profesional de los guardiamarinas.

Actualmente, el simulador de turbina a gas de doble eje que se encuentra en el Laboratorio de Maquinaria Naval de la ESSUNA, está inoperativo razón por la cual, luego del análisis y su mantenimiento respectivo; poder mejorar, la habilitación, repotenciación y eficiencia máxima que posee dicho simulador de turbina a gas que genere carga eléctrica por medio de la combustión de gases; y de esta manera sirva como herramienta para complementar la enseñanza teórica impartida en la materia de maquinaria naval.

CAPITULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La formación profesional mediante un simulador de turbina a gas del laboratorio de maquinaria naval, es fundamental en la preparación académica de los guardiamarinas de la Escuela Superior Naval “Rafael Moran Valverde”; en las materias de maquinaria naval y mecánica naval; pero su inoperatividad actual, trae como resultado que los conocimientos teóricos que reciben los guardiamarinas no están complementados con la parte práctica en el laboratorio.

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Área:	Unidad Académica Especial ESSUNA – Salinas
Campo:	Maquinaria Naval
Aspecto:	Sistemas de Propulsión
Contexto temporal:	Sistema de Turbinas a Gas
Contexto espacial:	Laboratorio de Maquinaria Naval

1.3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

1.3.1.HIPÓTESIS

La habilitación del simulador de turbina a gas de doble eje, contribuirá como una herramienta importante para la preparación técnica de la brigada de guardiamarinas, durante el período de su formación.

1.3.2.VARIABLES

Independiente

- Simulador de Turbina a Gas del Laboratorio de Maquinaria Naval.

Dependiente

- Contribución en la formación académica de los Guardiamarinas.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Una parte fundamental de los sistemas de propulsión a bordo constituyen las turbinas a gas, las cuales se los estudia en materias fundamentales como son: Maquinaria Naval y Mecánica Básica, dentro de la Escuela Superior Naval. Por esta razón, es prioritario la habilitación del sistema de turbina a gas de doble eje existente, la cual está diseñada para una operación de practica fácil y segura con bajos niveles de ruido, lo que contribuirá de manera eficaz a la formación técnico, profesional y didáctica en el aprendizaje de la brigada de guardiamarinas por medio de diferentes experimentos, como por ejemplo:

- Características de la cámara de combustión.
- Características de la turbina.
- Características de los componentes individuales.

- Diseño para una fácil y segura operación con bajos niveles de ruido.
- Rendimiento de una unidad simulada de un eje
- Rendimiento de una unidad de un eje con carga de boquilla simulada.
- Rendimiento de una unidad de doble eje.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1.OBJETIVO GENERAL

Habilitar el simulador de turbina a gas de doble eje, en el laboratorio de maquinaria naval por medio de la implementación física de los sistemas mecánicos y eléctricos, con el fin de aportar con una herramienta para el proceso de formación de la brigada de guardiamarinas.

1.5.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las deficiencias existentes en el simulador de la turbina a gas.
- Realizar el mantenimiento general del simulador de turbina a gas e implementar los accesorios mecánicos y eléctricos necesarios para poner en funcionamiento el simulador.
- Realizar pruebas de funcionamiento y proponer medidas para la conservación y mantenimiento en el simulador de la turbina a gas.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

Es importante para la formación de los guardiamarinas el conocer sobre los conceptos que rigen los principios de las turbinas de gas; por ello, es de vital importancia profundizar sobre estas máquinas de combustión.

El presente proyecto de investigación, se sustenta en varias fuentes bibliográficas y en definiciones del área de maquinaria naval y mecánica básica, como factor importante para el desarrollo académico que requiere la Escuela Superior Naval; para el perfil profesional y competente de la brigada de guardiamarinas.

2.2. TURBINAS A GAS

El tema sobre: Turbinas a Gas, en el libro Maquinas Térmicas Motoras 2 de 2002, se encontró lo siguiente:

Una turbina de gas es un motor térmico rotativo de flujo continuo que se caracteriza por presentar una baja relación peso potencia y una velocidad de giro muy elevada.

La elevada velocidad de giro, que en función del tamaño puede llegar a alcanzar valores de hasta 40000 revoluciones por minuto, orienta su utilización a una unidad de generación de gases con elevada entalpía que puede utilizarse para propulsión a reacción o puede ser la encargada de accionar una turbina de potencia acoplada a un eje, en la que puede acoplarse cualquier tipo de carga¹.

De este modo la turbina de gas está formada por dos elementos principales:

- El generador de gases
- La unidad generadora de potencia.

El generador de gases esta formado a su vez por uno o varios compresores, la cámara de combustión, donde se mezclará el combustible con el aire y donde tendrá lugar la combustión, y finalmente la o las turbinas de expansión de gases, que en esta caso sólo obtendrán la potencia necesaria para mover los compresores.

La unidad generadora de potencia es donde se obtendrá la potencia útil de la máquina, dependiendo de la aplicación, será otra turbina de expansión de gases, o bien, una tobera de propulsión². (Alvarez Flóres, y otros, 2002)

Adicionalmente, se definen a: “Las turbinas de gas son equipos capaces de transformar la energía química contenida en un combustible en energía

¹ Maquinas Térmicas Motoras 2, (2002)

² (Alvarez Flóres, y otros, 2002)

mecánica, ya sea para su aprovechamiento energético o como fuerza de impulso de aviones, automóviles o barcos”³ (Véliz, 2015).

Partiendo de estos conceptos, es posible definir a la turbina de gas como una máquina generadora de potencia de ciclo abierto, puesto que, conservando la Ley de la energía, el fluido que da inicio a un nuevo ciclo no es el mismo que el anterior; así también, como una máquina de combustión interna, ya que el fluido que trabaja en la turbina no necesariamente puede generarse dentro de la máquina que lo va a utilizar.

La turbina de gas, es una turbo máquina generadora, que para obtener un flujo de trabajo utiliza un flujo de gas, el cual; según los parámetros del Ciclo de Brayton; por medio de la compresión hacia un fluido a entropía constante en el compresor, seguida de una presión constante y alta temperatura, convierte la energía térmica en energía mecánica.

2.3. HISTORIA DE LAS TURBINAS A GAS

La turbina a gas ha experimentado un progreso significativo con el paso del tiempo y los avances de la tecnología, desde su aparición inicial en el año 150 A.C; un resumen sobre su evolución se puede apreciar en la siguiente tabla:

³ (Véliz, 2015).

Tabla 1: Historia de las Turbinas a Gas

Año	Inventor	Descripción
150 AC	HERO	Juguete que producía rotación
1232	Chinos	Uso de cohetes en combate
1500	Leonardo Davinci	Diseño principal de una turbina
1629	Italiano	Diseño de turbina a vapor
1678	Ferdinand	Construcción de vehículo a vapor
1791	John Barber	Primera patente de una turbina
1872	Stolze	Primera turbina a gas
1914	Charles Cutis	Aplicación de la turbina a gas en EEUU
1949	General Electric	Primera turbina eléctrico

2.4. CLASIFICACIÓN DE TURBINAS A GAS

Existen múltiples criterios de clasificación de las turbinas de gas. A continuación se exponen las que tienen relación con el proyecto de investigación que corresponden a aquellas que están en función al modo de aportación de energía al ciclo, las mismas que pueden ser de dos tipos:

- Turbinas de gas de ciclo abierto
- Turbinas de gas de ciclo cerrado

2.4.1. TURBINAS DE GAS DE CICLO ABIERTO

La turbina de gas de ciclo abierto, de acuerdo al Ciclo de Brayton, se puede determinar con el término de eficiencia térmica, debido a que transforma la energía térmica o calórica en energía mecánica; como se lo puede observar en la Figura 1.

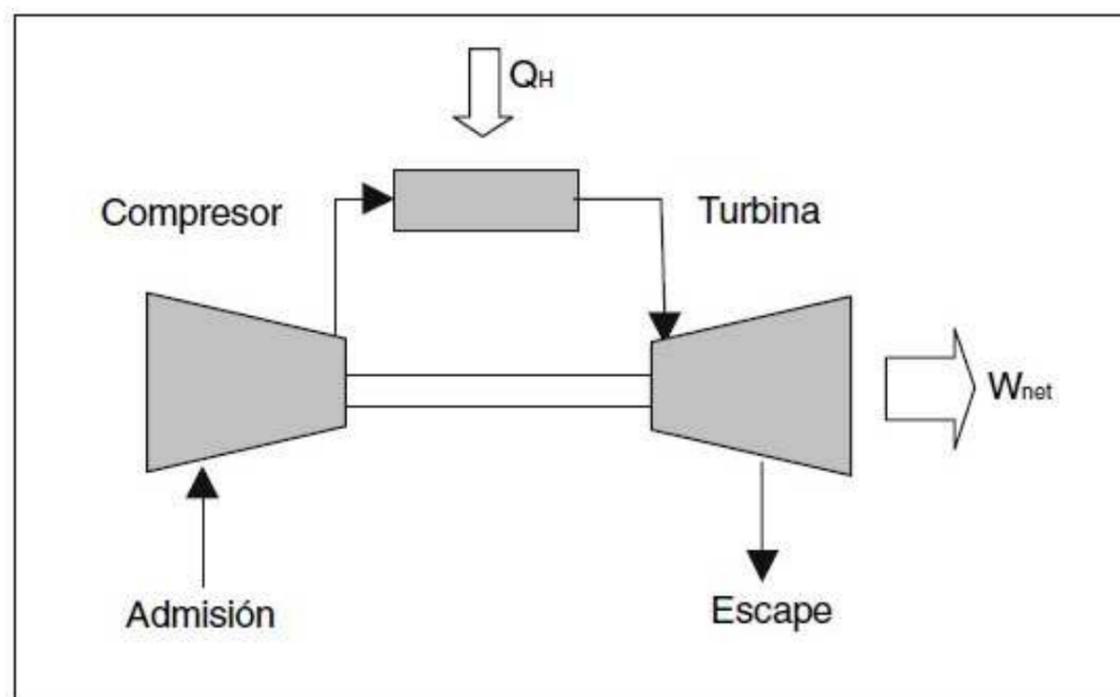


Figura 1: Turbina de Ciclo Abierto

Fuente: Alvarez Flóres, y otros, Máquinas Térmicas Motoras 2

Generalmente, en una turbina de gas de ciclo abierto; es el ciclo de mayor operatividad, ya que como se observa la figura 1; al entrar el aire a temperatura ambiente en el compresor, este eleva la presión obligando a el aire a entrar en la cámara de combustión, en donde se mezcla con el combustible y son quemados, produciendo gases los cuales ingresan a la turbina, donde se

expanden a presión atmosférica generando potencia; los gases resultantes son expulsados hacia el ambiente, creando el ciclo abierto.

2.4.2. TURBINAS DE GAS DE CICLO CERRADO

La turbina de gas de ciclo cerrado, a diferencia de la turbina de gas de ciclo abierto, tiene un cuarto proceso; la refrigeración de gases; para volver a iniciar el proceso, por este motivo no expulsa gases residuales sino que el proceso es cíclico y no existe contacto con el exterior.

El proceso inicia en el compresor con una compresión isentrópica, para que posteriormente cumpla al igual que en la turbina de gas de ciclo abierto la elevación de presión para que el gas ingrese a la cámara de combustión y en conjunto con el combustible al ser quemados y genere gases los cuales en la turbina genere una expansión isentropica, donde los gases residuales bajan a la cámara de pre refrigeración donde se produce el efecto de rechazo de calor a presión.

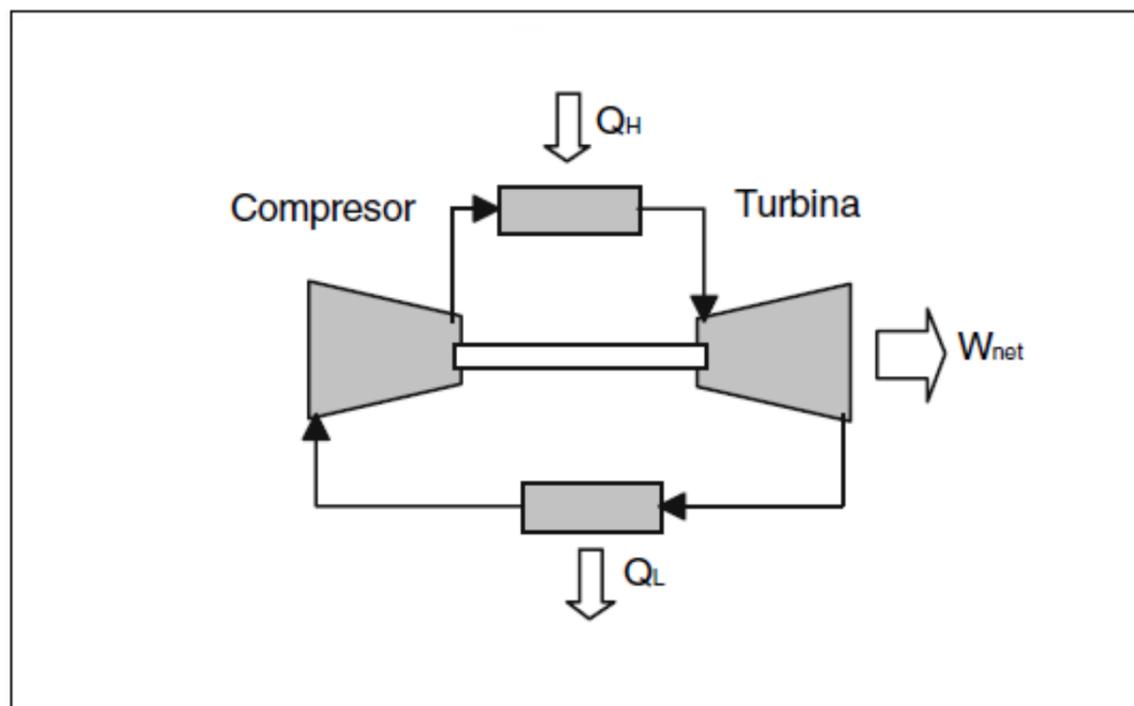


Figura 2: Turbina de Ciclo Cerrado
Fuente: Alvarez Flóres, y otros, Máquinas Térmicas Motoras 2

En este ciclo existe igualdad en los procesos de compresión y expansión, pero la cámara de combustión genera un proceso de adición de calor a presión constante de una fuente externa la cual reemplaza al proceso de combustión.

2.5. CICLO BRAYTON

Sobre el ciclo Brayton, en Tripod, se encontró lo siguiente:

“Un motor de tipo Brayton consta de tres componentes: un compresor de gas, una cámara de mezcla, un expansor.. Este también tiene tres componentes: un compresor de gas, un quemador (o cámara de combustión), una turbina de expansión. El Aire ambiente es introducido en el compresor, donde es presurizado. El aire comprimido a continuación, se conduce a través de una cámara de combustión, donde se quema combustible, calentando este aire, en un proceso presión constante, ya que la cámara está abierta a la entrada y salida de flujo. El aire caliente, presurizado, a continuación, cede su energía, al expandirse a través de una turbina. Parte del trabajo extraído por la turbina se utiliza para impulsar el compresor”⁴.

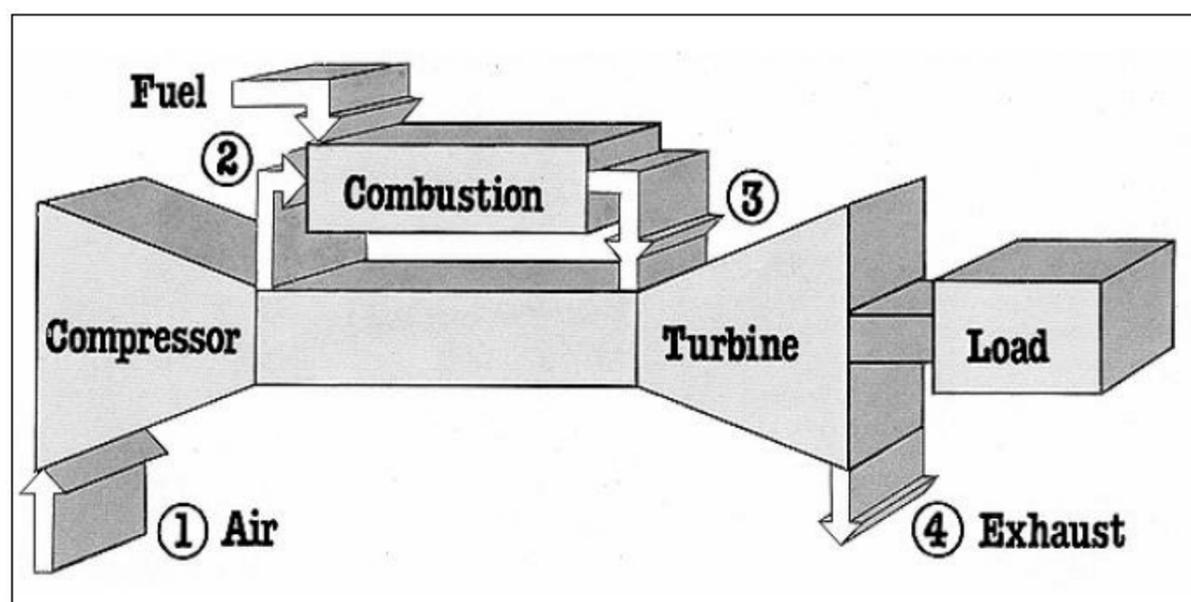


Figura 3: Ciclo de Brayton
Fuente: Félix Fernández, Ciclo de Brayton.

⁴ tripod.com/ciclo_brayton.html,(2015)

Este ciclo constituye el principio fundamental del funcionamiento óptimo de las turbinas a gas, también se llama, ciclo de potencia de Joule; en donde, el combustible y el aire comprimido son mezclados con un aumento de temperatura siendo quemados bajo condiciones de presión constante; producto de este proceso se produce gas caliente el cual se expande a través de la turbina generando trabajo o a su vez energía.

2.6. COMPONENTES DE UNA TURBINA A GAS

La turbina a gas consta de tres componentes primordiales para su funcionamiento los cuales son:

- Compresor
- Cámara de combustión
- Turbina

Los componentes de una turbina a gas, se aprecia en la siguiente figura:

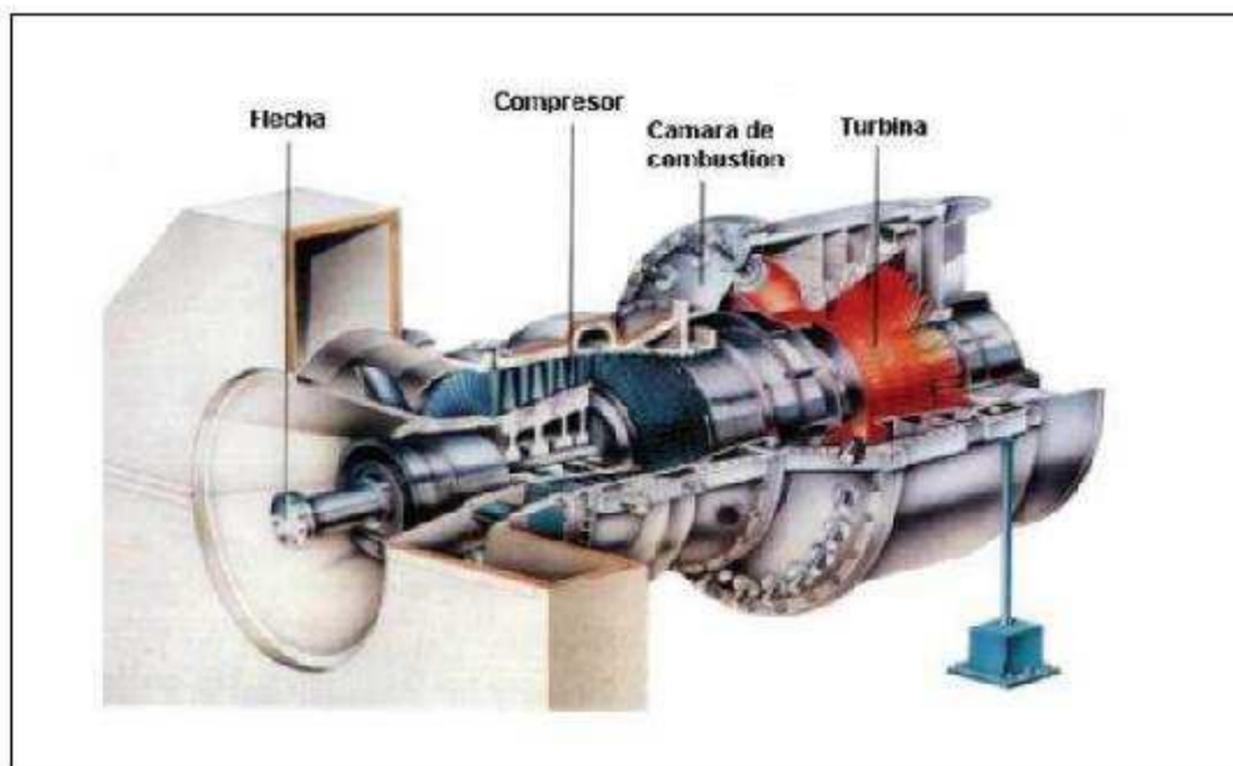


Figura 4: Componentes de una turbina a gas
Fuente: Claro Filho, y otros, Turbina a Gas

2.6.1. COMPRESOR

“El compresor es el componente encargado de comprimir el aire de entrada a la cámara de combustión⁵.” (Alvarez Flóres, y otros, 2002)

El compresor, al igual que las bombas y los ventiladores, son dispositivos que tienen como función principal, aumentar la presión del fluido; mediante el trabajo ejercido por un eje rotatorio al suministrar la presión provoca que el gas comprimido sea enviado a la cámara de combustión, para generar este proceso se puede utilizar dos tipos de compresores:

- Compresores centrífugos y
- Compresores de flujo axial.

COMPRESOR CENTRIFUGO

El compresor centrífugo, consta de una estructura exterior fija llamada carcasa la cual en su interior contiene un rodete, siendo esta, la parte primordial de compresión ya que produce esta acción al girar a grandes velocidades. Para direccionar el aire comprimido consta de conductos divergentes fijos en donde se produce la presión estática debido a la desaceleración del aire, siendo este el último proceso el cual adquiere el nombre de difusión.

⁵ (Alvarez Flóres, y otros, 2002)

Estas características, le permiten al compresor ocupar un espacio reducido y es capaz de funcionar con un buen rendimiento dentro de un amplio margen de velocidades programadas.

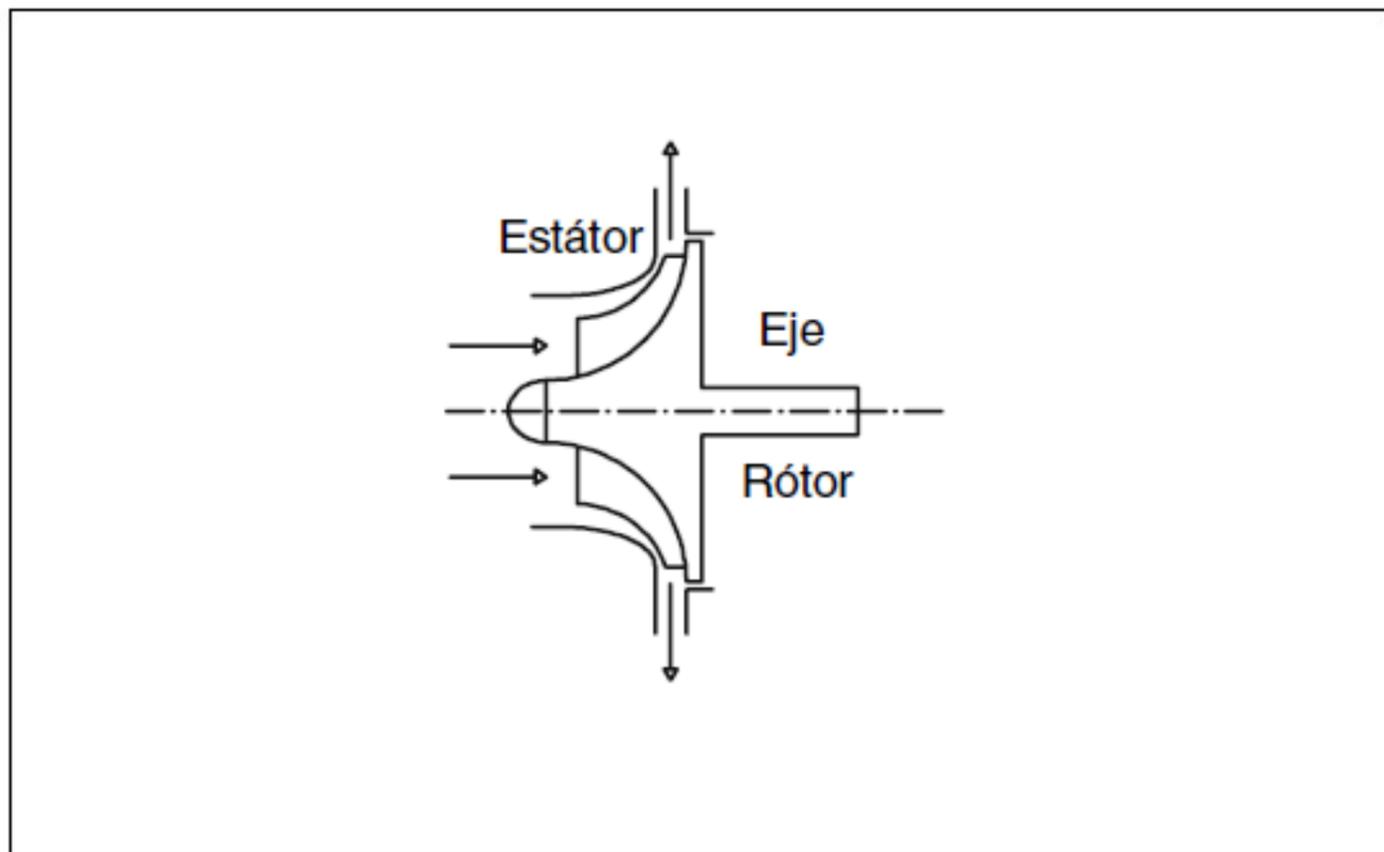


Figura 5: Compresor Centrífugo
Fuente: Alvarez Flóres, y otros. Máquinas Térmicas Motoras 2

COMPRESOR DE FLUJO AXIAL

“En el compresor axial, como su nombre lo indica, el flujo de aire es axial, o sea paralelo al eje del mismo⁶”. (Féliz Fernández, 2015)

El compresor de flujo axial, por su diseño centrífugo y el flujo paralelo de gas en el eje compresor tiene una reacción de 50%; es decir la mitad en la presión producida por las aspas del rotor y la otra mitad en las del estator.

⁶ Féliz Fernandez, 2015

El principio fundamental del compresor de flujo axial, es transformar el aumento de presión la energía cinética adquirida, mediante el proceso que realiza un fluido al pasar en forma sucesiva una serie de conductos que se van ensanchando paulatinamente provocando la disminución de velocidad de dicho fluido.

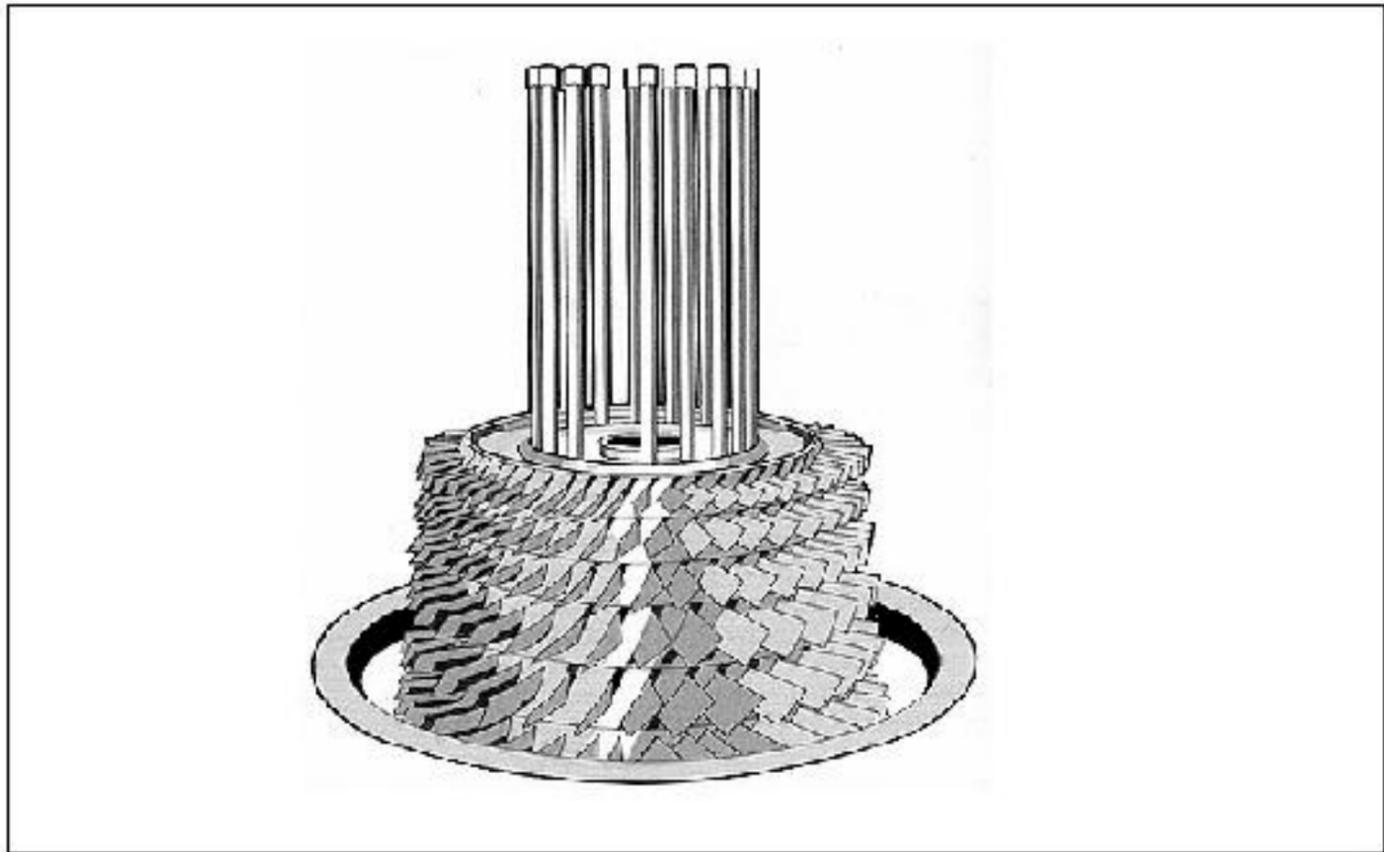


Figura 6: Compresor de Flujo Axial
Fuente: Félix Fernández, J. Ciclo de Brayton.

2.6.2. CÁMARA DE COMBUSTIÓN

La cámara de combustión, es el lugar donde se genera el proceso de combustión, la cual solo requiere una chispa eléctrica para dar inicio a su proceso y crear una llama auto sostenida. Por lo cual se debe tener en cuenta el correcto diseño el cual debe estar enfocado a soportar altas temperaturas que sobrepasen los 1000°C. Mediante recubrimientos cerámicos en su estructura, para de esta manera evitar que el calor producido afecte partes aledañas a la turbina que no cuenten con este tipo de propiedades.

La alimentación, se debe tener en cuenta el triángulo de juego, conformado por combustible, aire y chispa, ya que el aire que entra a la turbina para alimentarla es generada por el compresor; produciendo una serie de corrientes de aire emitidas para el efecto.

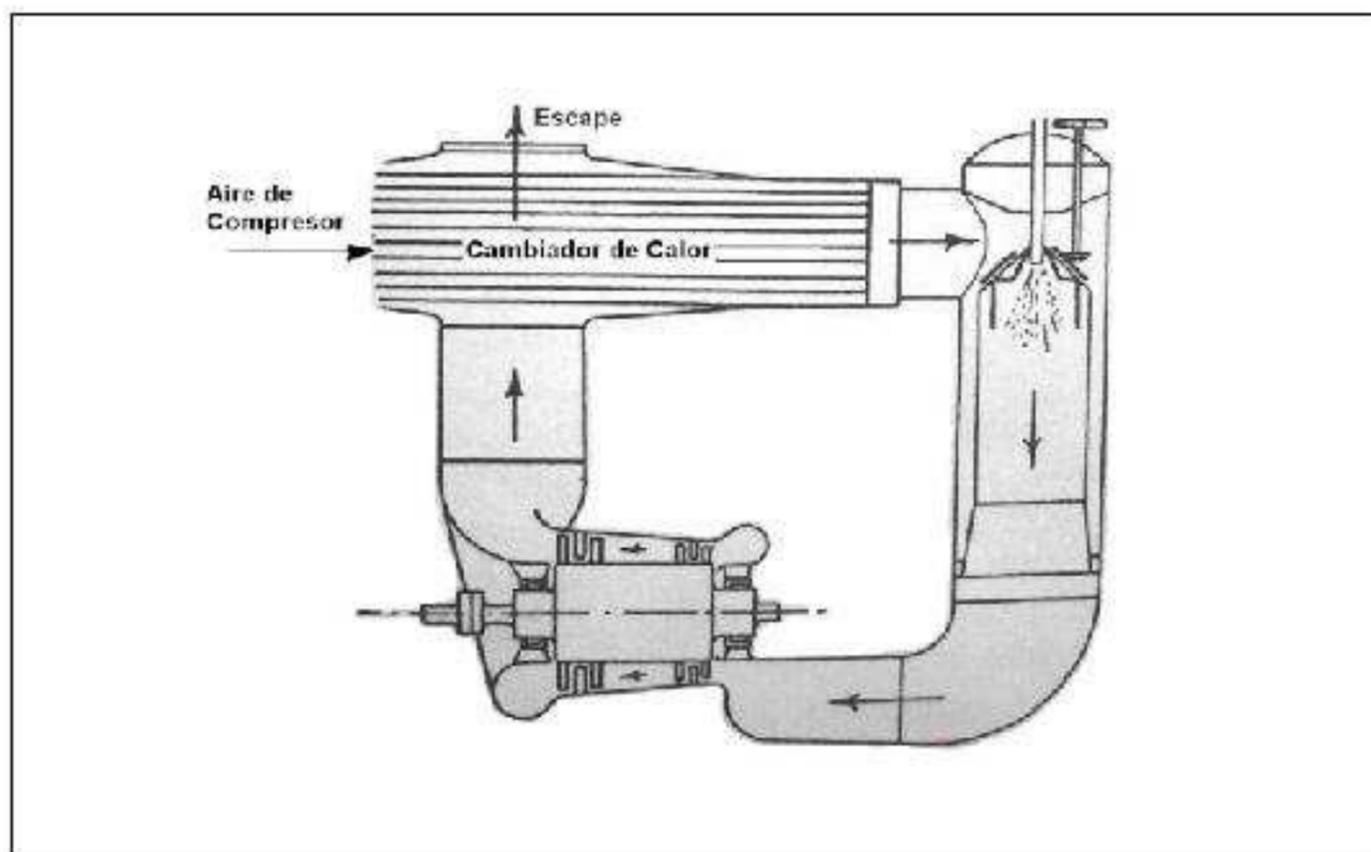


Figura 7: Cámara de Combustión
Fuente: Félix Fernández, J.

2.6.3. TURBINA

“Existe una cierta similitud entre las turbinas y los compresores utilizados en un motor de turbina a gas, pero la problemática es distinta. El fluido en un compresor avanza a contrapresión, mientras que en la turbina el gradiente de presión favorece su circulación. Este hecho comporta que el número de etapas, que como en el compresor están formadas por un miembro estacionario y otro giratorio, y las relaciones de presión por etapa

no sean las mismas. El número de etapas de una turbina para un salto de presión es menor que el del compresor.”⁷ (Alvarez Flóres, y otros, 2002)

La turbina se la puede definir como un motor cuyo funcionamiento se enfoca en la rotación de los alabes curvados que están en la estructura de una rueda, los cuales son colocados de forma que reciba el impacto de diversas corrientes de gas, vapor o agua. Los gases que ingresan a la turbina son generados por la cámara de combustión, por su diseño aprovecha la velocidad que salen los gases como energía cinética; para su posterior transformación a energía mecánica.

Las turbinas tienen su clasificación en dos tipos:

- Turbinas de flujo axial y
- Turbinas de flujo radial.

Una turbina radial tiene una gran semejanza a un compresor centrífugo, con la diferencia que el flujo está dirigido hacia adentro, provocando la generación de una serie de variantes en la estructura de la turbina y la adición de componentes internos y externos es una consecuencia que se provoca en el generador.

⁷ Álvarez Flores, y otros, 2012

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Enfoque cuantitativo

El enfoque a utilizado en el proyecto de investigación, será un enfoque cuantitativo, puesto que: “Usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010); se desarrollaron procesos rigurosos, secuenciales; que permitieron resolver los actuales problemas operacionales que presenta, el simulador de turbina a gas de doble eje; con la finalidad de determinar su estado actual y partes faltantes, previo a la adaptación con la reposición de partes nuevas; así mismo; se realizó el mantenimiento a todas las partes operacionales del simulador; convirtiéndose el simulador de turbina a gas de doble eje del laboratorio de maquinaria naval en una herramienta en la preparación académica de los guardiamarinas de la Escuela Superior Naval “Rafael Moran Valverde”; en las materias de maquinaria naval y mecánica naval.

3.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se utilizó el tipo de investigación documental / descriptiva.

Investigación documental

Inicialmente, se utilizó el tipo de investigación documental, con el motivo de obtener conceptos básicos de las partes, estructura detallada y el funcionamiento del simulador de turbina a gas de doble eje del Laboratorio de Maquinaria Naval. Posteriormente, y una vez obtenidos los fundamentos teóricos necesarios para conocer el simulador se aplicará como acción posterior un segundo tipo de investigación.

Investigación descriptiva

El tipo de investigación descriptiva permitió de forma exacta conocer cada una de las partes básicas que componen el simulador de turbina a gas de doble eje en el Laboratorio de Maquinaria Naval, determinar el estado en que se encuentran actualmente para realizar el mantenimiento y cambio de las partes defectuosas, además de describir la función básica que cumplen por medio de conceptos básicos.

3.2. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

En esta investigación se aplicó la modalidad de investigación Descriptiva; ya que: “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos,

objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.”⁸ (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010);

Con la recolección y análisis de datos e información, punto principal y esencial para efectuar una exploración inicial de planteamiento de la propuesta.

3.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo al planteamiento del problema, el proyecto de investigación que hace referencia a la formación mediante un simulador de turbina a gas del laboratorio de maquinaria naval, mediante el sistema de turbina a gas de doble eje, es fundamental en la preparación académica de los guardiamarinas de la Escuela Superior Naval “Rafael Moran Valverde”; en las materias de maquinaria naval y mecánica naval; pero su inoperatividad actual, trae como resultado que los conocimientos teóricos que reciben los guardiamarinas no están complementados con la parte práctica en el laboratorio, este trabajo seguirá los siguientes niveles de la investigación:

3.3.1. NIVEL EXPLICATIVO

En el presente proyecto de investigación se utilizó en nivel de investigación explicativa debido a que inicialmente se desarrolló una evaluación general a las

⁸ (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

principales partes del simulador, a fin de determinar las partes deterioradas y no operativas del simulador lo que conlleva a utilizar otro nivel de investigación.

3.3.2. NIVEL APLICATIVO

Se aplicó el nivel de investigación aplicativo puesto que la siguiente fase del proyecto estará enfocada al mejoramiento del simulador de turbina a gas mediante el cambio de partes defectuosas y mantenimiento de las mismas.

3.4. TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas de recolección de datos utilizados para el presente proyecto de investigación son:

La encuesta,
La observación,
Análisis de datos.

3.4.1. LA ENCUESTA

“La investigación descriptiva se soporta principalmente en técnicas como la encuesta, la entrevista, la observación y la revisión documental.

Es una de las técnicas de recolección de información más usadas, a pesar de que cada vez pierde mayor credibilidad por el sesgo de las personas encuestadas.

La encuesta se fundamenta en un cuestionario o conjunto de preguntas que se preparan con el propósito de obtener información de las personas.”⁹ (Bernal , 2010)

Para determinar la necesidad de la habilitación y repotenciación del simulador de turbina a gas de doble eje, como una herramienta importante para la preparación técnica de la brigada de guardiamarinas, durante el período de su formación académica; a los guardiamarinas, se aplicó una encuesta descriptiva, con el objetivo de descubrir la opinión de la situación actual; aplicando cinco preguntas cerradas, de manera personal a los estudiantes de la Escuela Superior Naval. (Ver ANEXO A).

3.4.2. LA OBSERVACIÓN

Se realizaron varias observaciones al simulador de Turbina a Gas de doble eje en el Laboratorio de Maquinaria Naval con el propósito de determinar el estado actual de funcionamiento, definir las partes defectuosas y faltantes para de esta manera proceder a realizar el mantenimiento y montaje de las partes en el simulador (Ver ANEXO B).

Se utilizó esta técnica de recopilación de datos, porque: “La observación, como técnica de investigación científica, es un proceso riguroso que permite conocer, de forma directa, el objeto de estudio para luego describir y analizar situaciones sobre la realidad estudiada”. (Bernal , 2010)

Los problemas a resolver en cada registro de observación realizada, detallo a continuación;

⁹ (Bernal, 2010)

- **Registro de Observación No. 01**, Observación de la operatividad de solenoides y sistema eléctrico del simulador de turbina a gas de doble eje, para la reconstrucción e implementación de partes defectuosas del mismo.
- **Registro de Observación No. 02**, Observación del sistema de refrigeración que se encuentra inoperativo; debido a partes faltantes y destrucción del mismo.

- **Registro de Observación No. 03**, Observación del sistema de lubricación, que presenta goteo y fuga de aceite.

- **Registro de Observación No. 04**, Observación del sistema de compresión, debido a que presenta partes faltantes e inoperatividad.

- **Registro de Observación No. 05**, Observación del sistema de bandas compresión, debido a que presenta rupturas y daños físicos.

3.4.2. ANÁLISIS DE DATOS

Al realizar la revisión de los syllabus de las materias de maquinaria naval I, maquinaria naval II y Maquinaria Naval III (VER ANEXO 7) obteniendo como se encontró que las materias tienen como objetivo principal la explicación de los principios básicos que rigen el funcionamiento, operación y mantenimiento de la planta de propulsión en los buques de la Armada, función, características, elementos y parámetros de control a bordo.

El simulador de turbina a gas también pueda contribuir de una manera efectiva en unidades como fundamentos termodinámicos, turbinas a gas, ciclos de vapor, motores de combustión interna, control mantenimiento de motores de combustión interna, válvulas y bombas intercambiadores de calor, lo que permite la formación profesional en una amplia serie de conocimientos específicos para su desempeño eficiente como oficial de marina en departamentos como ingeniería y control de averías.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

Para el presente análisis del proyecto de investigación, constituyen los estudiantes de la ESSUNA; la población y muestra; objeto de estudio está comprendido por un universo compuesto de 33 guardiamarinas de cuarto año, los cuales serán encuestados para determinar el grado de importancia sobre la habilitación del simulador de turbina a gas de doble eje, contribuirá como una herramienta importante para la preparación técnica de la brigada de guardiamarinas, durante el período de su formación académica.

3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1. LA ENCUESTA

Mediante la encuesta realizada a los guardiamarinas, la cual se detalla en el Anexo A, y consta de cinco preguntas, se logró determinar la importancia de la existencia de un simulador de turbina a gas operativo en el laboratorio de maquinaria naval; los resultados fueron procesados en gráficos y tablas de las mismas.

PREGUNTA 1

- ¿Conoce usted lo que es una turbina a gas?

Tabla 2:
Conocimiento sobre una turbina a gas

	Frecuencia	Porcentaje
SI	28	84,85
NO	5	15,15
TOTAL	33	100,00

Fuente: Encuesta a Guardiamarinas de Cuarto Año

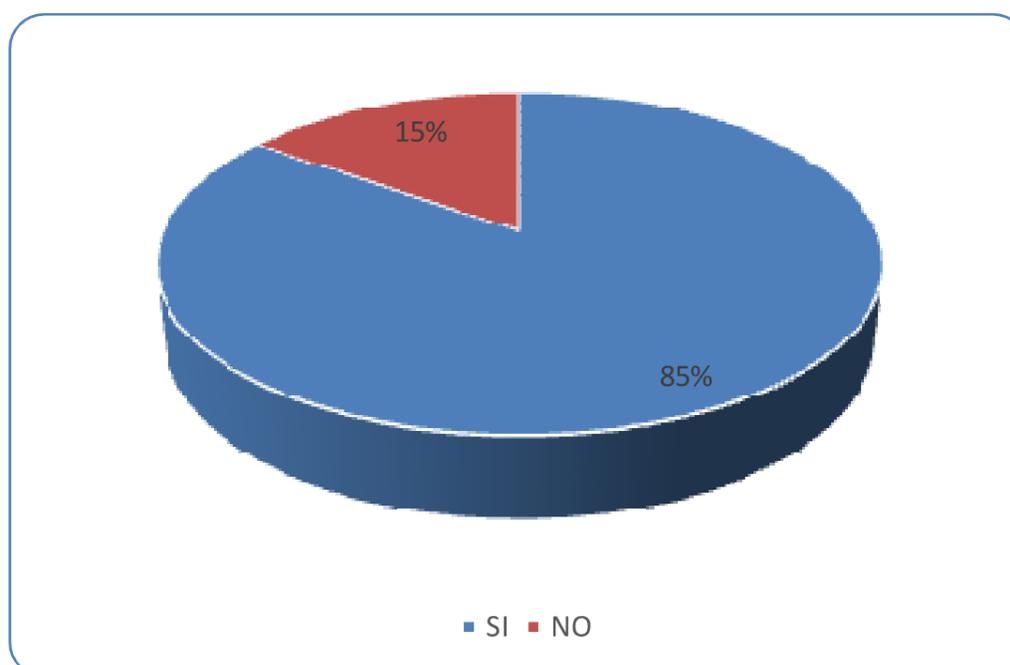


Figura 8: Conocimiento sobre una turbina a gas
Fuente: Encuesta a Guardiamarinas de Cuarto Año

ANÁLISIS

Del 100% de los estudiantes encuestados, un 84,85% conocen sobre que es una turbina a gas, el 15,15% desconocen; esto se justifica por los conocimientos teóricos impartidos en las asignaturas de Maquinaria Naval y Mecánica Básica. Adicionalmente, se puede concluir que la problemática, no se deriva de conocimientos teóricos sino más bien de los conocimientos prácticos.

PREGUNTA 2

- ¿Cree que tiene aplicación en nuestra fuerza naval?

Tabla 3:
Aplicación en nuestra fuerza naval

	Frecuencia	Porcentaje
SI	24	72,73
NO	9	27,27
TOTAL	33	100,00

Fuente: Encuesta a Guardiamarinas de Cuarto Año

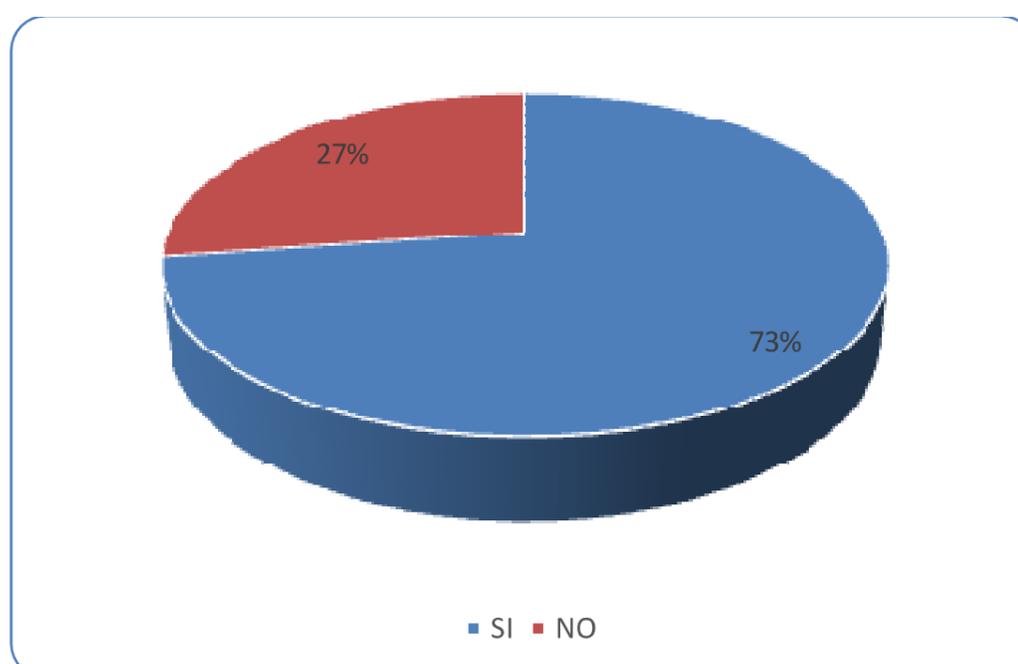


Figura 9: Tiene aplicación en nuestra fuerza naval
Fuente: Encuesta a Guardiamarinas de Cuarto Año

ANÁLISIS

Del 100% de los estudiantes encuestados, un 72,73% consideran que las turbinas a gas tienen aplicación en nuestra fuerza naval, el 27,27% consideran que no la tienen; los resultados muestran claramente que en un gran porcentaje está de acuerdo con la aplicación de turbinas a gas, siendo necesario la habilitación del simulador de turbina a gas en el laboratorio de maquinaria naval; como una herramienta en el proceso de formación de los guardiamarinas.

PREGUNTA 3

- ¿Cree usted que debe existir como ayuda didáctica en el laboratorio de maquinaria naval un simulador de turbina a gas funcional?

Tabla 4:
El simulador es ayuda didáctica.

	Frecuencia	Porcentaje
SI	24	72,73
NO	9	27,27
TOTAL	33	100,00

Fuente: Encuesta a Guardiamarinas de Cuarto Año

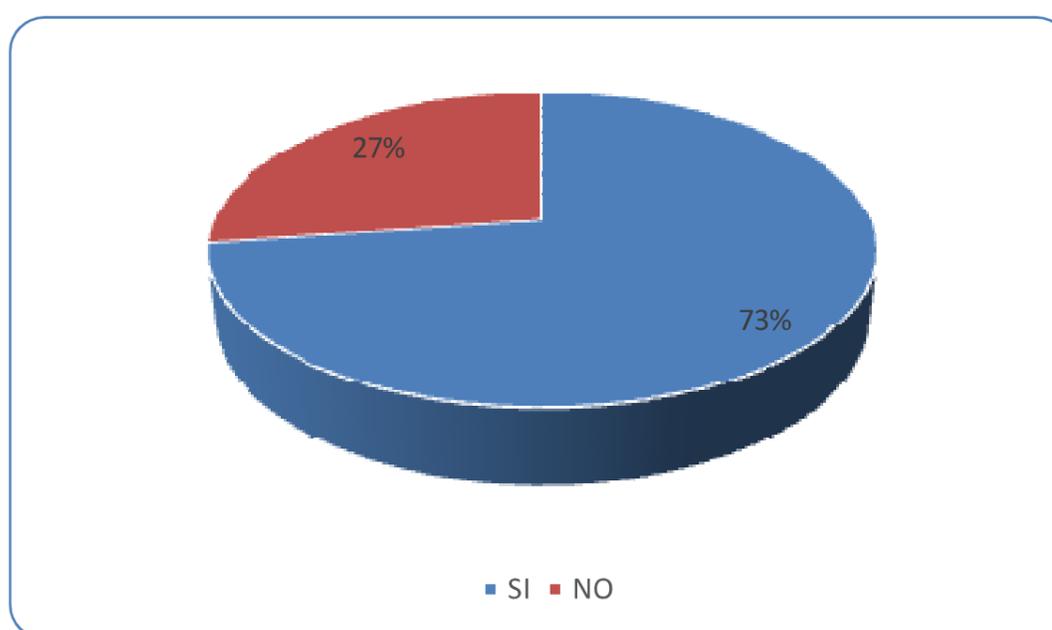


Figura 10: El simulador es ayuda didáctica?
Fuente: Encuesta a Guardiamarinas de Cuarto Año

ANÁLISIS

Del 100% de los estudiantes encuestados, un 72,73% exponen la necesidad de tener el simulador de turbina a gas de doble eje habilitado como herramienta didáctica, el 27,27% consideran que no; según los resultados obtenidos en la encuesta, el simulador de turbina a gas permitirá en el proceso de formación de los guardiamarinas consolidar los conocimientos adquiridos en forma teórica y conjugarlos con la práctica.

PREGUNTA 4

- Es de conocimiento público que la transportación acuática en el futuro tendrá que ver con las turbinas a gas. ¿Cree usted que el simulador de turbina a gas aportara a la formación del futuro oficial de marina?

Tabla 5:

El simulador aporta en la formación de los guardiamarinas

	Frecuencia	Porcentaje
SI	27	81,82
NO	6	18,18
TOTAL	33	100,00

Fuente: Encuesta a Guardiamarinas de Cuarto Año

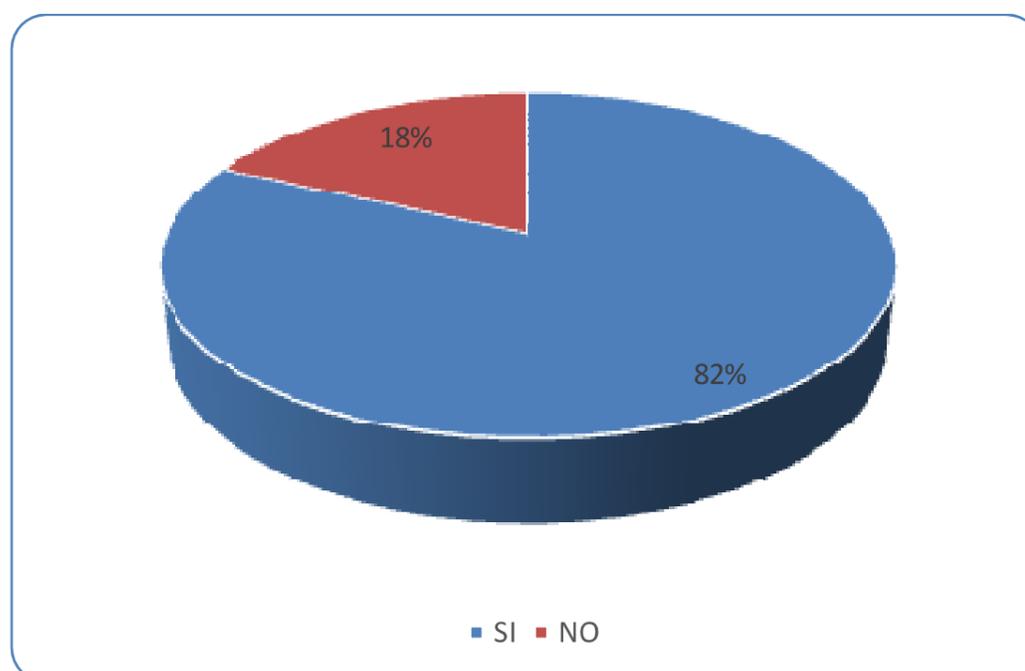


Figura 11: El simulador aporta en la formación de los guardiamarinas

Fuente: Encuesta a Guardiamarinas de Cuarto Año

ANÁLISIS

Del 100% de los estudiantes encuestados, un 81,82% consideran que el simulador de turbina a gas aportará en la formación de los guardiamarinas, el 18,18% consideran que no; con lo que se consolida y se evidencia la importancia del proyecto de investigación.

PREGUNTA 5

- ¿Conoce usted que los productos de la combustión podrían generar fluido eléctrico?

Tabla 6:

Productos de combustión podrían generar fluido eléctrico

	Frecuencia	Porcentaje
SI	29	87,88
NO	4	12,12
TOTAL	33	100,00

Fuente: Encuesta a Guardiamarinas de Cuarto Año

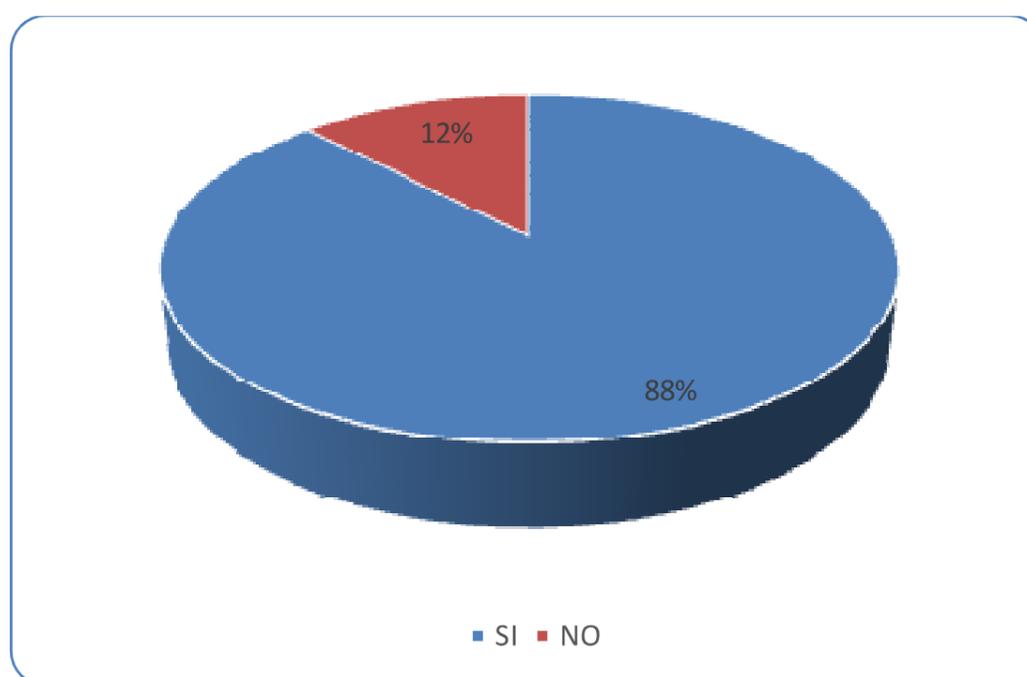


Figura 12: Productos de combustión podrían generar fluido eléctrico

Fuente: Encuesta a Guardiamarinas de Cuarto Año

ANÁLISIS

Se determinó que gran parte de los estudiantes, el 87,88%, conocen sobre el tema, esto se justifica por los conocimientos teóricos impartidos en las asignaturas de Maquinaria Naval y Mecánica Básica.

3.6.2. LA OBSERVACIÓN.

Con las observaciones realizadas; se logró determinar que más del 50% del simulador de turbina se encontraba en condiciones deplorables, presentando fallas en los sistemas mecánicos y eléctricos debido al deterioro y falta de piezas importantes para su funcionamiento.

Lo observado, impide que el simulador de turbina a gas de doble eje, sea aprovechado como una herramienta didáctica en el proceso de formación de los guardiamarinas; y como consecuencia de esto; la brigada de guardiamarinas carecen de conocimientos técnicos - prácticos sobre los temas de:

- Turbinas a gas y
- Generación eléctrica por combustión de gases.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

4.1. TITULO DE LA PROPUESTA

PROPUESTA PARA LA HABILITACIÓN EL SIMULADOR DE TURBINA A GAS A TRAVEZ DE LA RENOVACIÓN Y ADAPTACIÓN DE ELEMENTOS MECANICOS Y ELECTRICOS CON EL FIN DE APORTAR UNA HERRAMIENTA QUE CONTRIBUYA A LA FORMACION PROFECIONAL DE LOS GUARDIAMARINAS.

4.2. DATOS INFORMATIVOS

4.2.1. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Teniendo como antecedente, que el Simulador de Turbina a Gas de doble eje, existente en el laboratorio de maquinaria naval, durante el transcurso de los últimos cuatro años de formación, se ha encontrado inoperativo; debido a que no existieron los recursos, ni conocimientos necesarios para lograr habilitar el equipo; generando un vacío práctico, técnico y pedagógico en el proceso de formación de los guardiamarinas, en la materia de maquinaria naval 3.

El simulador al inicio del proyecto de investigación se encuentra inoperativo debido fundamentalmente a la falta de mantenimiento, falla en los sistemas, debido fundamentalmente, por piezas faltantes en el sistema de lubricación, sistema de enfriamiento, sistema de aire en el turbo compresor y solenoides; y en el sistema eléctrico principal.

4.2.2. JUSTIFICACIÓN

Un simulador de turbina a gas de doble eje, permite realizar ensayos y demostraciones, con la finalidad de que los estudiantes de la Escuela Superior Naval, se familiaricen con las características típicas, el comportamiento en situaciones críticas, su funcionamiento y aplicaciones.

Actualmente, en la sección principal del Laboratorio de Maquinaria Naval de la ESSUNA; se encuentra resaltando entre todos los simuladores el simulador de Turbina a Gas de doble eje, este simulador se encuentra inoperativo, razón por la cual no permite impartir la materia de maquinaria naval 3, en lo que se refiere a la unidad de turbinas navales.

Al realizar la habilitación del simulador de turbina a gas de doble eje en el laboratorio de maquinaria naval, se obtendrá una excelente herramienta didáctica y pedagógica con la cual a los estudiantes les permitirá obtener resultados de las pruebas y realizar comprobaciones de los principios de combustión para la generación eléctrica.

4.3. OBJETIVOS

El objetivo principal de la propuesta es aportar en el proceso de formación de los guardiamarinas de la Escuela Superior Naval “Rafael Morán Valverde” a través de la habilitación del simulador de la turbina a gas en el laboratorio de maquinaria naval por medio de la identificación de la situación actual, ejecución del mantenimiento, y la implementación física del sistema mecánico y eléctrico.

Adicionalmente, el simulador de turbina a gas de doble eje, contribuya en el aprendizaje e instrucción práctica de los Guardiamarinas; los cuales una vez

recibida la instrucción teórica en el aula procederán a la a realizar la parte práctica en el Laboratorio de Maquinaria Naval y de esta manera adquirir destrezas y habilidades necesarias con las turbinas de gas.

4.4. FUNDAMENTACIÓN PROPUESTA

Para el cumplimiento de la presente propuesta, se aplicará los fundamentos, teorías y sistemas tales como:

- Principio de Brayton
- Sistemas de enfriamiento
- Combustión de gases
- Sistemas de lubricación
- Leyes de los gases
- Poleas y tensores.

Los cuales ayudarán de forma efectiva a realizar el correcto mantenimiento de la turbina a gas, la detección de sus partes defectuosas e instalación de nuevas partes, además se podrá realizar varios experimentos y prácticas, como por ejemplo:

- Determinar el rendimiento de una unidad simulada de un eje
- Medir el rendimiento de una unidad de un eje con carga de boquilla simulada.
- Determinar el rendimiento de una unidad de doble eje.
- Determinar las características de componentes individuales.
- Determinar las características de cámara de combustión.
- Determinar las características de la turbina a gas.

- Medir el rendimiento eléctrico por medio de combustión de gases.
- Medir las temperaturas de combustión, presión de gases
- Comprobar los principios y leyes termodinámicos.

De esta manera se contribuirá de una manera eficiente en el aprendizaje de nuevos conocimientos que contribuirán al desarrollo integral - profesional del futuro oficial de marina.

4.5. DISEÑO DE LA PROPUESTA

El diseño de la propuesta; a fin de alcanzar el objetivo deseado para el presente proyecto de investigación se detalla a continuación:

- Inspección Técnica
- Mantenimiento
- Montaje de partes
- Pruebas
- Funcionamiento operacional
- Conservación y Mantenimiento

4.5.1. INSPECCIÓN TÉCNICA

Se realizó la inspección técnica inicial, la determinó el estado actual del simulador de turbina a gas de doble eje, actividad que proyecta los procesos siguientes a ejecutar. Al realizar la inspección técnica del simulador de turbina a gas de doble eje, se determinó que contaba con los siguientes elementos:

- Turbo generador,

- Sistema de enfriamiento,
- Sistema de lubricación
- Compresor montado; el cuales se encontraba desconectado.

Se aprecia el estado inicial del simulador de turbina a gas de doble eje, en donde no existían partes completas, existían partes faltantes y existían partes defectuosas, tal como se muestra en siguiente Figura:



Figura 13: Simulador de turbina a gas en estado inicial.

Además, se observa, que parte del sistema eléctrico, como la fuente de poder principal no existía, otras se encontraban en mal estado y otras descontinuadas, esto se puede evidenciar en la siguiente figura.



Figura 14: Partes afectadas por oxidación

Se aprecia en la siguiente figura, como el sistema de enfriamiento carece de tuberías y existe oxido tanto en la entrada como en la salida de agua, también se observa que se encuentran tapadas las tuberías, esto, afecta directamente el proceso de lubricación; debido a que este sistema enfría el aceite que circula al momento que la turbina se encuentra operando.



Figura 15: Estado inicial del sistema de enfriamiento

En la figura siguiente, se puede apreciar el compresor de aire el cual se encuentra inoperativo, debido a que la carece de la banda que produce el funcionamiento de la polea; adicionalmente, el templador hidráulico se encuentra defectuoso, en proceso de oxidación, pintura deteriorada y en mal estado.



Figura 16: Templador hidráulico

Se observa que otras piezas y partes importantes del simulador de turbina a gas de doble eje, se encuentran deterioradas, como la entrada de gas, partes del sistema de lubricación, el cual presenta una fuga de aceite lo que impide obtener la presión requerida durante el ciclo de retorno y provoque fuga del mismo; como se lo puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 17: Sistema de lubricación

4.5.2. MANTENIMIENTO

Para habilitar el simulador de turbina a gas de doble eje, como parte inicial del mantenimiento se procedió retirar el óxido que se encontraba en toda la estructura y el marco del simulador, mediante la utilización de lija, antioxidante y diluyente; se puede apreciar el proceso realizado en la siguiente figura:



Figura 18: Retiro de óxido y renovación de piezas

Luego de retirar todo tipo de óxido, con la finalidad que la pintura se mantenga en óptimas condiciones, se procedió a cubrir las partes y la estructura del simulador de turbina a gas de doble eje con diésel y/o gasolina, esto permite eliminar pequeñas impurezas residuales, como se puede observar en la siguiente figura:



Figura 19: Limpieza de marco del simulador

Con el objeto que las bandas que utiliza el simulador de turbina a gas de doble eje, se deslicen con facilidad y se recompense el aumento en el diámetro de la banda, se elaboraron y colocaron dos tensores, como se puede observar en la siguiente figura en donde la elaboración a medida de las bases para la colocación de los tensores.



Figura 20: Elaboración de tensores de banda

Luego, se procedió a dar mantenimiento a las conexiones de cada uno de los componentes del simulador; se observa en la figura la conexión de los terminales del turbogenerador.



Figura 21: Conexiones de cableado al turbogenerador.

Finalmente, para preservar los componentes del simulador de turbina a gas de doble eje; mediante la utilización de pintura anti corrosiva; se procedió a pintar todo el simulador; excepto la sección de la chimenea y la cámara de combustión, esto debido al calor que se genera al momento de estar en funcionamiento; en estas secciones se utilizó pintura de aluminio para altas temperaturas.

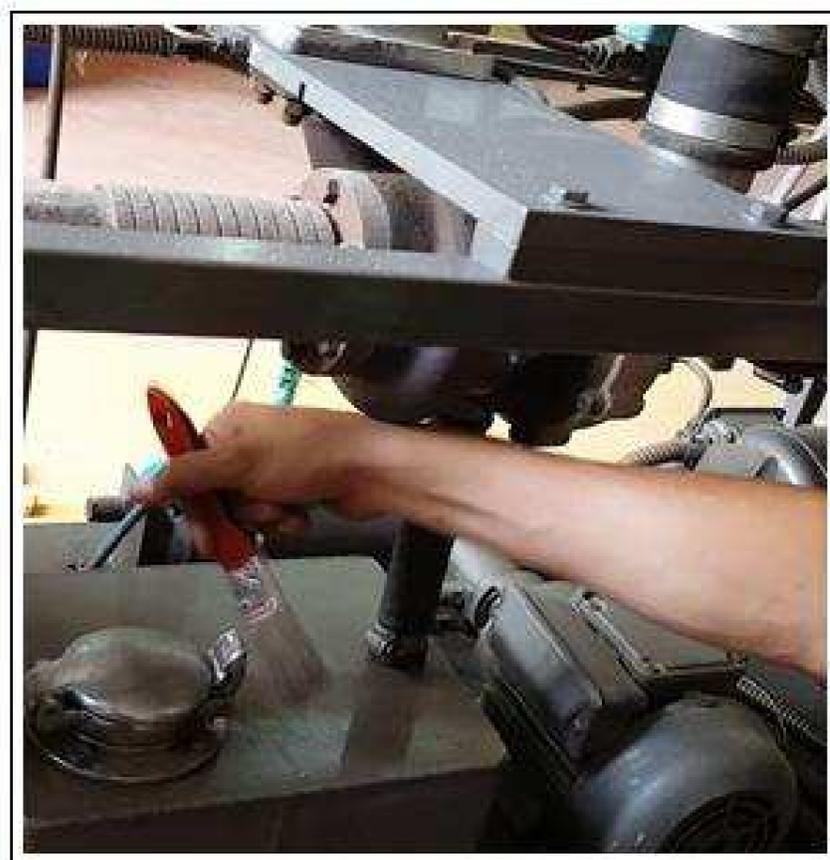


Figura 22: Renovación de pintura en el del simulador

4.5.3. MONTAJE DE PARTES

Para realizar la comprobación del estado funcional de cada uno de los sistemas que conforman el simulador de turbina de gas de doble eje se procedió al cambio e instalación del fusible eléctrico y bujías, esto se puede observar en la siguiente figura:



Figura 23: Colocación de bujía

Se instaló una manguera de 12mm de diámetro por 8m de largo, la cual en su terminal está conectada a un cilindro de gas industrial, esto con la finalidad de proveer al simulador de turbina a gas de doble eje el componente principal que generara la corriente eléctrica, esto se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 24: Instalación de manguera en entrada de gas.

Posteriormente, se procedió a dar mantenimiento al sistema de enfriamiento por agua que posee el simulador de turbina a gas de doble eje; al cual se instaló dos adaptaciones de entrada y salida de fluidos los cuales fueron conectados a mangueras de 12 mm como se observa en la figura.

Se debe tener en consideración de que una vez que al agua cumpla su función de enfriar el aceite procederá a expandirse motivo por el cual la tubería de salida debe tener un mayor caudal que la tubería de entrada.



Figura 25: Habilitación del sistema de enfriamiento

Una vez colocadas las entradas de gas y habilitado en sistema de enfriamiento, se procedió a instalar el transformador de corriente; La siguiente figura muestra la fijación del transformador tomando en cuenta la posición un poco alejada del turbo compresor debido al calor que allí se genera.



Figura 26: Fijación del transformador

Con el transformador fijo, se procedió a montar el turbo generador con la polea; una vez montado se realizó el alineamiento de la polea y aseguramiento del turbogenerador como se lo puede observar en la figura.



Figura 27: Montaje de turbo-generador

Al concluir con este proceso, se procedió a la colocación de las bandas.



Figura 28: Montaje de bandas y tensores de banda

Las bandas presentaron un diámetro mayor de 1cm razón por la cual se instaló los tensores de bandas que cumplían la función de recompensar el centímetro en exceso como se lo puede observar en la siguiente figura:



Figura 29: Comprobación del funcionamiento de bandas

4.5.4. PRUEBAS REALIZADAS

Durante los procesos de mantenimiento y montaje de partes realizado al simulador de turbina a gas de doble eje, se realizaron las siguientes pruebas:

PRIMERA PRUEBA

La primera prueba, el simulador de turbina a gas contaba ya con un sistema eléctrico operativo y se necesitaba comprobar si la bujía cumplía su función de generación de chispa para encender el tablero principal de la turbina; en vista de que no sucedió lo esperado; se realizó una verificación eléctrica, para lo cual, se cambió la bujía la cual no encajaba de manera adecuada; se solventó el inconveniente mediante la utilización de pegamento rally para mantenerla en

su lugar comprobando la operatividad del tablero principal del simulador de turbina a gas de doble eje.



Figura 30: Sistema de ignición con bujía

SEGUNDA PRUEBA

Se colocaron las bandas, tanto del compresor, como del turbogenerador; se incorporaron tensores de bandas; al momento de poner en marcha el compresor el sistema producía un ruido exagerado; con esto se pudo comprobar que el templador hidráulico se encontraba descalabrado, razón por la cual, fue necesario realizar el mantenimiento a los componentes del compresor y equilibrar los ejes y resortes para de esta manera eliminar el ruido (ver la Figura).

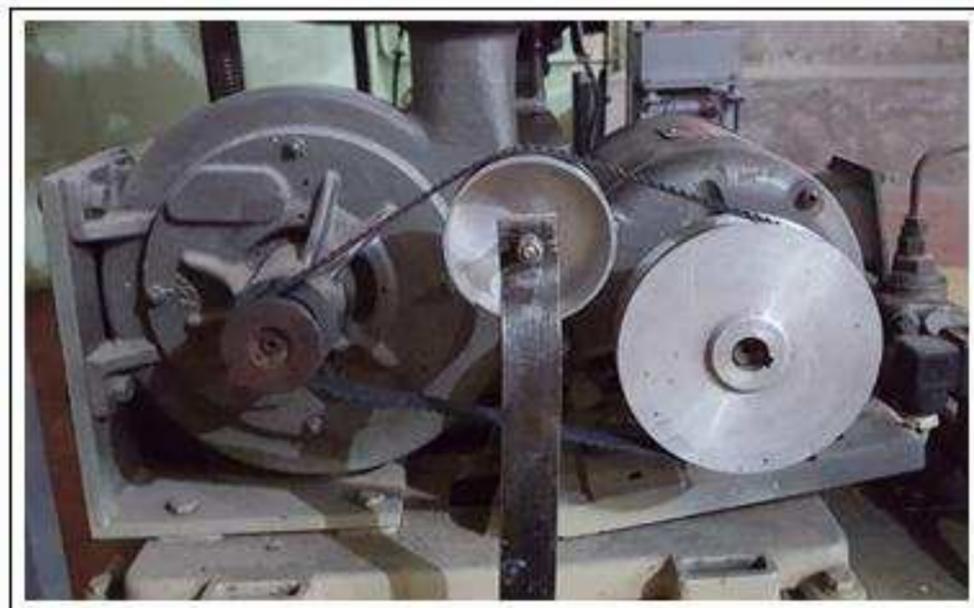


Figura 31: Incorporación de tensores de banda

TERCERA PRUEBA

Con el correcto funcionamiento de los sistemas de lubricación, sistema de enfriamiento y el compresor; se procedió con el encendido del turbogenerador; al momento de encenderlo se encontró que el reóstato presentaba una falla debido a que el dinamómetro se encontraba averiado. (Ver figura)



Figura 32: Reconstrucción de dinamómetro y rotor

Al final de esta prueba se reparó el dinamómetro soldando la pieza faltante en el reóstato y lijado de los anillos del reóstato para generar contacto.

CUARTA PRUEBA

Con las fallas encontradas en las pruebas realizadas y luego solucionarlas, se procedió a encender el turbogenerador liberando cantidades mínimas combustible, para ver si existía fuga de gas y para comprobar la correcta operación de los instrumentos encontrados en el panel de control, el cual presentaba un voltímetro que se encontraba fuera de uso debido a que había sido desconectado y se soluciona problemas de ruido. (Ver figura)

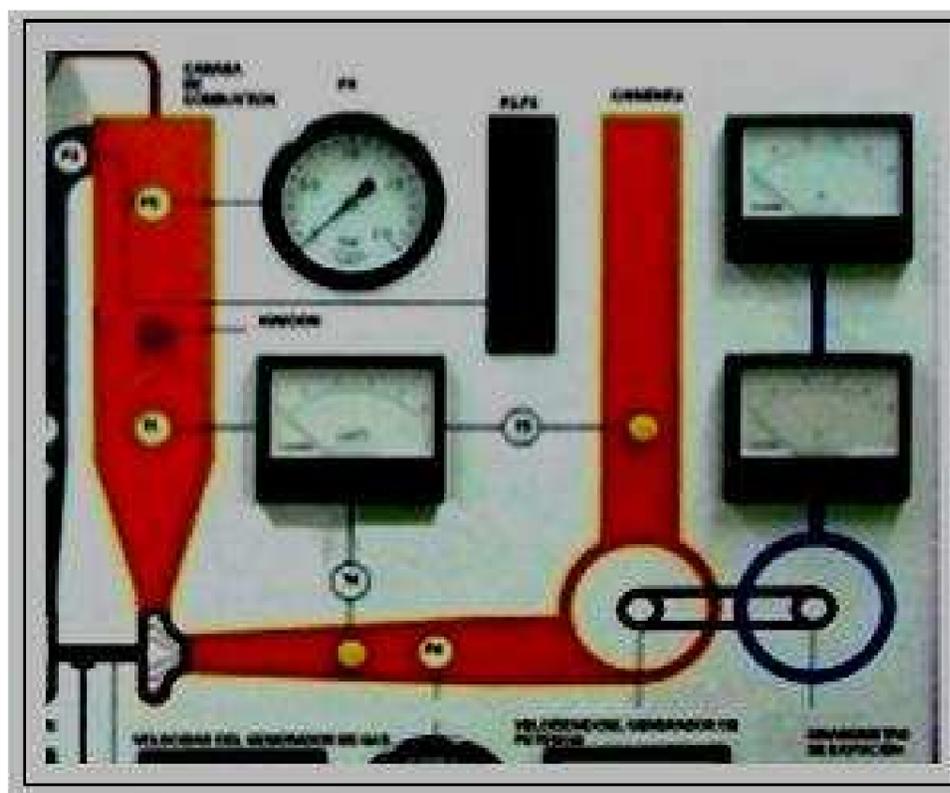


Figura 33: Control de encendido del turbo - generador

QUINTA PRUEBA

Esta prueba, constituye la prueba final, en la cual; primero se puso en funcionamiento el poder eléctrico de la turbina energizando el soplador; el aire que entra es direccionado por una válvula de dos posiciones que se encuentra en el tablero principal, en la primera posición, al momento que el aire hace su recorrido del compresor al turbogenerador se suministra el gas, que servirá como combustible para la ignición en la cámara de combustión.

La cual es generada por medio de una chispa; de esta manera los gases provocan movimiento en la turbina de trabajo la cual se direcciona a la turbina de potencia generando poder eléctrico, los gases residuales se eliminan por la chimenea. (Ver figura)

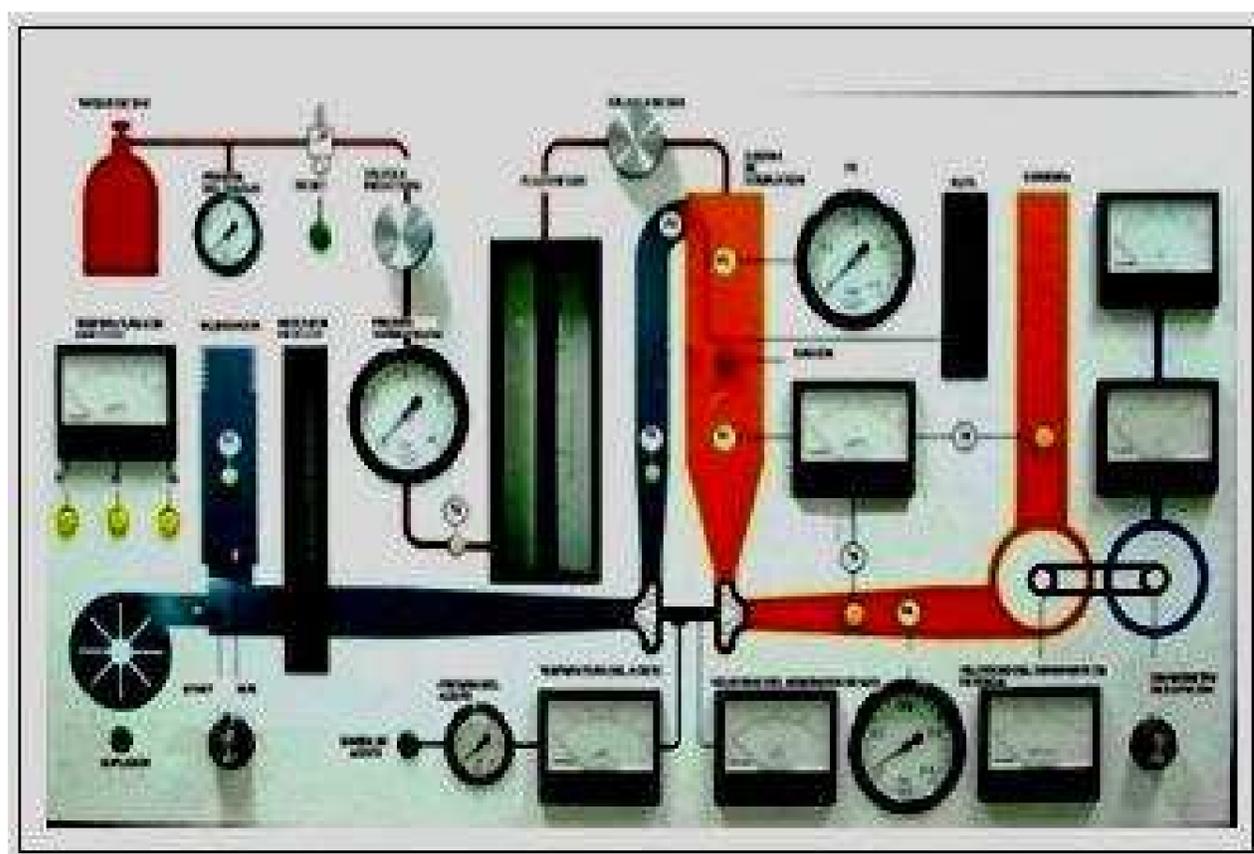


Figura 34: Tablero principal del simulador

4.5.5. SECCIONAMIENTO

Distribución de las partes y sistemas de la turbina a gas.

Se extrajeron imágenes de las diferentes partes con las que cuenta la turbina; para que de esta manera, facilitar el aprendizaje del simulador de turbina a gas y saber la localización exacta de cada una de las partes, como se puede apreciar en la siguiente figura:

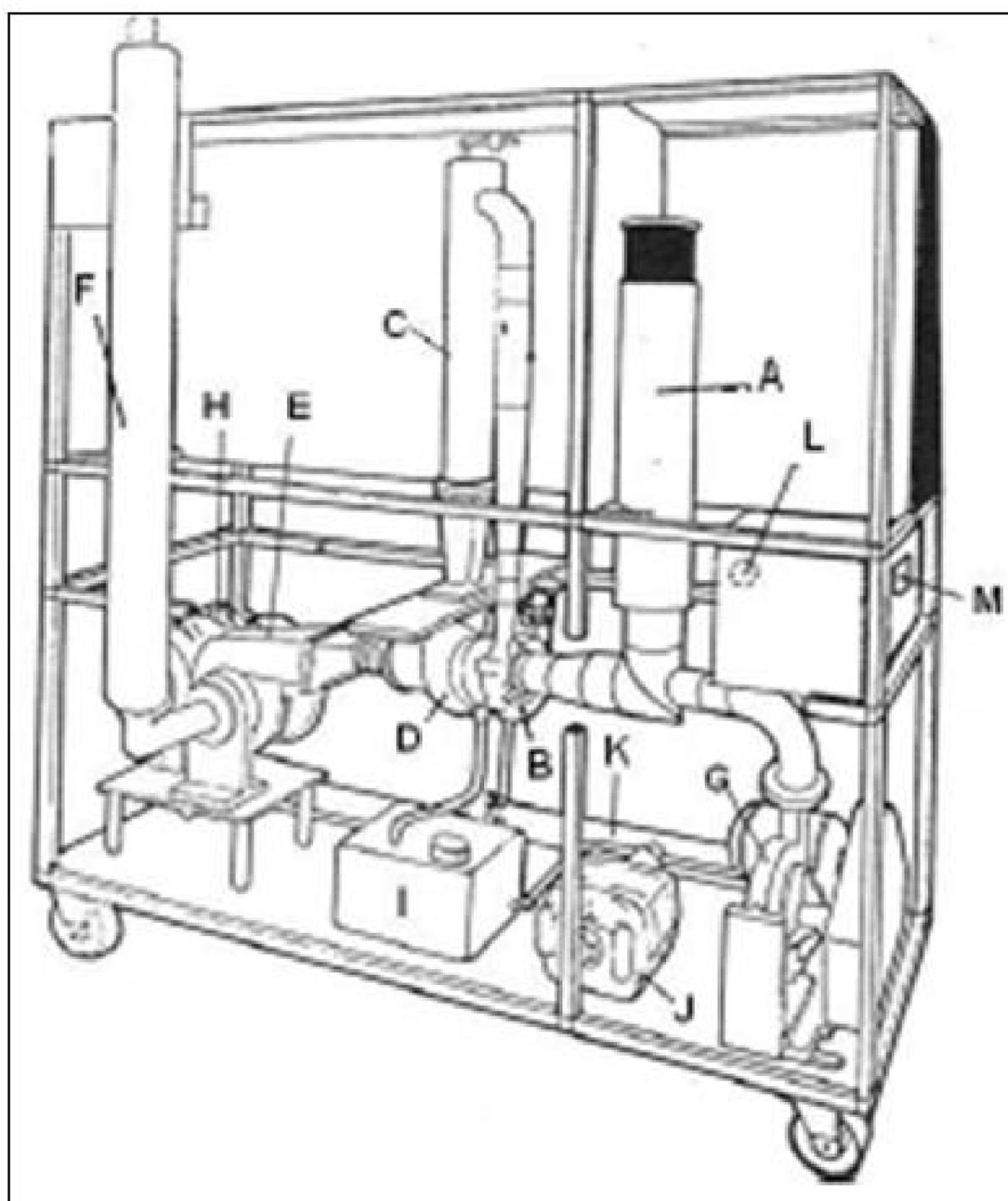


Figura 35: Seccionamiento del simulador de turbina a gas
Fuente: Manual Cusson Technology

En la siguiente Tabla, se muestra la distribución de las diferentes partes del simulador de turbina a gas, de acuerdo con la Figura anterior.

Tabla 7:
Seccionamiento del simulador de turbina a gas

Indicador	Descripción
A	Silenciador de aire de admisión
B	Compresor
C	Cámara de combustión
D	Turbina de trabajo
E	Turbina de potencia
F	Silenciador de gas de combustión
G	Soplador
H	Dinamómetro o generador
I	Tanque de aceite
J	Bombas de aceite
K	Sistema de enfriamiento
L	Entrada eléctrica
M	Protección de temperatura

Distribución de suministros principales de la turbina a gas.

Los principales sistemas son la parte fundamental la cual le dan en correcto funcionamiento al simulador de turbina a gas, como se lo puede ver en la siguiente Figura.

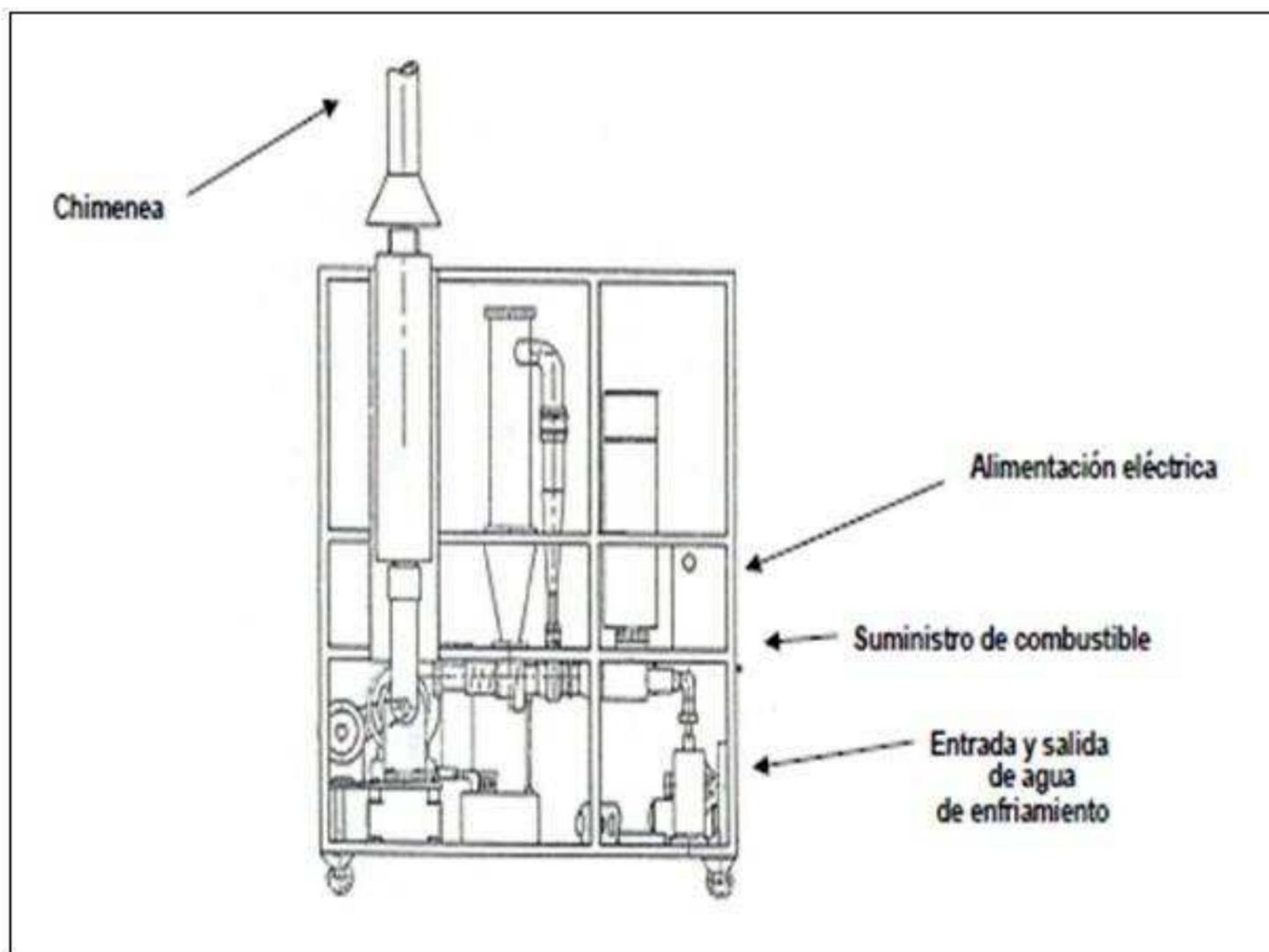


Figura 36: Seccionamiento de suministros del simulador de turbina a gas
Fuente: Manual Cusson Technology

En la siguiente Tabla, se muestra cómo va orientada la ubicación de los suministros principales de acuerdo a la figura anterior.

Tabla 8:
 Seccionamiento de suministros del simulador de turbina a gas

Lado	Descripción
Izquierdo	Chimenea
Derecho	Alimentación eléctrica
Derecho	Suministro de gas(combustible)
Derecho	Entrada y salida de agua de enfriamiento

Sistemas de enfriamiento y lubricación.

La figura indica la distribución del sistema de enfriamiento y el sistema de lubricación.

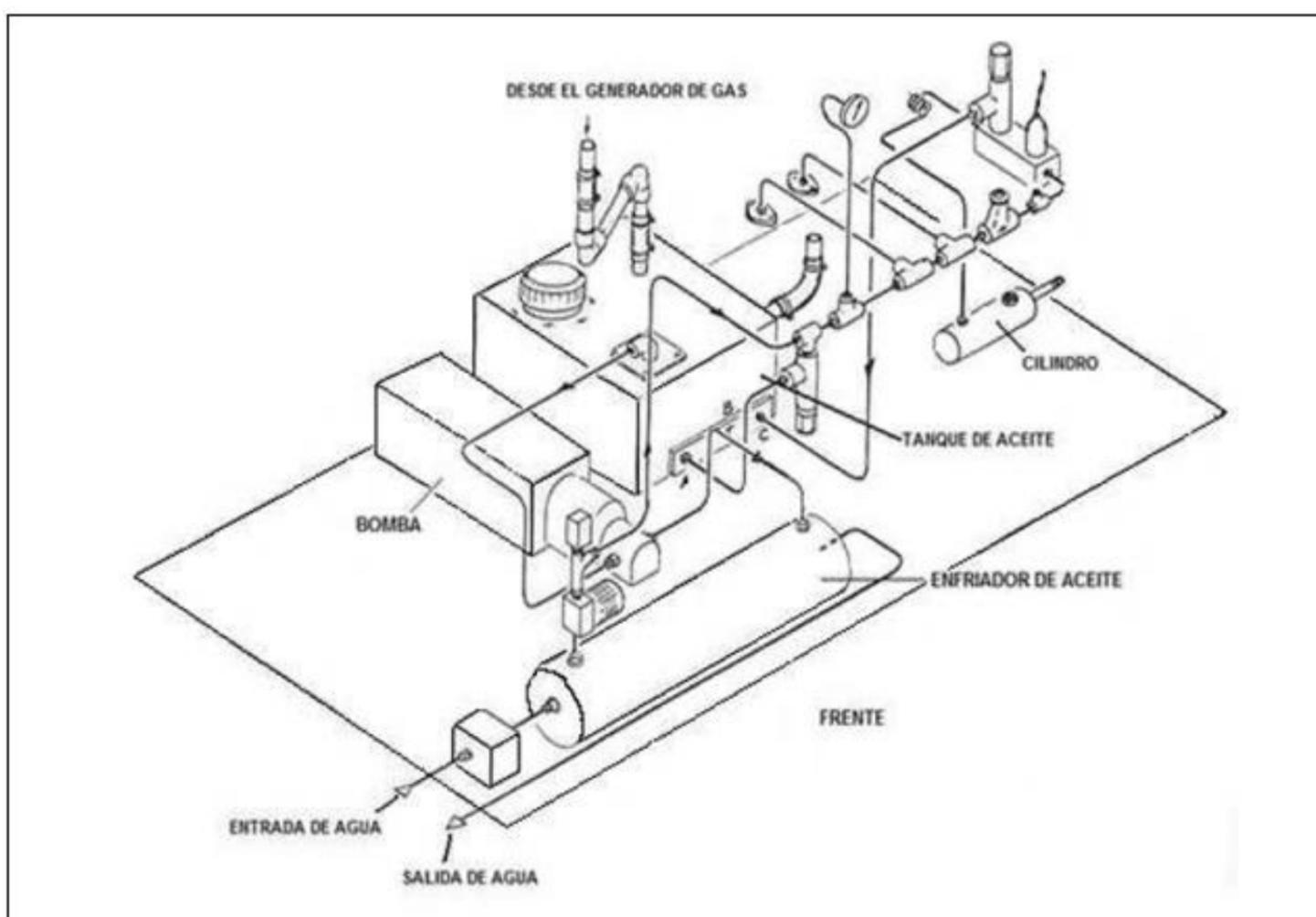


Figura 37: Sistema de lubricación y lubricación
Fuente: Manual Cusson Technology

En la Tabla siguiente, se muestra como van orientados los sistemas de enfriamiento y lubricación.

Tabla 9:
Sistema de lubricación y enfriamiento

Lado	Descripción
Frente	Entrada de agua
Frente	Salida de agua
Centro	Bomba
Centro	Entrada de aceite desde el generador
Centro	Enfriador de aceite
Centro	Tanque de aceite
Atrás	Cilindro

4.5.6. FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL

Arranque o inicio

La secuencia de arranque la cual recomienda el fabricante es:

1. Conectar el suministro de agua fría a una fuente suministradora y al drenaje.
2. Conectar el cilindro de gas a la entrada.
3. Conectar el suministro eléctrico a una corriente de 110v
4. Ajustar la entrada de control de aire en posición arranque.
5. Cerrar la válvula de gas desde el tablero de control y abrir suavemente la válvula del cilindro de gas.
6. Ajustar al máximo el dinamómetro de excitación.
7. Energizar la bomba de aceite del sistema de lubricación.
8. Presionar el botón de puesta en cero.
9. Energizar el soplador.
10. Ajustar la presión del gas con la válvula de reducción a dos 2bar.

11. Presionar el botón de ignición y mantenerlo presionado mientras existe flujo por parte de la válvula de operación de gas de 0.5g/s.
12. Si la ignición, mostrada por parte del incremento de t_3 , no ocurre dentro de 5 segundos desde el comienzo del flujo del gas, cierre la válvula de gas para dejar pasar los gases no quemados y limpiar el sistema antes de volver al paso 11.
13. Suelte el botón de ignición.
14. Abrir la válvula de gas para permitir al generador de gas una velocidad de 1000 RPS conservando la temperatura de 900°C en la cámara de combustión.
15. Ponga la entrada del aire en la posición de en marcha.
16. Apague el soplador.
17. Permita el funcionamiento de la turbina a 1000 RPS hasta que el aceite alcance una temperatura de 40°C.

Cuando ocurre la ignición se escucha un sonido singular y característico que da lugar a un aumento en la temperatura en la cámara de combustión. Si se abre demasiado rápido la válvula de gas incrementa por arriba de los 950°C se debe cerrar la válvula de gas, reiniciar el encendido pero anteriormente haber presionado el botón puesta atrás. Siempre la temperatura a la que debe mantenerse es por debajo de los 830°C a medida que incrementa la velocidad de la turbina.

Limitaciones del sistema

Mientras se esté realizando pruebas no debe excederse:

- Velocidad del generador de gas 2000 rpm
- Velocidad de la turbina de potencia 600 rpm
- La temperatura de entrada del generador es de 900°C

1. Ajustar la presión del gas de 1.5 bar y de esta manera se realizara las lecturas de combustible.
2. La unidad tiene ciertas características internas si de seguridad. Si la cámara de combustión alcanza a tener una temperatura que excede los 950°C debido a exceso de combustible o por una presión de aceite inferior a los 1.5 bar, la válvula solenoide corta el suministro de gas y se tendrá que seguir las instrucciones del paso 4 al 17 en la sección de arranque.

En caso de que exista una variación en la turbina de potencia, se debe evitar en lo absoluto movimientos repentinos o grandes del dinamómetro de control de excitación de manera que se evite cargas transitorios en la banda.

Parada de máquina

La secuencia recomendada para el paro de la turbina es la siguiente:

1. Cerrar las válvulas del cilindro de gas.
2. Cerrar la válvula de gas del tablero principal.
3. Reajustar la entrada de control de aire a la posición inicial una vez que las turbinas se encuentren apagadas.
4. Arrancar el soplador.
5. Anular el termostato de la temperatura de aceite con el interruptor del termostato.
6. Cuando la temperatura del turbogenerador este por debajo de los 80°C y la temperatura del aceite por debajo de los 30°C:
 - a. Apagar el soplador.
 - b. Apagar la bomba de aceite.
 - c. Desconectar el suministro de gas
 - d. Cerrar suministro de agua.
 - e. Desconectar suministro eléctrico.

Cuando la turbina sea apagada el sistema estará siendo enfriado por el soplador, y es de manera esencial anular la temperatura del termostato para asegurarse que la lubricación del aceite se encuentre fría.

4.5.7. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

Luego de la observación, la experiencia y el trabajo realizado durante el mantenimiento del Simulador de Turbina a Gas; para conservar el simulador de turbina a gas de doble eje como una herramienta en el proceso de formación de los guardiamarinas; se debe:

- Aplicar siempre una mezcla de aceite y gasolina utilizando trapos o brochas sobre toda la estructura del simulador como se ve en la figura:



Figura 38: Mantenimiento del Simulador de Turbina a Gas

- Verificar que las tuercas y cada pieza esté bien aseguradas y que resistan.
- Al momento de desmontar alguna parte para realizar mantenimiento, tener en cuenta los pernos ya que pueden confundirse o extraviarse.

- Realizar el montaje y desmontaje de piezas con la ayuda del docente capacitado en el simulador y evitar colocar cualquier tipo de líquido sobre las bandas por motivo que se pueden deteriorar y destruirse.

Siempre al momento de encendido del simulador se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Suministro eléctrico: Suministro monofásico de 110/220 voltios 60 Hz. Otros voltajes y frecuencia a requerimiento.
- Suministro de combustible: Propano/Butano (C_3H_8 en bombonas de gas estándar (no se recomiendan bombonas de 45 kg) N.B. Consumo aproximado a carga total 7kg/ha.
- Suministro de Agua: requerido para circuito de refrigerio con manguera de 9mm y mínimo flujo de 10 litros. min.
- Provisión de Escape: el escape es no tóxico y limpio, pero requiere ductos para funcionamiento prolongado.

4.6. METODOLOGIA PARA EJECUTAR LA PROPUESTA

Para el cumplimiento de la propuesta planteada se realizó un plan de trabajo el cual ayudaría al cumplimiento de los objetivos propuestos de una manera efectiva en un tiempo establecido. (VER ANEXO 4).

De la misma manera para cumplir con la propuesta y el objetivo principal el cual es habilitar el simulador de turbina a gas dispuso un presupuesto (VER ANEXO 5), el cual permitiría habilitar el simulador con la compra, reparación, montaje y mantenimiento de partes al simulador.

CONCLUSIONES

- En el presente proyecto se concluye que el simulador de turbina a gas es una contribución importante para el proceso de aprendizaje de los guardiamarinas lo que permitirá una eficiente formación técnico profesional.
- El presente proyecto permitirá que los guardiamarinas realicen un análisis de diversas situaciones que se presentan en la operatividad, arranque y paro de máquina de una turbina a gas.
- A través de la incorporación de elementos faltantes en el simulador de turbina a gas logrando el cumplimiento de la propuesta, el simulador complementará el aprendizaje teórico recibido en clase y ayudara a una mejor comprensión de fundamentos termodinámicos, turbinas a gas, ciclos de vapor, motores de combustión interna, control mantenimiento de motores de combustión interna, válvulas y bombas intercambiadores de calor.

RECOMENDACIONES

- Esta herramienta técnico - didáctica sea incluido en el programa de las practicas de la asignatura de maquinaria naval 3.
- Al momento de realizar las prácticas se cumpla el plan de procedimientos para encendido – apagado para el buen uso del simulador.
- Realizar pruebas de encendido una vez al mes y cumplir con el mantenimiento estipulado en el capítulo 4 de la presente tesis.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez Flóres, J. A., Callejon Agramunt, I., Forns Farrús, S., Roca Carles, P., Balsells Grande, D., Casanova Rosell, J., . . . Pérez Llopis, F. (2002). *Máquinas Térmicas Motoras 2*. Barcelona: Edicions UPC.
- Bathie, W. (1987). *Fundamentos de Turbinas de Gas*. México: Limusa.
- Bernal , C. (2010). *Metodología de la Investigación*. Colombia: Prentice Hall.
- Desideri, U. (2013). *Modern Gas Turbine Systems*. México: Woodhead Publishing.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.
- James, A. (s.f.). *Gas turbines: operating conditions, components and material requirements*. México: Woodhead Publishing.
- Marter, D. H. (1964). *Motores Termodinámicos*. México: Uthea.
- Razak, A. M. (2014). *Applied Thermal Engineering*. India: ScienceDirect.
- Soares, & Soares, C. (2014). *Gas Turbines*. Oxford: utterworth-Heinemann.
- Claro Filho, A., Longuine, C. C., Fonseca, C. E., Rodrigues Mendonca, F., Januncio, H. C., Juberlan, C., . . . Cornetti, R. (10 de 11 de 2015). *Turbina a Gas*. Obtenido de SlideShare: <http://es.slideshare.net/FernandoMendonca3/apresentacao-turbina-a-gs-oficial>
- Energética, B. s. (07 de 02 de 2015). *Turbinas de gas*. Obtenido de <http://es.pfernandezdiez.es/?pageID=21>
- Féliz Fernández, J. (3 de 11 de 2015). *edUTecNe*. Obtenido de edUTecNe: http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/03-turbina_a_gas.pdf
- <http://sanjahingu.blogspot.com/>. (20 de 02 de 2015). *Métodos, tipos y enfoques de investigación*. Obtenido de <http://sanjahingu.blogspot.com/2014/01/metodos-tipos-y-enfoques-de.html>
- Limited, G. S. (01 de 11 de 2015). *Goodwin Steel Casting Limited*. Obtenido de <http://www.goodwinsteelcastings.com/es/applications/gas-turbines>

Technology, C. (07 de 02 de 2015). *UNIDAD DE TURBINA DE GAS DE DOBLE EJEP9005*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/106456309/P9005sp>

turbinasdegas.com. (01 de 11 de 2015). Obtenido de <http://www.turbinasdegas.com/index.php/principales-partes-turbinas>

Véliz, I. (10 de 11 de 2015). *Turbinas de Gas*. Obtenido de Slide Share: <http://es.slideshare.net/rastafaris/clase-de-turbinas-a-gas1>

Tripod, (6 de 12 del 2015). *Ciclo Brayton*. Obtenido de https://tripod.com/ciclo_brayton.html

wikipedia. (4 de 11 de 2015). *Ciclo Brayton*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Brayton

wikipedia. (10 de 11 de 2015). *Compresor centrífugo*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_centric%C3%ADfugo

wikipedia. (09 de 11 de 2015). *Turbina de Gas*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_de_gas