



ESPE

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

DEPARTAMENTO DE ENERGIA Y MECANICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECANICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECANICO**

AUTOR: JAIME EDUARDO SANTAMARIA GARZON,

GALO XAVIER BAEZ MOREIRA

**TEMA: RECONVERSION DE LA MAQUINA TERMICA A GAS BRYTON
DEL LABORATORIO DE CONVERSION DE ENERGIA DE LA ESPE
USANDO DIESEL FILTRADO EN REEMPLAZO DE DIESEL1 O KEREX**

DIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIERREZ

CODIRECTOR: ING. ANGELO VILLAVICENCIO

SANGOLQUÍ, ABRIL 2014

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

C E R T I F I C A D O

Nosotros: ROBERTO GUTIÉRREZ, E ING. ÁNGELO VILLAVICENCIO

C E R T I F I C A M O S

Que, el Proyecto de grado titulado **RECONVERSION DE LA MAQUINA TERMICA A GAS BRYTON DEL LABORATORIO DE CONVERSION DE ENERGIA DE LA ESPE USANDO DIESEL FILTRADO EN REEMPLAZO DE DIESEL I O KEREX** realizado por el Sr. GALO XAVIER BAEZ MOREIRA, ha sido revisado prolijamente y cumple con los requerimientos: teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la ESPE, por lo que nos permitimos acreditarlo y autorizar su entrega al Sr. ING. JOSE PEREZ, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Mecánica. El trabajo en mención consta de un empastado y un disco compacto el cual contienen el documento en formato portátil de Acrobat (pdf).

Sangolquí, de 2013.

ING. ROBERTO GUTIERREZ

DIRECTOR

ING. ANGELO VILLAVICENCIO

CODIRECTOR

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros: JAIME EDUARDO SANTAMARIA GARZON,
GALO XAVIER BAEZ MOREIRA

DECLARAMOS QUE:

La tesis / proyecto de grado titulado **“RECONVERSION DE LA MAQUINA TERMICA A GAS BRYTON DEL LABORATORIO DE CONVERSION DE ENERGIA DE LA ESPE USANDO DIESEL FILTRADO EN REEMPLAZO DE DIESEL I O KEREX”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis/proyecto de grado en mención.

Sangolquí, de de 2013

GALO XAVIER

BAEZ MOREIRA

CI: 130745294-4

JAIME EDUARDO

SANTAMARIA GARZON

CI: 171922460-0

Nosotros Galo Xavier Báez Moreira de cedula de identidad CI 130745294-4 y Jaime Eduardo Santamaría Garzón de cedula de identidad CI 171922460-0 autorizo la publicación de la tesis **RECONVERSION DE LA MAQUINA TERMICA A GAS BRYTON DEL LABORATORIO DE CONVERSION DE ENERGIA DE LA ESPE USANDO DIESEL FILTRADO EN REEMPLAZO DE DIESEL I O KEREX**, en la biblioteca virtual de la ESPE- Universidad de las fuerzas armadas.

GALO XAVIER

BAEZ MOREIRA

CI: 130745294-4

JAIME EDUARDO

SANTAMARIA GARZON

CI: 171922460-0

Dedico este trabajo a Dios, a mi familia fundamentalmente a mis Padres y hermanos, a mis amigos, quienes con su apoyo y fortaleza me han ayudado a solventar varias dificultades en el transcurso de mi carrera, y a todas la personas que se van a beneficiar con el trabajo que hemos realizado en la Turbina de gas.

Galo Xavier Báez Moreira

A mi familia, que con mucho esfuerzo me han ayudado a culminar este peldaño en mi vida. Mi padre, por todo su amor y experiencia que en todo el transcurso de mi carrera supo guiarme, enseñarme y ante todo apoyarme.

Mi madre, que me ha demostrado con fortaleza, honestidad y sabiduría que todo se puede alcanzar con dedicación y paciencia.

Mis hermanas, Verónica y Diana, que han sido un apoyo incondicional en cada momento de felicidad y tristeza.

Mi angelito, Sarahí, que ha sido la parte fundamental de mis logros.

A todos mis familiares por todo el apoyo que en una u otra forma me brindaron y que ha influido grandemente en la consecución de mis metas.

A todos mis amigos, por siempre estar presentes en los buenos y malos momentos y por ser una parte importante en mi vida.

Jaime Eduardo Santamaría Garzón

Agradezco a Dios ante todo, a mis padres su guía durante la carrera y mi vida, a mis hermanos por haber estado ahí con un consejo y su apoyo incondicional.

Agradezco a la ESPE, y a los ingenieros que estuvieron en mi carrera y colaboraron con el progreso de este trabajo, que con tropiezos y todo estamos llegando a este punto final.

Agradezco a cada persona que acompañó por esta travesía.

Galo Xavier Báez Moreira.

A Dios, que me ha dado la salud y tranquilidad en cada paso de mi vida, a mis Padres, que gracias a todo su sacrificio, paciencia y tiempo me ayudaron a conseguir esta meta.

Al Ingeniero Ernesto Soria, que fue el promotor de este proyecto y nos supo guiar y fortalecer con todo el conocimiento y experiencia.

A mi Director y Codirector de tesis, Ing. Roberto Gutiérrez e Ing. Ángelo Villavicencio, que con su conocimiento y ayuda hemos logrado concluir este gran trabajo, y ante todo, grandes profesionales y amigos.

Al Jefe de Laboratorio Roberto Buenaño que sin su ayuda no habría podido culminar esta meta.

A toda mi familia, que sin el apoyo de cada uno no hubiésemos hecho realidad esta meta.

A mis amigos y amigas, que gracias a las innumerables insistencias y presión, me incentivaron para que lograr concluir este proyecto

Jaime Eduardo Santamaría Garzón

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xiv
CAPÍTULO 1	1
DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivo del estudio.	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. General.	2
1.3.2. Específicos.....	3
1.4. Alcance del Proyecto.....	3
1.5. Justificación del Proyecto.....	4
CAPÍTULO 2	5
MÁQUINAS TÉRMICAS	5
2.1. GENERALIDADES.....	5
2.2. MAQUINA TERMICA Y MOTOR TERMICO.....	5
2.2.1. Clasificación	6
2.2.1.1. Sentido de transferencia de energía.....	6
2.2.1.1.1. Máquinas térmicas motoras	6
2.2.1.1.2. Máquinas térmicas generadoras	6

2.2.2.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	7
2.2.3.	BALANCE DE ENERGIA EN UNA MAQUINA TERMICA	9
2.2.4.	RENDIMIENTO	10
2.2.4.1.	Rendimiento de una maquina térmica motora	10
2.2.4.2.	Rendimiento de una máquina térmica generadora	11
2.3.	APLICACIONES	13
2.3.1.	Sobrealimentación de motores y calderas.....	13
2.3.2.	Otras aplicaciones industriales.....	14
2.3.2.1.	Turbina de gas para generación de energía.....	14
2.3.2.2.	Turbina de gas para la producción de viento	15
2.3.2.3.	Turbina de gas para la producción simultánea de energía y aire comprimido	15
2.4.	COMBUSTIBLES	16
2.4.1.	Definición	16
2.4.2.	DIESEL.....	17
2.4.2.1.	Definición	17
2.4.2.2.	Proceso de Encendido.....	17
2.4.2.3.	Características	18

2.4.2.4.	Propiedades.....	18
2.4.2.5.	Composición Química.....	19
2.4.2.6.	Requisitos del Diesel.....	19
2.4.2.6.1.	Inflamabilidad.....	19
2.4.2.6.2.	Fluidez en baja temperatura.....	20
2.4.2.6.3.	Lubricidad.....	20
2.4.2.6.4.	Viscosidad.....	20
2.4.2.6.5.	Bajo contenido de azufre.....	20
2.4.2.6.6.	Estabilidad.....	20
2.5.	PARTES DE LA TURBINA DE GAS BRYTON.....	21
2.5.1.	COMPRESOR.....	21
2.5.2.	Sistema de Combustión.....	22
2.5.3.	Turbina a gas.....	23
2.5.4.	Sistemas auxiliares para su operación.....	24
2.5.4.1.	Sistema de lubricación.....	24
2.5.4.1.1.	Sistema de Lubricación de Cáster Húmedo.....	24
2.5.4.1.2.	Sistema de Lubricación de Cáster Seco.....	25

2.5.4.2. Componentes del Sistema de Lubricación.....	26
2.5.4.2.1. Depósitos de aceite.....	26
2.5.4.2.2. Bombas de Aceite.....	27
2.5.4.2.3. Válvulas de Alivio de Presión de Aceite.....	27
2.5.4.2.4. Filtros de Aceite.....	28
2.5.4.2.5. Filtros de malla de alambre.....	29
2.5.4.2.6. Filtros de discos.....	30
2.5.4.2.7. Filtros de fibra plegada.....	31
2.5.4.2.8. Instrumentación del Sistema de Lubricación.....	32
2.5.4.2.9. Presión de Aceite.....	32
2.5.4.2.10. Aviso de Baja Presión.....	33
2.5.4.2.11. Temperatura del Aceite.....	33
2.5.4.2.12. Cantidad de Aceite.....	33
CAPÍTULO 3.....	36
MAQUINA TERMICA A GAS BRAYTON DEL LABORATORIO DE CONVECCION DE ENERGIA.....	36
3.1. ESTUDIO DE COMPONENTES.....	37

	x
3.2. ANALISIS DEL ESTADO ACTUAL	56
3.3. Selección de la mejor alternativa para la reconversión	57
CAPÍTULO 4	62
RECONVERSIÓN DEL SISTEMA.....	62
4.1. selección y rediseño de componentes y accesorios.....	62
4.1.1. procedimiento para la realización del cambio de componentes.....	62
4.1.2. procedimiento para el rediseño del dinamometro	65
4.2. CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE (DIESEL)	68
4.3. analisis y selección de aceites lubricantes	69
4.3.1. Características principales de los aceites de turbinas a gas	71
4.3.1.1. Viscosidad.....	71
4.3.1.2. Estabilidad a la Oxidación	71
4.3.1.3. Contenido de agua	72
4.3.1.4. Índice de acidez.....	72
4.3.2. SELECCIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE	73
4.3.2.1. PROPIEDADES Y BENEFICIOS	74
pruebas de funcionamiento.....	75
CAPÍTULO 5	83

5.1. PRESUPUESTO DE INVERSIÓN	83
5.1.1. Costos directos	84
5.1.2. Costos indirectos	87
5.2. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	88
5.2.1. Presupuesto ingresos	88
5.2.2. presupuesto egresos.....	90
5.2.2.1. Costos operativos	90
5.3. analisis financiero.....	92
5.3.2. TIR.....	94
5.3.3. Beneficio/Costo.....	94
1.1. ANALISIS IMPACTO SOCIAL, ECONOMICO, AMBIENTAL	95
1.1.1. Impacto social	95
1.1.2. Impacto Economico.....	95
1.1.3. Impacto ambiental	97
CAPÍTULO 6	98
6.1. CONCLUSIONES.....	98
6.2. Recomendaciones.....	99
BIBLIOGRAFIA	100
ANEXOS.....	Error! Bookmark not defined.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Costos de Maquinas a Gas en el mercado	4
Tabla 2: Máquinas térmicas.....	8
Tabla 3: Características del Compresor.....	40
Tabla 4: Características Cámara de Combustión.....	41
Tabla 5: Características TURBINA Altas Revoluciones (PRIMERA ETAPA).....	42
Tabla 6: Características Turbina de Potencia.....	43
Tabla 7: Características Bomba de Aceite.....	44
Tabla 8: Características Bomba de Combustible	45
Tabla 9: Características Válvula Solenoide	46
Tabla 10: Características Medidor de Flujo Tipo Rotámetro para Combustible	47
Tabla 11: Características Regulador de Presión de Combustible.....	48
Tabla 12: Características Dinamómetro.....	49
Tabla 13: Características Filtro de Combustible.....	50
Tabla 14: Características Filtro de Aceite	51
Tabla 15: Características Reservorio de Combustible.....	52
Tabla 16: Características Reservorio de Aceite	53

Tabla 17: Características Intercambiador de Calor Multitubos.....	54
Tabla 18: TACOMETROS	55
Tabla 19: Diesel 1 o Kerex.....	58
Tabla 20: Diesel 2 Bajo Contenido de Azufre	59
Tabla 21: Diesel 2 Industrial	60
Tabla 22: Datos Para la Selección de la Válvula Tipo Solenode.....	63
Tabla 23: Selección de la Válvula Tipo Solenoide	63
Tabla 24: Propiedades y Beneficios del Lubricante	74
Tabla 25: Diseño e Ingeniería	84
Tabla 26: Materiales y Partes.....	85
Tabla 27: Equipo y Maquinaria.....	86
Tabla 28: Mano de Obra	86
Tabla 29: Montaje y Validación	87
Tabla 30: Costos indirectos	87
Tabla 31: Presupuesto de ingreso	89
Tabla 32: Detalle presupuesto de ingresos ESPE	89
Tabla 33: Costos Operativos	91
Tabla 34: Costos Administrativos.....	91
Tabla 35: VAN.....	93

Tabla 36: TIR.....	94
--------------------	----

INDICE DE ANEXOS

Figura 1: Máquina de Vapor	8
Figura 2: Esquema de una turbosoplante	15
Figura 3: Turbina de gas para la producción simultánea de energía y aire comprimido	16
Figura 4: Sistema de lubricación Carter húmedo	25
Figura 5: Sistema de lubricación de Carter seco y tanque caliente	26
Figura 6: Bomba de aceite de engranajes.....	27
Figura 7: Válvula de alivio de presión de aceite	28
Figura 8: Filtro malla de alambre	30
Figura 9: Filtro de discos.....	31
Figura 10: Filtro de fibra plegada	32
Figura 11: Varilla de tapón de aceite	35
Figura 12: Diagrama esquemático de la Máquina Térmica a Gas Brayton del laboratorio de Convección de Energía.	38
Figura 13: Dinamómetro deteriorado.....	65
Figura 14: Partes y Elementos de Reemplazo de Dinamómetro	66
Figura 15: Coraza del Dinamómetro	67

Figura 16: Bobinas del Dinamómetro67

Figura 17: Ensamblaje del Dinamómetro68

RESUMEN

A través del presente documento, se pretende justificar la Reconversión de la Máquina Térmica a Gas Brayton que es objeto de nuestro estudio para que el mismo funcione bajo las regulaciones ambientales actuales en lo que respecta al campo de la Convección de Energía. Para la consecución del proyecto se realizó un análisis y estudio previo de la Máquina a Gas Brayton para determinar las condiciones en las que se encontraba, con lo cual se observaron algunos problemas en el funcionamiento, los mismos que fueron solucionados. A continuación, se realizó un mantenimiento correctivo a la máquina, y así se determinó los parámetros técnicos necesarios para la consecución del presente proyecto. Una vez obtenidos los datos técnicos necesarios se procedió al análisis, que permitió la selección de la alternativa más óptima, acorde a la disponibilidad en nuestro medio. Después se procedió a la compra de los elementos y partes que se determinaron eran necesarios para conseguir que la máquina a pesar del cambio de un elemento tan elemental como lo es el combustible pueda seguir funcionando de una manera óptima. Finalmente se realizó una prueba de funcionamiento con la cual se consiguió que el equipo obtenga un desempeño bastante aceptable. Para concluir, mediante una comparación entre el recambio y la compra de un nuevo sistema que tenga una aplicación similar, se comprobó que la realización del recambio en la Máquina Térmica a Gas Brayton es la opción económica más aceptable para la aplicación en la que se está desempeñando el equipo.

Palabras Clave

Turbina, gas, Brayton, GT85, Turbo

ABSTRACT

Through this document, is to justify the Thermal Conversion of Used Gas Brayton is the subject of our study so that it works under current environmental regulations in regard to the field of energy convection . To achieve the project analysis and preliminary study of the Used Gas Brayton was performed to determine the conditions under which it was, with some problems which were observed in the operation, they were solved. Then corrective maintenance was performed at the machine, and so the technical parameters necessary for the achievement of this project was determined. Once obtained the necessary technical data to the analysis proceeded , it allowed the selection of the most optimal , according to the availability in our alternative. Then he proceeded to purchase items and parts which were determined were necessary to get the machine despite the change as elemental as it is the fuel to keep running optimally element. Finally a test run which was achieved with the team for a very acceptable performance was performed. In conclusion, by comparison between the parts and the purchase of a new system that has a similar application; it was found that the completion of parts on the Thermal Used Gas Brayton is the most acceptable budget option for the application in which it is play equipment

Keywords

Turbine, gas, Brayton, turbo, GT85

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

1.1. ANTECEDENTES.

Las tendencias actuales en cuanto al cuidado del medio ambiente han generado nuevas tecnologías que son más “amigables” con el cuidado de la ecología, y la industria del combustible no es la excepción, cada vez se siguen haciendo avances tecnológicos.

En virtud de lo anterior, en la actualidad podemos apreciar que la mayoría de máquinas a gas han sido desarrolladas en base a las antes mencionadas tecnologías, además, basados en este nuevo conocimiento es posible actualizar y mejorar los sistemas diseñados anteriormente como es el caso del banco de pruebas de la Máquina a Gas Brayton del laboratorio de conversión de energía.

El equipo de laboratorio fue adquirido en una época en la que el combustible diesel 1 o kerex era de uso común en la industria, pero debido a las recientes regulaciones y refinaciones que rigen en todo el mundo, su comercialización es limitada, por lo que, en reemplazo de este, se han propuesto varias alternativas, una de ellas es el combustible diesel filtrado, que en la actualidad es uno de los

principales sustitutos y así poder mantener la funcionalidad de los equipos que usaban este tipo de combustible.

A pesar de ser el combustible diesel filtrado el reemplazante adecuado para el combustible diesel 1 o kerex, las propiedades termodinámicas del mismo van a variar, lo que fundamenta el motivo de esta tesis, que es un estudio técnico para realizar el correcto procedimiento en el recambio de estos sistemas.

1.2. OBJETIVO DEL ESTUDIO.

Este proyecto surge ante la necesidad de tener un procedimiento adecuado, técnico y detallado para realizar reconversiones en los equipos que actualmente existen en la industria, específicamente el Banco de Pruebas de Maquina Térmica a Gas Brayton, objeto de nuestro estudio, el mismo que ha perdido su funcionalidad óptima por la discontinuación del combustible mencionado. Este estudio permitirá una optimización en el funcionamiento del banco y mejora en el proceso de aprendizaje de los alumnos de nuestra Carrera al estar actualizados con las nuevas tendencias que rigen en el mercado nacional.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. GENERAL.

Diseñar un procedimiento técnico detallado del funcionamiento y protocolo de pruebas de la Máquina Térmica a Gas Brayton del Laboratorio de Conversión de Energía para efectuar el reemplazo de combustible de manera adecuada, permitiendo así una optimización y actualización en el uso de este equipo

1.3.2. ESPECÍFICOS.

- Analizar el estado físico y operativo inicial de la máquina y diagnosticar técnicamente para obtener un proceso adecuado de reconversión del combustible utilizado para su operación óptima.
- Investigar sobre las posibles alternativas que se puedan dar para el recambio de combustible.
- Seleccionar los diferentes elementos que, de ser el caso, serán reemplazados o rediseñados para que la maquina funcione a condiciones similares a las cuales fue diseñada.
- Comprobar el funcionamiento del equipo, desarrollando un protocolo de pruebas una vez que se haya realizado el recambio de combustible
- Realizar un estudio comparativo de datos y resultados en base a información estadística anterior y los resultados obtenidos de la operación y funcionamiento actual de la máquina.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO.

Actualizar el funcionamiento de la máquina para que satisfaga las necesidades de las prácticas de laboratorio y renovar su vida útil.

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La necesidad del recambio del combustible surge ante los elevados costos de adquirir máquinas de tecnología de punta, por lo que, simplemente se aprovechan en su mayoría los elementos ya existentes en la máquina y se los adapta y/o rediseña para que puedan funcionar correctamente en forma similar a los que disponen las actuales.

Otro motivo por el cual es necesario el recambio, es la facilidad de obtención del combustible, el Kerex o Diesel 1 son combustibles que ya no existen en el mercado, consecuentemente la máquina en las condiciones actuales ya no podría funcionar.

Tabla 1: Costos de Maquinas a Gas en el mercado

Maquinas Térmicas a Gas	Origen	Combustible	Costo (\$)
Lx 4000	Estados Unidos	DIESEL	33.145
TTL's SR-30	Estados Unidos	DIESEL	35.000
SR-30 Turbo Jet	Estados Unidos	DIESEL	25.000

Reconversión de la Maquina Térmica a Gas Brayton, con un costo aproximado de \$ 5.000 (Cinco mil Dólares).

CAPÍTULO 2

MÁQUINAS TÉRMICAS

2.1. GENERALIDADES.

Una máquina térmica es un conjunto de elementos mecánicos que permite intercambiar energía, generalmente a través de un eje, mediante la variación de energía de un fluido que varía su densidad significativamente al atravesar la máquina. Se trata de una máquina de fluido en la que varía el volumen específico del fluido en tal magnitud que los efectos mecánicos y los efectos térmicos son interdependientes.

En una máquina térmica, la compresibilidad del fluido no es despreciable y es necesario considerar su influencia en la transformación de energía.

2.2. MAQUINA TERMICA Y MOTOR TERMICO

En un principio se podría definir a una máquina térmica como un dispositivo, equipo o una instalación destinada a la producción de trabajo en virtud de un aporte calórico. Aunque en algunas definiciones se identifican como sinónimos los términos máquina térmica motora y motor térmico, en otras se diferencian ambos conceptos. Al diferenciarlos, se considera que un motor térmico es un conjunto de elementos mecánicos que permite obtener energía mecánica a partir de la energía térmica

obtenida mediante una reacción de combustión o una reacción nuclear. Un motor térmico dispone de lo necesario para obtener energía térmica, mientras que una máquina térmica motora necesita energía térmica para funcionar, mediante un fluido que dispone de más energía a la entrada que a la salida.

2.2.1. Clasificación

2.2.1.1. Sentido de transferencia de energía

Las máquinas térmicas pueden clasificarse, según el sentido de transferencia de energía, en:

2.2.1.1.1. Máquinas térmicas motoras

En las cuales la energía del fluido disminuye al atravesar la máquina, obteniéndose energía mecánica en el eje.

2.2.1.1.2. Máquinas térmicas generadoras

En las cuales la energía del fluido aumenta al atravesar la máquina, precisándose energía mecánica en el eje.

2.2.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

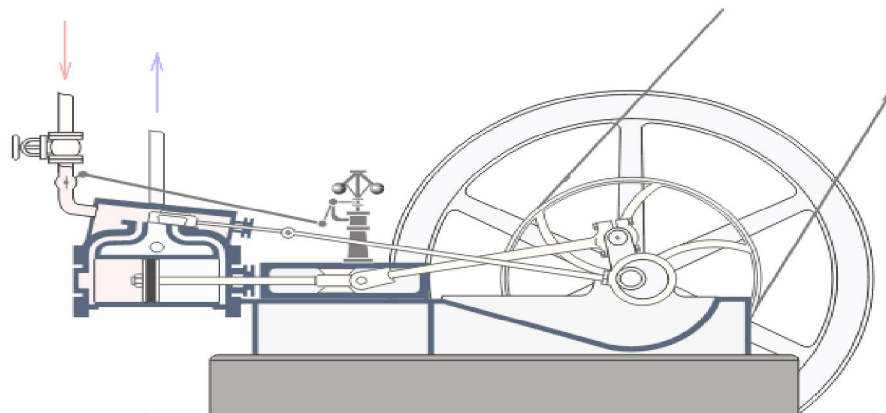
Atendiendo al principio de funcionamiento, las máquinas térmicas se clasifican en:

- Máquinas volumétricas o máquinas de desplazamiento positivo, cuyo funcionamiento está basado en principios mecánicos e hidrostáticos, de manera que el fluido en algún instante está contenido en un volumen limitado por los elementos de la máquina. En este tipo de máquinas el flujo es pulsatorio. Se dividen a su vez en dos tipos según el movimiento del órgano propulsor: alternativas, cuyo movimiento es rectilíneo; y rotativas, cuyo movimiento es circular.
- Turbo máquinas, cuyo funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre el fluido y un rodete. En estas máquinas el flujo es continuo.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos clasificar las máquinas térmicas tal como se recoge en el cuadro siguiente:

Tabla 2: Máquinas térmicas

Motoras	Volumétricas	Máquina de vapor	
		Alternativas	
		Rotativas	Motor Stirling
		Turbo máquinas	
		Turbina	
Generadoras	Volumétricas	Alternativas	Compresor de embolo
		Rotativas	Compresor rotativo
		Turbo máquinas	Turbocompresor

**Figura 1:** Máquina de Vapor (**Wikipedia**)

2.2.3. BALANCE DE ENERGIA EN UNA MAQUINA TERMICA

Un sistema abierto es aquel que intercambia materia y energía con el entorno. Aplicando el primer principio de la termodinámica para un sistema abierto, el incremento de energía del sistema en un intervalo de tiempo es:

$$\Delta E_{sistema} = Q + W + \sum_{in} m_{in} \left(h + \frac{1}{2} V^2 + gz \right)_{in} - \sum_{out} m_{out} \left(h + \frac{1}{2} V^2 + gz \right)_{out}$$

Ec. 2.1 (Gilkes)

donde;

- Q es el valor entregado al sistema. Será negativo cuando el calor sea entregado por el sistema.
- W es el trabajo entregado al sistema, en forma de trabajo mecánico y energía de presión. Será negativo cuando el calor sea entregado por el sistema.
- El subíndice *in* representa la materia que entra al sistema.
- El subíndice *out* representa la materia que sale del sistema.
- h es la entalpia por unidad de masa del flujo
- $\frac{V^2}{2}$ es la energía cinética por unidad de masa de flujo.
- gz es la energía potencial por unidad de masa de flujo.

2.2.4. RENDIMIENTO

Para el cálculo del rendimiento, se relaciona la energía obtenida, ya sea en forma de incremento de energía en el fluido o de energía mecánica suministrada por la máquina, entre la máxima energía que se podría obtener en las condiciones de contorno.

2.2.4.1. Rendimiento de una maquina térmica motora

a) Rendimiento interno

El trabajo específico máximo que puede obtenerse en la expansión de un fluido está definido por la diferencia de entalpías entre el fluido a la entrada y las condiciones isoentrópicas a la presión de salida. En cambio el trabajo real es menor a éste debido al aumento de la entropía.

$$n_i = \frac{\dot{W}_i}{\dot{W}_{max}} = \frac{\dot{m}(h_{01} - h_{02})}{\dot{m}(h_{01} - h_{02s})} = \frac{h_{01} - h_{02}}{h_{01} - h_{02s}}$$

Ec. 2.2 (Gilkes)

b) Rendimiento mecánico

El rendimiento mecánico es la relación entre potencia efectiva (\dot{W}_e), que es la potencia obtenida en el eje, y la potencia interna (\dot{W}_i), que es la variación por unidad

de tiempo de la energía del fluido. La potencia efectiva resulta de restar a la potencia indicada menos la potencia de pérdidas mecánicas (\dot{W}_{pm}), que es disipada el rozamiento de elementos mecánicos (cojinetes, retenes, etc.) y en el accionamiento de elementos auxiliares (bomba de aceite, ventiladores, etc.)

$$\dot{W}_e = \dot{W}_i - \dot{W}_{pm}$$

$$n_m = \frac{\dot{W}_e}{\dot{W}_i} = \frac{\dot{W}_i - \dot{W}_{pm}}{\dot{W}_i} = 1 - \frac{\dot{W}_{pm}}{\dot{W}_i}$$

Ec. 2.3 (Gilkes)

c) Rendimiento isoentrópico

El rendimiento isoentrópico relaciona la potencia obtenida en el eje con potencia máxima del proceso isoentrópico en las mismas condiciones de contorno.

$$n_s = \frac{\dot{W}_e}{\dot{W}_{max}} = \frac{\dot{W}_e}{h_{01} - h_{02s}}$$

Ec. 2.4 (Gilkes)

2.2.4.2. Rendimiento de una máquina térmica generadora

a) Rendimiento interno

El trabajo específico mínimo para comprimir un fluido desde un estado térmico hasta una presión determinada es igual al salto entálpico del

correspondiente proceso isoentrópico, de forma que un proceso real presentará mayor diferencia de entalpías del fluido entre la entrada y la salida.

$$n_i = \frac{W_{min}}{W_i} = \frac{\dot{m}(h_{02s} - h_{01})}{\dot{m}(h_{02} - h_{01})} = \frac{h_{02s} - h_{01}}{h_{02} - h_{01}}$$

Ec. 2.5 (Gilkes)

b) Rendimiento mecánico

El rendimiento mecánico es la relación entre potencia efectiva (\dot{W}_e), que es la potencia obtenida en el eje, y la potencia interna (\dot{W}_i), que es la variación por unidad de tiempo de la energía del fluido. La potencia efectiva resulta de restar a la potencia indicada menos la potencia de pérdidas mecánicas (\dot{W}_{pm}), que es disipada el rozamiento de elementos mecánicos (cojinetes, retenes, etc.) y en el accionamiento de elementos auxiliares (bomba de aceite, ventiladores, etc.)

$$\dot{W}_e = \dot{W}_i - \dot{W}_{pm}$$

$$n_m = \frac{\dot{W}_e}{\dot{W}_i} = \frac{\dot{W}_e - \dot{W}_{pm}}{\dot{W}_e} = 1 - \frac{\dot{W}_{pm}}{\dot{W}_e}$$

Ec. 2.6 (Gilkes)

c) Rendimiento isoentrópico

El rendimiento isoentrópico relaciona potencia mínima del proceso isoentrópico en las mismas condiciones de contorno con la potencia suministrada en el eje.

$$n_s = \frac{\dot{W}_{min}}{\dot{W}_e} = \frac{\dot{m}(h_{01s} - h_{01})}{\dot{W}_e}$$

Ec. 2.7 (Gilkes)

2.3.APLICACIONES

2.3.1. Sobrealimentación de motores y calderas

En las instalaciones que utilizan fluidos compresibles, las cantidades de energía utilizadas y, por tanto, las dimensiones de las máquinas, son proporcionales al flujo másico; para reducir las dimensiones conservando la potencia o para aumentar la potencia manteniendo las dimensiones, se puede:

- *Aumentar las velocidades de circulación*, que para secciones de paso iguales, implica un aumento del flujo másico, lo que supone un aumento de las pérdidas de carga, y una reducción del rendimiento.

- *Aumentar la presión de funcionamiento* y, por tanto, el peso específico de los gases y el flujo másico, sin cambiar las velocidades de circulación, posibilidad que constituye una de las principales ventajas de la turbina de gas en circuito cerrado.

En las máquinas que funcionan con aire en condiciones atmosféricas, el aumento de la presión de funcionamiento o sobrealimentación se consigue colocando un compresor a la entrada de la instalación. Para accionarlo se necesita energía que se obtiene de la energía térmica residual de los gases antes de ser lanzados a la atmósfera.

2.3.2. Otras aplicaciones industriales

La combustión de los gases de alto horno se puede aplicar a la obtención de energía eléctrica, y/o a la obtención de grandes cantidades de aire a presión necesario para diversas aplicaciones en las fábricas siderometalúrgicas.

2.3.2.1. Turbina de gas para generación de energía

Cuando la turbina de gas se utilice para generar energía eléctrica, la instalación se complementa con un compresor de gas de pequeñas dimensiones, que puede girar a mayor velocidad accionado mediante un multiplicador de engranajes. Los gases de escape calientan el aire y el gas combustible; la regulación del gasto de combustible se efectúa mediante un by-pass en la aspiración; se puede realizar un ahorro de energía dotando al compresor de combustible de una turbina de recuperación.

2.3.2.2. Turbina de gas para la producción de viento

La turbina de gas acciona en acoplamiento directo a la turbosoplante de viento, que alcanza una presión del orden de 1,2 atm, y mediante un multiplicador de engranajes acciona al compresor. Como no hay alternador, la potencia generada en la turbina acciona a la turbosoplante, que no está sujeta a una velocidad de rotación determinada, por lo que se puede adaptar a las necesidades de viento de la instalación, tanto desde el punto de vista del gasto másico, como de la presión. Como el gasto másico de viento está entre un 33% a un 45% del gasto másico total del compresor, las fluctuaciones que se pueden producir en el servicio no influyen sensiblemente en el funcionamiento de la turbina.

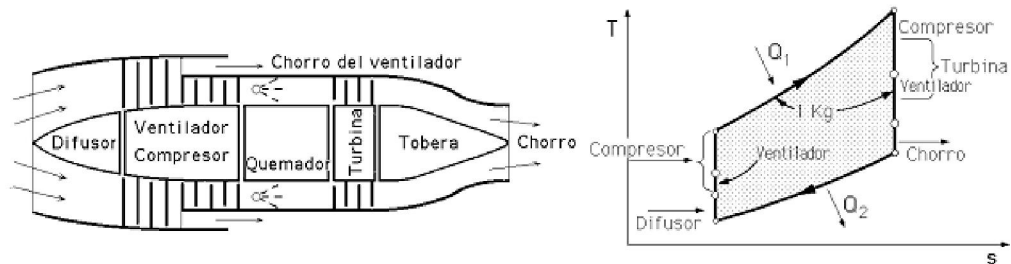


Figura 2: Esquema de una turbosoplante

2.3.2.3. Turbina de gas para la producción simultánea de energía y aire comprimido

En esta instalación, el grupo gira a velocidad constante y la regulación del gasto másico de viento se efectúa en la turbosoplante, por el escape, mediante una

turbina de recuperación combinada con una toma en el compresor de aire. La combinación de la generación de energía y viento ofrece la posibilidad de hacer funcionar el alternador como motor, accionando la soplante en caso de una parada imprevista de la turbina de gas. Los combustibles gaseosos, gases de horno alto o gas natural, no presentan en general los inconvenientes de los combustibles líquidos en lo que concierne a la corrosión.

Los gases de horno alto se deben depurar y las temperaturas vienen limitadas por la resistencia metalúrgica de los metales que con frecuencia llegan a 750°C.

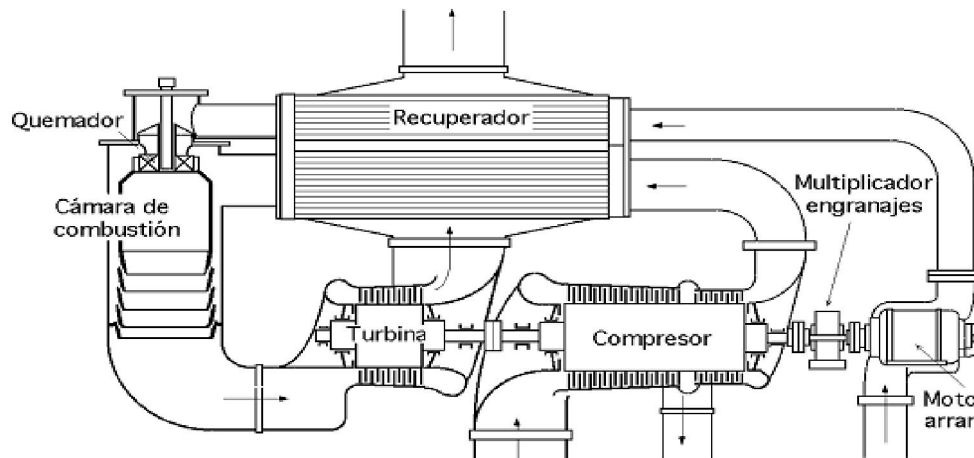


Figura 3: Turbina de gas para la producción simultánea de energía y aire comprimido

2.4. COMBUSTIBLES

2.4.1. DEFINICIÓN

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando se quema, y luego cambiar o transformar su estructura química. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser una energía química).

2.4.2. DIESEL

2.4.2.1. Definición

Tipo de combustible derivado del petróleo y que es más viscoso que la nafta. Los motores diesel generan mayor compresión para realizar el proceso de combustión. No poseen encendido por chispa.

2.4.2.2. Proceso de Encendido

Para comprender el proceso de combustión y generación de potencia a partir del combustible diesel, debemos comprender las necesidades de los motores Diesel. A diferencia del motor naftero, donde la mezcla se quema gracias a una chispa que salta de la bujía, en el motor Diesel, se produce cuando el diesel inyectado entra en contacto con el aire presurizado y a temperatura dentro de la cámara de combustión. Para que esto ocurra el diesel debe ingresar a la cámara atomizado, permitiendo el buen mezclado con el aire comprimido, produciendo una mezcla homogénea, lo que permite una ignición pareja.

El retardo que se genera entre el momento de inyección del combustible diesel en una cámara de aire presurizado y a temperatura, y el instante de autoignición, es conocido como número de cetano. Cuanto mayor es este número, menor es el retardo de la ignición.

2.4.2.3. Características

- Presentar adecuada viscosidad asegurando el perfecto atomizado.
- La adecuada lubricación de la bomba inyectora.
- Evitar la formación de depósitos en la cámara de combustión y remover los depósitos ya formados.
- Prolongar la vida útil del motor llevando el funcionamiento del mismo cercano a su condición de diseño.
- Economía de combustible ayudando a la preservación del medio ambiente.

2.4.2.4. Propiedades

- El diesel pesa típicamente cerca de 7,1 libras por el galón de los E.E.U.U (850 g por litro).
- El diesel tiene típicamente cerca de 147.000 BTUs por el galón de los E.E.U.U. (40,9 MJ por litro).
- El diesel es generalmente más simple refinar que gasolina y cuesta a menudo menos.

- El combustible diesel, sin embargo, contiene a menudo cantidades más altas de sulfuro.

2.4.2.5. Composición Química

El diésel derivado del petróleo está compuesto aproximadamente de un 75% de hidrocarburos saturados y un 25% de hidrocarburos aromáticos. La fórmula química general del diesel común es $C_{12}H_{23}$, con rangos que van desde $C_{10}H_{20}$ al $C_{15}H_{28}$.

2.4.2.6. Requisitos del Diesel

Se requieren las siguientes cualidades del combustible diesel:

2.4.2.6.1. Inflamabilidad

El tiempo de retardo de encendido debe ser lo suficientemente corto para permitir el arranque fácil del motor.

El combustible diesel debe permitir la marcha suave del motor con poco golpeteo.

2.4.2.6.2. Fluides en baja temperatura

El combustible debe permanecer líquido a bajas temperaturas, de tal modo que el motor arrancará fácilmente y marchará suavemente.

2.4.2.6.3. Lubricidad

El combustible diesel sirve como lubricante para la bomba de inyección e inyectores, por lo tanto, este debe tener adecuadas propiedades de lubricación.

2.4.2.6.4. Viscosidad

Debe de tener una apropiada viscosidad (espesor), de tal modo que sea asegurada una apropiada atomización por los inyectores.

2.4.2.6.5. Bajo contenido de azufre

El contenido de azufre causa corrosión y desgaste en las piezas del motor, de manera que su contenido debe ser mínimo.

2.4.2.6.6. Estabilidad

No pueden ocurrir cambios en la calidad y no debe de producir goma, etc. durante su almacenaje.

2.5. PARTES DE LA TURBINA DE GAS BRYTON

La máquina está compuesta de los siguientes elementos:

1. Un compresor de flujo axial
2. Una o varias cámaras de combustión (según el fabricante)
3. La turbina a gas
4. Sistemas auxiliares para su operación:
 - a) Sistemas de lubricación
 - b) Sistema de puesta en marcha y parada
5. Motor de lanzamiento (motor Diesel, o motor eléctrico).

2.5.1. COMPRESOR

Los compresores utilizados en las turbinas a gas son del tipo giratorio, pudiendo ser:

- a) Compresores centrífugos
- b) Compresores axiales

La compresión del aire se produce al pasar éste a través de un estadio fijo y uno móvil, por lo tanto el compresor está formado por un gran número de escalonamientos de compresión.

Como en el caso de las turbinas a gas, o a vapor, los compresores axiales pueden ser:

- a) Compresores axiales de acción
- b) Compresores axiales de reacción

La relación de compresión está dada por el cociente entre la presión de salida del aire del compresor y la presión a su entrada:

$$r = \frac{P_2}{P_1}$$

Ec. 2.8 (Gilkes)

2.5.2. SISTEMA DE COMBUSTIÓN

El sistema de combustión provisto en las turbinas a gas pueden ser de dos tipos:

- a) Turbinas a gas monocámara
- b) Turbinas a gas multicámaras

Las turbinas con diseño monocámaras, como es el caso del fabricante Asea Brown Boveri (ABB), la cámara se ubica en posición perpendicular al eje de la máquina.

En el caso de las turbinas multicámaras, diseño General Electric (GE), las cámaras se ubican en forma concéntricas (paralelas) al eje de la máquina.

El sistema de combustión está formado por:

- Bujías de encendido
- Tubos pasa llama, y
- Detectores de llama

2.5.3. TURBINA A GAS

Una turbina de gas, es una turbomáquina motora, cuyo fluido de trabajo es un gas. Como la compresibilidad de los gases no puede ser despreciada, las turbinas a gas son turbomáquinas térmicas. Comúnmente se habla de las turbinas a gas por separado de las turbinas ya que, aunque funcionan con sustancias en estado gaseoso, sus características de diseño son diferentes, y, cuando en estos términos se habla de gases, no se espera un posible cambio de fase, en cambio cuando se habla de vapores sí.

2.5.4. SISTEMAS AUXILIARES PARA SU OPERACIÓN

2.5.4.1. Sistema de lubricación

La lubricación es una función vital lo mismo en los motores alternativos que en los de turbina de gas, y mientras realiza muchas funciones similares en ambos tipos de motores, los sistemas son diferentes. Es especialmente importante destacar que los lubricantes difieren y no son compatibles.

Los motores de turbina de gas, tienen solo una parte básica movable, mas los engranajes de arrastre de accesorios. El sistema de lubricación debe absorber una gran cantidad de calor, la mayoría del cual proviene de los cojinetes del eje de turbina. Los grandes motores de turbina llevan entre cinco y ocho galones de aceite de base sintética de baja viscosidad.

Existen dos clasificaciones básicas de sistemas de lubricación del motor de turbina: de cárter húmedo y de cárter seco.

2.5.4.1.1. Sistema de Lubricación de Cárter Húmedo

El sistema de lubricación de cárter húmedo se usó en algunos de los primeros motores de turbina, pero hoy se encuentra solo en los motores pequeños tal como los usados en las unidades de potencia auxiliar (APU).

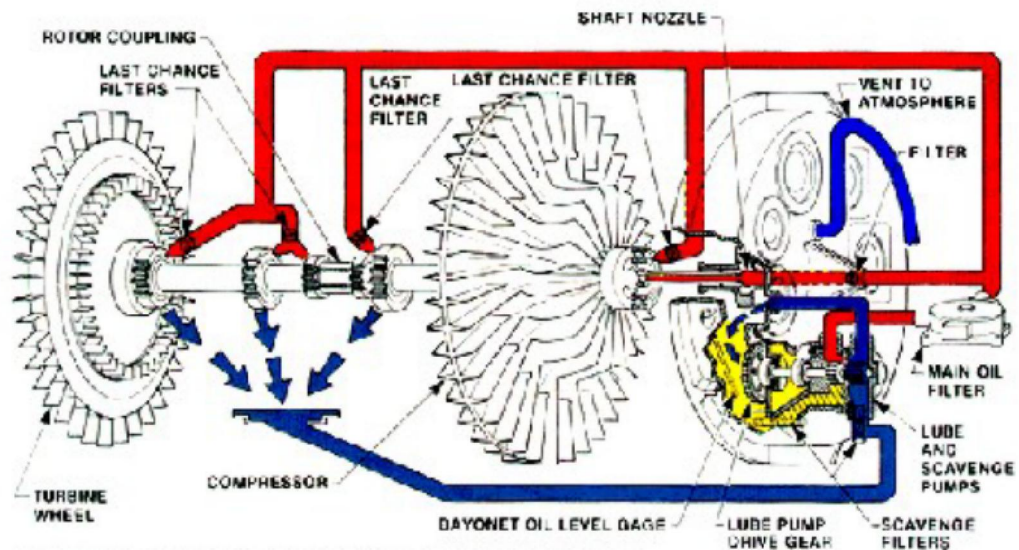


Figura 4: Sistema de lubricación Carter húmedo

2.5.4.1.2. Sistema de Lubricación de Carter Seco

El sistema de lubricación más usado es el tipo de cárter seco, en el que el aceite, después de servir sus funciones de lubricación y refrigeración, es devuelto por medio de bombas de recuperación a un depósito fuera del propio motor. Existen dos tipos de sistemas de lubricación de cárter seco: el sistema de tanque caliente, y el sistema de tanque frío.

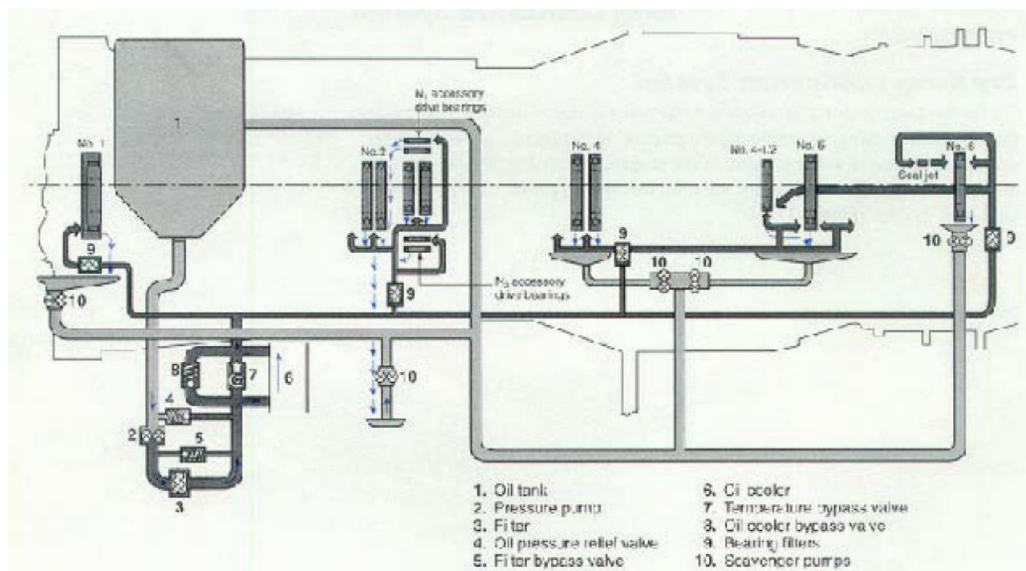


Figura 5: Sistema de lubricación de Carter seco y tanque caliente

2.5.4.2. Componentes del Sistema de Lubricación

Los componentes que se describen aquí son genéricos en naturaleza y típicos de los utilizados en los motores de turbina de gas. No obstante, algunos componentes son únicos de un motor específico y están identificados con el nombre del motor.

2.5.4.2.1. Depósitos de aceite

Los depósitos de aceite usados con un motor de turbina normalmente están montados sobre el motor o próximos a él. La Federal Aviation Regulation requiere que estos depósitos tengan un tapón de llenado hermético y un espacio de expansión del 10% de su capacidad. El depósito debe diseñarse de manera tal que sea imposible llenar de forma inadvertida el espacio de expansión.

2.5.4.2.2. Bombas de Aceite

Las bombas de aceite usadas en el sistema de lubricación del motor de turbina son todas bombas de desplazamiento positivo porque mueven una cantidad específica de aceite cada vez que giran. Existen dos funciones básicas de estas bombas en un motor de turbina de gas: las bombas de presión producen presión de aceite para lubricar a los cojinetes y engranajes, y las bombas de recuperación recogen el aceite después de que este ha realizado sus funciones y lo devuelve al depósito.

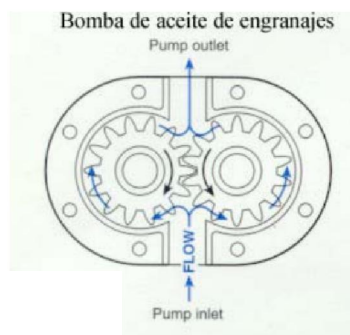


Figura 6: Bomba de aceite de engranajes

2.5.4.2.3. Válvulas de Alivio de Presión de Aceite

Todas las bombas de aceite usadas en los motores de turbina son del tipo de desplazamiento positivo, y como resultado, requieren una válvula de alivio de presión para mantener constante la presión de salida a medida que la velocidad del motor cambia.

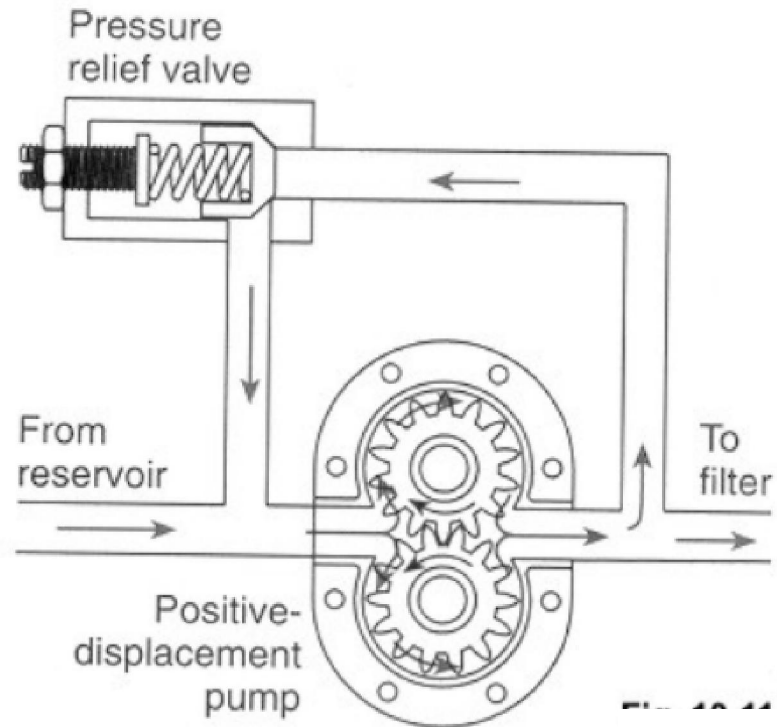


Figura 7: Válvula de alivio de presión de aceite

Una típica válvula de alivio se encuentra en el lado de descarga de la bomba y está cargada con muelle para levantar su asiento cuando la presión del aceite esté por encima del ajuste de la válvula. El aceite que pasa a través de la válvula vuelve a la entrada de la bomba.

2.5.4.2.4. Filtros de Aceite

Es extremadamente importante que el aceite que circula a través de un motor de turbina de gas se mantenga tan limpio como sea posible. Para hacer esto, el aceite se

filtra después de salir de la bomba de presión y una vez más antes de ser pulverizado por las boquillas inyectoras.

La eficacia de un filtro de aceite se mide en micrones, siendo un micrón una millonésima de metro, o aproximadamente 39 millonésima de pulgada (0'000 039).

Para ver la eficacia de un filtro, el ojo humano normal sin ningún tipo de ayuda puede detectar objetos que tengan un diámetro de aproximadamente 40 micrones; un cabello humano típico tiene un diámetro de aproximadamente 100 micrones. Los tres tipos de filtros más usados en los sistemas de lubricación de los motores de turbina de gas son: los filtros de malla de alambre, los filtros de discos, y los filtros de fibra plegada.

2.5.4.2.5. Filtros de malla de alambre

Un filtro de malla de alambre tal como el que se muestra es capaz de retener contaminantes mayores de 40 micrones.

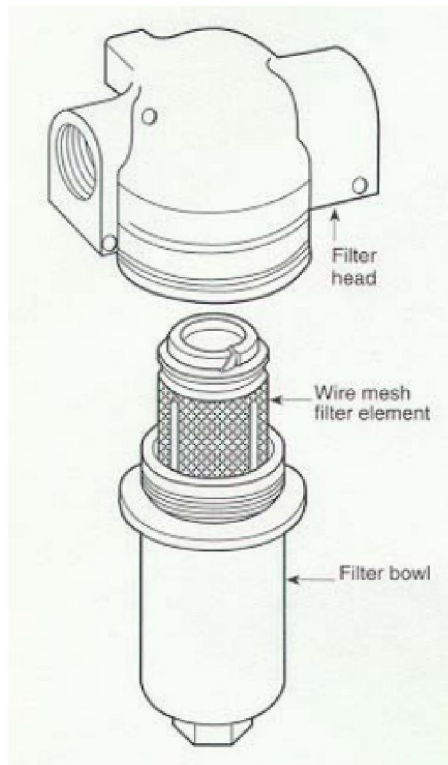


Figura 8: Filtro malla de alambre

2.5.4.2.6. Filtros de discos

El filtro de discos está hecho de una serie de discos de malla se alambre apilados sobre un tubo perforado dentro del vaso del filtro. El aceite entra desde la parte exterior de los discos y fluye a través del apantallamiento que atrapa los contaminantes, y el aceite filtrado sale a través del tubo en el centro de los discos.

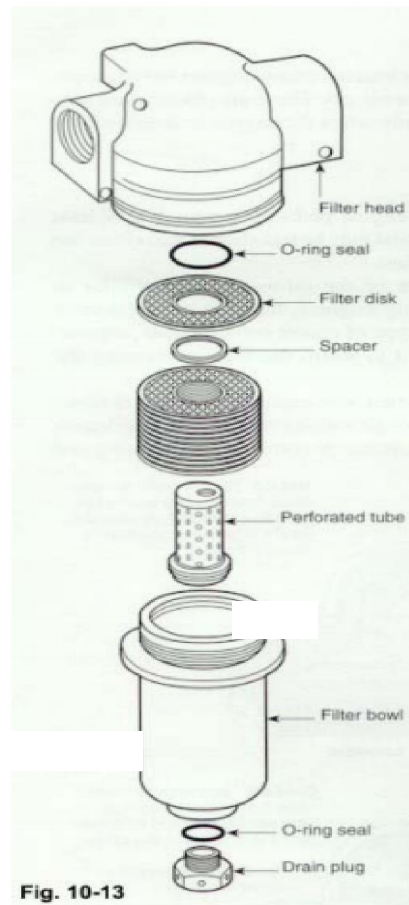


Figura 9: Filtro de discos

2.5.4.2.7. Filtros de fibra plegada

El filtro de fibra plegada impregnada de resina, normalmente puede eliminar contaminantes en la gama de los 15 micrones.

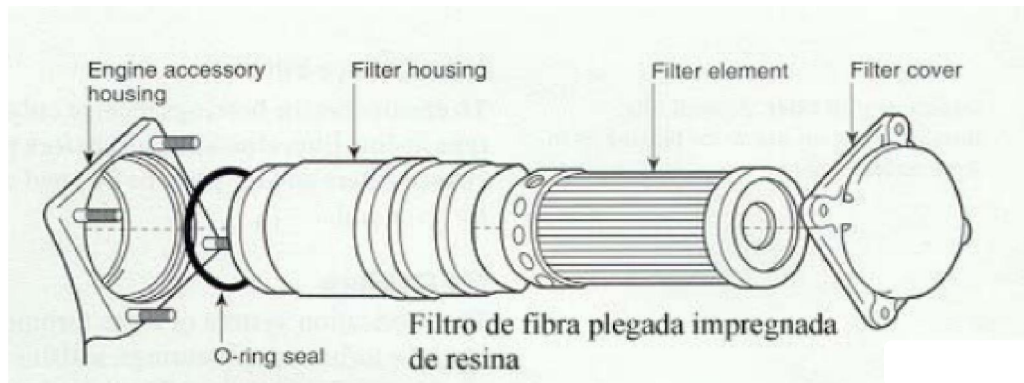


Figura 10: Filtro de fibra plegada

2.5.4.2.8. Instrumentación del Sistema de Lubricación

Debido a la importancia del sistema de lubricación en un motor de turbina de gas, es imperativo que ciertas condiciones sean controladas y la información presentada a la tripulación técnica.

Lo que sigue es un tratado de estas condiciones; la forma en que esta información es presentada se tratará más adelante en el capítulo titulado Sistemas de Indicación.

2.5.4.2.9. Presión de Aceite

Es importante reconocer que en un sistema de lubricación de motor turbina, es la presión del aceite en los inyectores o boquillas de aceite, la que determina la cantidad de aceite pulverizado en los cojinetes. En las cavidades de cojinetes que están presurizadas para evitar la pérdida de aceite a través de los sellos, la presión del aire

en la cavidad tiene influencia sobre la cantidad de aceite que sale por el inyector. En los motores donde existe esta condición, la indicación de presión de aceite es realmente una presión diferencial, la diferencia entre la presión producida por la bomba de aceite y la presión del aire en el sistema de ventilación.

2.5.4.2.10. Aviso de Baja Presión

Además del indicador de presión de aceite en el panel de instrumentos, muchos aviones propulsados por turbinas tienen también una luz de aviso de presión de aceite que se ilumina si la presión cae hasta un valor predeterminado.

2.5.4.2.11. Temperatura del Aceite

El alto régimen de circulación le permite a la temperatura del aceite estabilizarse. Por esta razón en algunos motores la temperatura se mide en el subsistema de presión según sale el aceite del filtro principal, y en otros motores, en el subsistema de recuperación justo antes de que vuelva al depósito.

2.5.4.2.12. Cantidad de Aceite

La cantidad de aceite del depósito de los grandes motores de turbina se mide eléctricamente y se presenta sobre el panel de instrumentos del mecánico de vuelo, o en los aviones que no tienen puesto para el mecánico de vuelo.

Muchos motores grandes están provistos para llenado remoto del depósito de aceite usando un carro de servicio con una bomba de mano. Estos depósitos se llenan hasta que existe indicación del aceite saliendo por la línea de sobrellenado.

La cantidad de aceite en los depósitos de los motores pequeños se determina por una varilla, similar a la mostrada en la figura a la derecha, o por un visor en el lateral del depósito. La varilla está montada en el tapón de la boca de llenado del depósito. Para determinar la cantidad de aceite, quítese el tapón, límpiase todo el aceite de la varilla, y vuélvase a instalar el tapón.

Luego quítese de nuevo y compruébese para ver la cantidad de la varilla que está humedecida con el aceite. Las marcaciones sobre una varilla como la mostrada son opuestas a las de la varilla de un motor de automóvil. Estas marcas indican el número de cuartos de galón americano de aceite necesarios para llenar el depósito hasta su máximo nivel, no la cantidad de aceite que hay en el depósito. Obsérvese que el nivel máximo de aceite cuando está frío es en la marca de un cuarto, pero cuando está caliente, se ha expandido hasta llegar a ras con el pequeño círculo entre las indicaciones para MAX COLD Y MAX HOT. Los números al lado de la ilustración de la varilla muestran la relación entre cuartos de galón americano, cuartos de galón imperial, y litros.

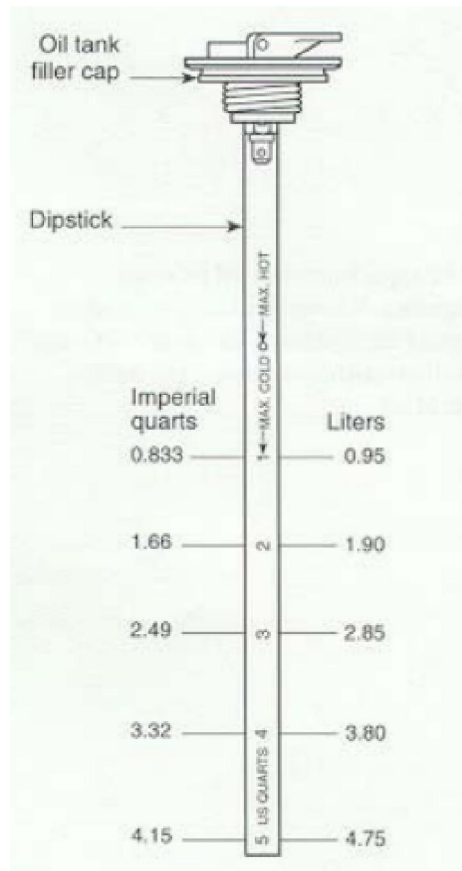


Figura 11: Varilla de tapón de aceite

CAPÍTULO 3

MAQUINA TERMICA A GAS BRAYTON DEL LABORATORIO DE CONVECCION DE ENERGIA

Con todo lo anteriormente descrito, estamos ya en capacidad de hacer un estudio detallado de todo lo concerniente a la Máquina Térmica a Gas Brayton del laboratorio de Convección de energía.

La Máquina Térmica a Gas Brayton que será objeto de nuestro análisis, tiene las siguientes características:

Marca	GILKES-ROLAB
Procedencia	Inglaterra
Año de Fabricación
Marca	GT.85
Características Técnicas	60Hz 220v trifásico 60A

La Máquina Térmica a Gas Brayton GT.85 es un equipo de convección de energía de tipo didáctico, el mismo que fue originalmente concebido para su funcionamiento con el combustible Kerex o Diesel 1, ya que en esa época era un combustible comúnmente usado en este tipo de sistemas.

3.1. ESTUDIO DE COMPONENTES

La Máquina Térmica a Gas Brayton para su correcto funcionamiento dispone de los siguientes componentes:

- I. Un compresor centrifugo
- II. Cámara de combustión
- III. Una turbina de altas revoluciones (Primera etapa)
- IV. Una turbina de potencia o de bajas revoluciones
- V. Bomba de Aceite
- VI. Bomba de Combustible
- VII. Válvula de flujo tipo solenoide para Combustible
- VIII. Medidor de flujo tipo rotámetro para Combustible
- IX. Regulador de presión de Combustible
- X. Un Dinamómetro
- XI. Filtro de Combustible
- XII. Filtro de Aceite
- XIII. Reservorio de Aceite
- XIV. Reservorio de Combustible
- XV. Intercambiador de calor tipo multitubos
- XVI. Tacómetro en la 1ra etapa (turbina de alta revoluciones)
- XVII. Tacómetro en la 2da etapa (turbina de baja revoluciones)

Además de los componentes antes mencionados, la maquina térmica a gas posee varias termocuplas tipo J ubicadas a lo largo del sistema para poder medir las temperaturas que son necesarias al momento de analizar el funcionamiento de la maquina térmica a Gas Brayton, las mismas que tienen la siguiente posición y nomenclatura:

Nombre	Unidad	Denominación
T ₀	°C	Temperatura del ambiente de referencia
T ₂	°C	Temperatura de aire a la entrada de la cámara de combustión
T ₃	°C	Temperatura de gases de combustión
T ₄	°C	Temperatura de gases de combustión (salida Turbina 1- entrada Turbina 2)
T ₅	°C	Temperatura de gases de combustión salida Turbina 2
T _a	°C	Temperatura de aceite

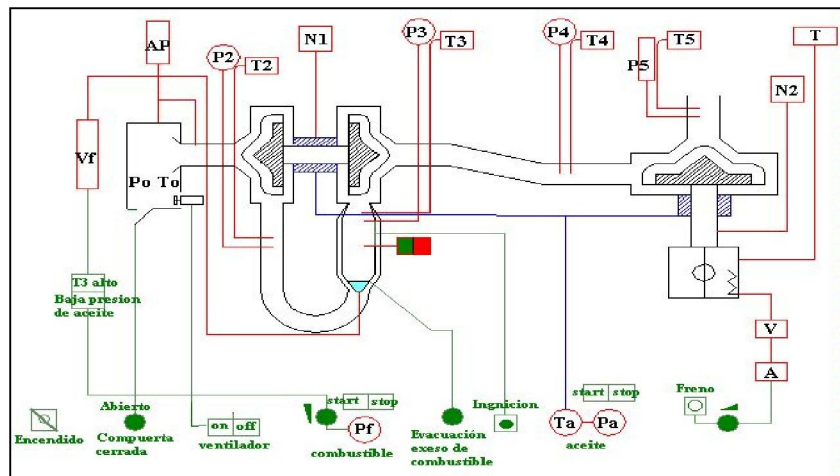


Figura 12: Diagrama esquemático de la Máquina Térmica a Gas Brayton del laboratorio de Convección de Energía.

Nombre	Unidad	Denominación
Vf	lt/h	Caudal de combustible
Pf	Bar	Presión de entrada de combustible
AP	mmHg	Caída de presión en ducto aire-ventilador
P2	Bar	Presión de aire a la entrada de la cámara de combustión
N1	Rev/min	Velocidad de la turbina altas revoluciones
P3	Bar	Presión de gases de combustión (salida cámara-entrada T1)
P4	Bar	Presión de gases de combustión (salida T1-entrada T2)
P5	Bar	Presión de gases de combustión (salida turbina T2)
T	N.m	Torque transmitido de la turbina T2
N2	rev/min	Velocidad de la turbina T2
Po	Bar	Presión del ambiente de referencia
V	Voltios	Voltaje generado mediante la turbina T2
A	Amp	Corriente generada mediante la turbina T2
Pa	Bar	Presión del aceite lubricante de turbinas

Tabla 3: Características del Compresor

Funcionamiento:	El compresor acelera el aire de entrada, el aire pasa por varias etapas de compresión lo cual hace que el aire salga a una velocidad mayor
Marca:	HOLSET
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	503980
Características Técnicas:	CENTRIFUGO n: 80000 RPM

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 4: Características Cámara de Combustión

Funcionamiento:	Por medio de una bujía de encendido, eléctricamente se genera una chispa para encender alcohol, este alcohol encendido da inicio a la quema del Diesel
Marca:	N/D
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	N/D
Características Técnicas:	Temp: 20 – 800 °C

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 5: Características TURBINA Altas Revoluciones (PRIMERA ETAPA)



Funcionamiento:	Los gases de combustión hacen girar el alabe de esta primera turbina
Marca:	N/D
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	52324 8827- 12 JW 8
Características Técnicas:	10000 – 60000 RPM

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 6: Características Turbina de Potencia

Funcionamiento:	Los gases de salida de la primera turbina son aprovechados por esta segunda turbina
Marca:	N/D
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	56161 JW SG 27 12

Características Técnicas:

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 7: Características Bomba de Aceite

Funcionamiento:	Bomba de aceite, lleva el lubricante por todas las cañerías, haciendo circular el mismo a modo de refrigerante
Marca:	PENGUIN
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	788648D
Características Técnicas:	1,73 Gl/min 297 Feet Type SCH 159

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 8: Características Bomba de Combustible

Funcionamiento:	Bomba que absorbe el combustible desde el tanque del mismo, a todo el circuito de combustible de la maquina en general
Marca:	PENGUIN
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	788648 ^a
Características Técnicas:	0,56 Gl/min Type SCH 50

Fuente Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 9: Características Válvula Solenoide

Funcionamiento:	Abre paso del combustible eléctricamente
Marca:	GENEBRE
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	N/D

Características Técnicas: Tipo CPP

De 0 a 6 bar

Max. Presión de prueba: 5 bar

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 10: Características Medidor de Flujo Tipo Rotámetro para Combustible



Funcionamiento:	Ofrece una lectura del flujo de combustible que pasa por las cañerías
Marca:	GEC
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	RA 2916311 H-G

Características Técnicas:

Medición en sistema: SI

Rango: de 40 a 330 ml/s

Apreciación: 10 ml/s

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 11: Características Regulador de Presión de Combustible

Funcionamiento:	Regula el flujo de combustible en el sistema de acuerdo a lo que se puede leer en el rotámetro
Marca:	WHISTEY
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	31RS4

Características Técnicas:

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 12: Características Dinamómetro

Funcionamiento:	Frena el eje para poder medir la fuerza de frenado o torque
Marca:	
Procedencia:	SWITZERLAND
Año:	1978
Modelo:	GB – 19893
Características Técnicas:	8 Kw
	1.2 Nm
	6367 min ⁻¹
	1.5 Nm
	50000 min ⁻¹

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 13: Características Filtro de Combustible

Funcionamiento:	No permite que impurezas pasen al sistema de combustión
Marca:	N/D
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	N/D

Características Técnicas:

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 14: Características Filtro de Aceite

Funcionamiento:	Detiene las impurezas para que no pasen a las partes que van a ser lubricadas
Marca:	N/D
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	N/D

Características Técnicas:

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 15: Características Reservorio de Combustible

Marca:	N/D
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	N/D
Características Técnicas:	Vol. 0,027 m3

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 16: Características Reservorio de Aceite

Marca:	N/D
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	N/D
Características Técnicas:	Vol. 0,027 m ³

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 17: Características Intercambiador de Calor Multitubos

Funcionamiento:	Enfría el aceite que viene de las partes móviles por medio de agua que circula contantemente por los tubos internos
Marca:	BOWMAN
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	1425-2
Características Técnicas:	N/D

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

Tabla 18: TACOMETROS

Marca:	ORBIT
Procedencia:	ENGLAND
Año:	1978
Modelo:	2527
Características Técnicas:	Antes de los 10000 rpm marca con dos decimales, después de 10000 rpm, sin decimales

Fuente: Inspección visual maquina turbina de Vapor

3.2. ANALISIS DEL ESTADO ACTUAL

El equipo del laboratorio de Convección de Energía fue cambiado de combustible y consecuentemente de aceite pero sin haber hecho un estudio previo ni tampoco un procedimiento adecuado para realizar dichas reconversión, más aun, no se cambiaron elementos que como hemos visto son fundamentales en este tipo de procesos de reconversión.

Adicionalmente, al momento de ponerlo en funcionamiento, notamos que el sistema se encontraba totalmente deteriorado, esto debido a que no se ha hecho un previo mantenimiento a las partes que requieren lubricación.

Entre algunos inconvenientes que encontramos actualmente en el equipo, podemos destacar a los más relevantes y de mayor efecto negativo que son:

- El sobre voltaje existente en todo el equipo, el cual provoco sobre calentamiento en los motores de las bombas y avería en los elementos de medición.
- Fugas de agua en el Dinamómetro.
- Daño en el sistema de ignición.
- Daño de los indicadores analógicos de temperatura.

- Daño del indicador de revoluciones de la turbina de la primera etapa.
- Desconexión y ruptura en los cables de las termocuplas.
- Fugas en el sistema de circulación de combustible.
- Obstrucción en las cañerías de lubricación.
- Fugas en el sistema de circulación de agua.
- Debido al escaso funcionamiento que ha tenido el equipo, el aceite no ha sido reemplazado por aceite nuevo desde hace mucho tiempo.
- Daño en el sensor de revoluciones de la turbina de la primera etapa.
- Desconexión del sensor de revoluciones de la turbina de la segunda etapa.
- Obstrucción de los filtros de lubricación y de combustible.
- Deterioro de la red de alimentación de agua a la maquina.
- Deterioro en la red de salida de gases de escape.

3.3. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA PARA LA RECONVERSIÓN

La máquina GT-85, trabaja con gases de escape a temperaturas altas, para lograr estas temperaturas se necesita quemar combustibles, como alternativas, las siguientes:


Tabla 19: Diesel 1 o Kerex

REQUISITOS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	METODO DE ENSAYO
Punto de Inflamación	°C	40		NTE INEN 1047
Agua y sedimento	% en volumen		0.05	NTE INEN 1494
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de destilación	% en peso		0.15	NTE INEN 1491
Cenizas	% en peso		0.01	NTE INEN 1492
Temperaturas de destilación del 90%	°C		288	NTE INEN 926
Viscosidad Cinemática a 37.8 °C	cSt	2.5	3.0	NTE INEN 810
Azufre	% en peso		0.30	NTE INEN 1490
				Continua →

Corrosión a la lamina de cobre		No 2	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado		40	NTE INEN 1495

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 489:99 Cuarta Revisión


Tabla 20: Diesel 2 Bajo Contenido de Azufre

REQUISITOS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	METODO DE ENSAYO
Punto de Inflamación	°C	51		NTE INEN 1047
Agua y sedimento	% en volumen		0.05	NTE INEN 1494
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de destilación	% en peso		0.15	NTE INEN 1491
Cenizas	% en peso		0.01	NTE INEN 1492
Temperaturas de destilación del 90%	°C		360	NTE INEN 926
				Continua 

Viscosidad Cinemática a 37.8 °C	cSt	2.5	6.0	NTE INEN 810
Azufre	% en peso		0.05	NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre			No 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado		45		NTE INEN 1495

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 489:99 Cuarta Revisión

Tabla 21: Diesel 2 Industrial

REQUISITOS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	METODO DE ENSAYO
Punto de Inflamación	°C	51		NTE INEN 1047
Agua y sedimento	% en volumen		0.05	NTE INEN 1494
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de destilación	% en peso		0.15	NTE INEN 1491
				Continua 

Cenizas	% en peso		0.01	NTE INEN 1492
Temperaturas de destilación del 90%	°C		360	NTE INEN 926
Viscosidad Cinemática a 37.8 °C	cSt	2.5	6.0	NTE INEN 810
Azufre	% en peso		0.07	NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre			No 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado		45		NTE INEN 1495

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 489:99 Cuarta Revisión

Analizada las características de los combustibles que se pueden encontrar en el mercado ecuatoriano, de tablas de requisitos de la norma INEN para los combustibles diesel y analizando su facilidad de adquisición, en el presente proyecto se ha elegido el DIESEL 2 bajo contenido de azufre, el cual sus aplicaciones son para automotores de diesel, que requieren de bajo contenido de azufre y alta velocidad.

CAPÍTULO 4

RECONVERSIÓN DEL SISTEMA

4.1. SELECCIÓN Y REDISEÑO DE COMPONENTES Y ACCESORIOS

La Máquina Térmica, por ser de tipo didáctico, posee características técnicas y de diseño tales que está muy por encima de los mínimos requerimientos de diseño, razón por la cual no existe riesgo alguno de utilizar los mismos componentes y accesorios para el combustible Diesel. Sin embargo, la Válvula tipo Solenoide, que es la esencia misma del sistema de alimentación de combustible, si se ve afectada al realizar un cambio de combustible por lo que es necesario realizar un cambio en la misma.

4.1.1. PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DEL CAMBIO DE COMPONENTES.

Como hemos mencionando en la sección 4.1, el único elemento que deberá ser reemplazado es la válvula tipo Solenoide. Para poder realizar dicho cambio de válvula es necesario realizar una selección adecuada de la nueva válvula que estará en el equipo para que ésta pueda funcionar adecuadamente.

El método más adecuado al momento de seleccionar una válvula es realizar un cálculo de la capacidad de combustible de la válvula actual cuando funciona con el combustible Diesel 1 o Kerex, con lo que obtenemos lo siguiente:

Tabla 22: Datos Para la Selección de la Válvula Tipo Solenode

	Diesel 1 o Kerex	
Densidad	0,80	Kg/m ³
Presión de Salida	6	Bar
Poder Calorífico	10300	Kcal/k

Basándonos en los datos anteriores y con información complementaria de la tubería que posee el equipo, procedimos a buscar la válvula más adecuada para el reemplazo.

Tabla 23: Selección de la Válvula Tipo Solenoide

Referencia	Medida	Peso	Cartón/Caja
4220 01 110V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/8".	0.0	1/1
4220 01 220V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/8".	0.22	1/1
4220 01 A24V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/8".	0.0	1/1
4220 01 C12V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/8".	0.0	1/1
4220 01 C24V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/8".	0.35	1/1
4220 02 110V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/4".	0.0	1/1
4220 02 220V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/4".	0.215	1/1
4220 02 A24V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/4".	0.0	1/1
4220 02 C12V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/4".	0.0	1/1
4220 02 C24V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/4".	0.0	1/1
4220 03 110V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 3/8".	0.0	1/1
4220 03 220V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 3/8".	0.379	1/1
4220 03 A24V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 3/8".	0.0	1/1
4220 03 C12V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 3/8".	0.0	1/1
4220 03 C24V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 3/8".	0.379	1/1
4220 04 110V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/2".	0.0	1/1
4220 04 220V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/2".	0.404	1/1
4220 04 A24V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/2".	0.0	1/1
4220 04 C12V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/2".	0.0	1/1
4220 04 C24V	ELECTROVAL.2-VIAS N/C 1/2".	0.404	1/1

Fuente: Catálogo de productos Genebre S.A. (Genebre)

Con el estudio de la Válvula tipo Solenoide del equipo, la cual opera con el combustible Diesel 1 o Kerex para el que fue diseñado, se pudo calcular el valor aproximado de presión de salida, que es de 6 bares, con ese dato se conoció la cantidad de combustible que el equipo opera para su funcionamiento y con la cual se procedió a comprar la válvula tipo Solenoide descrita en la Tabla 4.2 para trabajar con el combustible Diesel Filtrado a una presión de salida de 14 bares.

4.1.2. PROCEDIMIENTO PARA EL REDISEÑO DEL DINAMOMETRO

El no funcionamiento y la no operación de la Máquina Térmica a Gas se vio afectado el Dinamómetro tanto mecánicamente como eléctricamente.

Mecánicamente los elementos y accesorios del Dinamómetro, por su deterioro, fueron reemplazados por elementos nuevos y posteriormente la realización de un mantenimiento correctivo a todas sus partes.



Figura 13: Dinamómetro deteriorado

En el Dinamómetro los elementos y accesorios reemplazados: O´rines, mangueras, rodamientos, cables de conexión eléctrica.

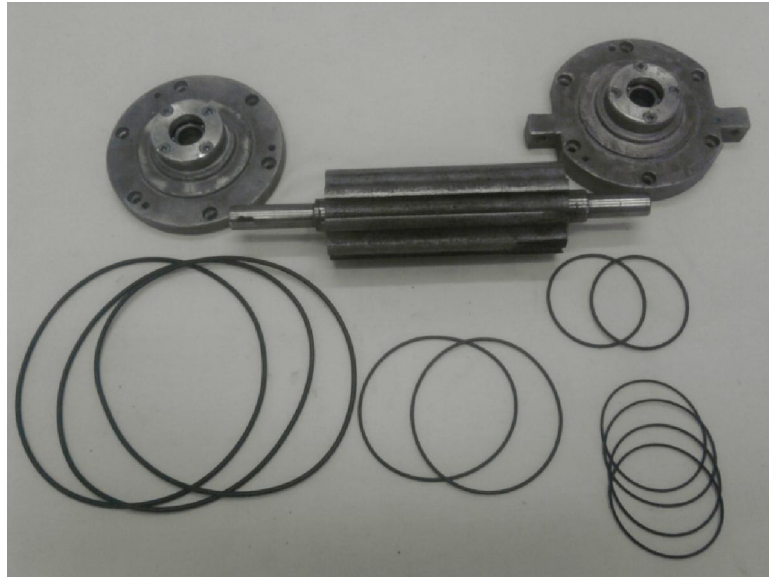


Figura 14: Partes y Elementos de Reemplazo de Dinamómetro

En la coraza por el tiempo sin funcionamiento y sin la previa limpieza del agua circulante por el interior para la refrigeración de la misma, aparecen cavitaciones en el material por donde habían fugas hacia el interior y exterior del dinamómetro.



Figura 15: Coraza del Dinamómetro

En las bobinas del Dinamómetro de igual manera se efectuó una limpieza profunda para eliminar el silicon impregnado en la superficie y observando la continuidad en el sistema eléctrico de la misma.

**Figura 16:** Bobinas del Dinamómetro

Con lo antes ya expuesto, el ensamblaje de todas sus partes y los elementos de recambio se realizó pruebas de fuga de agua y posteriormente en el montaje a la maquina se probó el alineamiento del eje rotor y las uniones con la turbina de potencia.



Figura 17: Ensamblaje del Dinamómetro

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE (DIESEL)

En la industria existen innumerables aplicaciones y clases de sistemas que van desde plantas generadoras hasta industrial nucleares, por lo que es razonable pensar que existen combustibles específicos a cada una de las aplicaciones mencionadas. Para nuestro caso, tenemos la limitación de que el único sustituto recomendable para el Diesel 1 o Kerex es el Diesel Filtrado.

Para la selección del combustible que finalmente tendrá la Máquina Térmica a Gas Brayton motivo de nuestra tesis, tuvimos varios factores que finalmente determinaron que la mejor solución para la reconversión del sistema es el

combustible Diesel Filtrado. Entre las principales razones podemos enumerar las siguientes:

El combustible Diesel Filtrado es el único sustituto disponible en el mercado nacional para nuestra aplicación.

El combustible Diesel Filtrado posee una amplia gama de repuestos además de información técnica sobre sus componentes y propiedades.

El combustible Diesel Filtrado no presenta ningún riesgo para los componentes de la máquina, ya que no reacciona químicamente con ningún material existente en el banco de pruebas.

El combustible Diesel Filtrado tiene una densidad de 0,832 Kg/m³ la cual comparada con la del Diesel 1 o Kerex es la más próxima al valor de su densidad, por lo tanto es el combustible más óptimo para realizar la reconversión del sistema.

No obstante, tanto el Diesel 1 o Kerex como el Diesel Filtrado su combustión es por compresión pero de distinto punto de ebullición, por lo que para el Diesel Filtrado se necesitara menos suministración en la cámara de combustión para que no exista desperdicio del mismo.

4.3. ANALISIS Y SELECCIÓN DE ACEITES LUBRICANTES

El sistema de lubricación de aceite en un turbina es la parte principal de la Maquina Térmica a Gas, ya que el aceite lubrica los cojinetes de la turbina y asegura que las partículas, tales como productos de degradación del aceite y agua, sean transportados lejos de los cojinetes.

En una turbina de gas, la principal preocupación es la contaminación de partículas y la degradación de los productos derivados del aceite que reducen la lubricidad del aceite y llevan al desgaste de los cojinetes y la rápida degradación del aceite.

Para las turbinas a gas, un filtro fino elimina las partículas y la degradación de los productos del aceite, al mismo tiempo.

En las turbinas, por lo general, hablamos sobre aceites de larga duración, en aceite mineral dura de orden a 1 – 2 años y en sintético de calidad puede durar hasta 5 años. La diferencia fundamental son las condiciones de trabajo, los cojinetes, la temperatura que en las turbinas a gas es mayor a los 120 °C.

Analizando los tipos de aceite que ocupan las turbinas a gas, se toma en cuenta las propiedades y lo fundamental que es para seleccionar y elegir el más óptimo.

Los aceites de turbinas a gas son muy distintas a las más convencionales ya que necesitan ser resistentes a una mayor presión y a muy elevadas temperaturas.

4.3.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ACEITES DE TURBINAS A GAS

El aceite elaborado para las turbinas a gas tiene que ser de alto índice de viscosidad, especialmente refinados y tratados para obtener una gran estabilidad química.

4.3.1.1. Viscosidad

La viscosidad es la característica física más importante de cualquier lubricante y todavía es más importante en la lubricación de los componentes de la turbina donde el régimen de lubricación hidrodinámico y el espesor de la película de aceite depende principalmente de la viscosidad del aceite.

La selección de la viscosidad adecuada es un factor tremendamente crítico para un funcionamiento correcto de la turbina. Un cambio en la viscosidad puede dar lugar a un posicionamiento del rotor, tanto axial como radial, indeseado.

Se debe tomar en cuenta que la viscosidad no es un parámetro de calidad del aceite pero sí es un requisito imprescindible para asegurar un comportamiento correcto del sistema.

4.3.1.2. Estabilidad a la Oxidación

La característica más importante de un aceite de turbina, desde el punto de vista de vida del lubricante, es su resistencia a la oxidación bajo las condiciones de trabajo.

La resistencia a la oxidación es muy importante para conservar los valores de viscosidad, resistencia a la formación de lodos, barnices, depósitos, corrosión, buena desemulsionalidad, resistencia a la formación de espuma y una buena desaireación.

La calidad del aceite base y la química de los aditivos son la clave para conseguir productos con una alta estabilidad a la oxidación.

4.3.1.3. Contenido de agua

El agua es uno de los principales enemigos de los aceites. Las condensaciones, contaminación a través de los sellos y otras fuentes tienden a crear emulsiones.

El aceite contaminado con agua y aire tiende a crear herrumbre. Esta herrumbre es abrasiva y puede ocasionar desgaste de los cojinetes, engranajes, fallo en válvulas, etc.

Está claro que el aceite de la turbina tiene muchas posibilidades de presentar contaminación acuosa pero se debe de tener los medios suficientes como para reducir, eliminar y controlar la entrada de agua a la turbina.

4.3.1.4. Índice de acidez

El aumento de índice de acidez puede indicar oxidación o contaminación del aceite.

Los ácidos orgánicos formados durante la oxidación del aceite pueden provocar la corrosión de los cojinetes, formación de productos indeseables como lodos, barnices.

4.3.2. SELECCIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE

Con el análisis del aceite lubricante hecho en el anterior literal, se decidió utilizar el Aceite Mobil DTE 832 y 846, que cumple con los requerimientos que se necesitan para un mejor funcionamiento de la Máquina Térmica a Gas.

Además de cumplir con los requerimientos de los modernos diseños de las turbinas a gas, la serie Mobil DTE 800 es una excelente selección para aplicaciones de ciclo combinado que requieren un único aceite para las turbinas a gas. La excelente resistencia térmica y a la oxidación de Mobil DTE 832 y 846 asegura que puedan operar en los más severos ambientes de trabajo.

Las propiedades de la serie Mobil DTE 800 se traducen en una excelente protección del equipo, un rendimiento de operación excepcional, menores averías y mayor vida de la carga de aceite.

4.3.2.1. PROPIEDADES Y BENEFICIOS

Para las turbinas a gas estacionarias de alta potencia, una protección excepcional contra la degradación térmica y oxidación y un control de los depósitos son factores claves. Un modo de operación severo hace que el lubricante sufra tensión térmica, los filtros se saturan y se acorte la vida del aceite.

La serie DTE 800 ofrece las siguientes propiedades y beneficios:

Tabla 24: Propiedades y Beneficios del Lubricante

PROPIEDADES	BENEFICIOS
Cumple o excede tanto los requerimientos de los principales fabricantes de turbinas de gas.	Evita los costos relacionados con el cambio continuo de aceite
Excelente estabilidad térmica y a la oxidación	Reducción de los costos de inventario
Excelente protección anti-desgaste	Reducción de las averías, una operación más fiable
	Vida de la carga de aceite mas duradera; menores costos de producto
	Excelente protección para

turbinas, menos costos de mantenimiento

Mayor protección del equipo

Excelente demulsibilidad

Funcionamiento eficiente del sistema y menos mantenimiento

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para la comprobación del funcionamiento de la Máquina Térmica a Gas Brayton se realizó una prueba final en la que se obtuvo los siguientes datos:

N1: Revoluciones de la turbina de alta.

N2: Revoluciones de la turbina de baja.

V: Voltaje.

A: Amperaje.

Vf: Consumo de combustible en lt/h.

ΔP : Caída de presión a la entrada del compresor.

P2: Presión manométrica a la salida del compresor.

T2: Temperatura a la salida del compresor.

P3: Presión manométrica de la entrada de los gases en la primera turbina.

T3: Temperatura de entrada de los gases en la primera turbina.

P4: Presión manométrica de salida de los gases en la primera turbina, que es igual a la presión de entrada de los gases en la segunda turbina.

T4: Temperatura de salida de los gases en la primera turbina.

P5: Presión de salida de los gases en la segunda turbina.

T5: Temperatura de salida de los gases en la segunda turbina.

Po: Presión ambiente del aire.

To: Temperatura ambiente.

Esta tabla de datos ser adjuntada en la parte de ANEXOS.

Con los datos obtenidos se procederá a hacer cálculos, estos cálculos se realizarán mediante ecuaciones, que a continuación se detallan:

Características del Compresor

El compresor ofrece un cierto flujo de masa de aire \dot{m}_a y comprime el aire de una presión absoluta P_1 a P_2 , donde las presiones a que se refiere son los valores totales de la cabeza.

La relación global total de la presión del cabezal está dada por la definición

$$r_{\text{ctt}} = \frac{P_2}{P_1}$$

Ec. (4.1) (Gilkes)

Una definición similar basada sobre la medición de la presión estática puede ser evaluada como

$$r_{\text{css}} = \frac{P_2}{P_1}$$

Ec. (4.2) (Gilkes)

donde P_2 y P_1 son la presión estática

Durante el proceso de compresión, la temperatura del aire se eleva desde T_2 a T_4 , donde las temperaturas mencionadas son las temperaturas totales

El trabajo teórico de entrada para este proceso de compresión puede ser derivado como

$$W_c = \dot{m}_a C_{pa} (T_2 - T_4)$$

Ec. (4.3) (Gilkes)

donde C_{pa} = Calor específico a la presión constante para aire (1000 J/KgK)

Para el cálculo del trabajo en una compresión isentrópica, la ecuación quedaría de la siguiente manera

$$W_{ci} = \dot{m}_a C_{pa} T_1 \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{r-1}{r}} - 1 \right)$$

Ec. (4.4) (Gilkes)

Donde $\gamma = 1.4$ para el aire

Una eficiencia isentrópica puede sin embargo derivarse de

$$\eta_{ci} = \frac{W_{ci}}{W_c}$$

Ec. (4.5) (Gilkes)

Primera Turbina

Teoría de la potencia de salida de la turbina 1

$$W_{t2} = (\dot{m}_a + \dot{m}_f) C_{pg} (T_3 - T_4)$$

Ec. (4.6) (Gilkes)

Donde:

\dot{m}_f = flujo de combustible (kg/s)

C_{pg} = calor específico del combustible (J/ Kg °K)

Eficiencia isentrópica

$$\eta_{STA} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_4} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 \left[1 - \left(\frac{1}{\left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) \right]}$$

Ec. (4.7) (Gilkes)

En este caso la turbina está usando productos de combustión a alta temperatura como un fluido de trabajo y el valor de γ , la proporción principal específica de calor, es reducida a un promedio de 1.33.

Teoría de la potencia de salida de la turbina 1

$$W_{t2} = (\dot{m}_a + \dot{m}_f) C_{pg} (T_3 - T_4)$$

Teoría de la potencia de entrada del compresor

$$W_{c1} = \dot{m}_a C_{pa} (T_2 - T_1)$$

Dado que habrá pérdidas mecánicas entre la primera turbina y el compresor.

$$W_{ti} > W_c$$

o

$$W_{ti} = W_c + \text{perdidas}$$

Si asumimos que las pérdidas mecánicas están igualmente divididas entre el compresor y la turbina, las siguientes ecuaciones pueden considerarse

Total de la potencia de salida de la turbina

$$1 \times W_{oti} = W_{ti} - \frac{(W_{ti} - W_c)}{2} = \frac{(W_{ti} + W_c)}{2}$$

$$W_{oti} = W_{oc} = \text{Total de potencia de entrada al compresor.}$$

Por lo tanto es posible determinar las eficiencias mecánicas del compresor y la primera turbina y éstas están dadas por las relaciones

$$\eta_{mc} = \frac{\text{Teoría de la potencia de entrada}}{\text{Potencia de entrada actual}} = \frac{2W_c}{W_c + W_{t2}} \times 100\%$$

Ec. (4.8) (Gilkes)

$$\eta_{mc} = \frac{\text{Potencia actual de salida}}{\text{Teoría de la Potencia de Salida}} = \frac{W_c + W_{t2}}{2W_{t2}} \times 100\%$$

Ec. (4.9) (Gilkes)

Segunda Turbina

Eficiencia isentrópica

$$\eta_{STB} = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T_5} = \frac{T_4 - T_5}{T_4 \left[1 - \left(\frac{1}{\left(\frac{P_4}{P_5} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) \right]}$$

Ec. (4.10) (Gilkes)

Dónde:

T4 = temperatura a la entrada de la 2da turbina (°k)

T5 = temperatura a la salida de la 2da turbina (°k)

P4 = presión a la entrada de la 2da turbina (bar)

P5 = presión a la salida de la 2da turbina (bar)

Potencia teórica de salida

$$W_{tB} = (\dot{m}_a + \dot{m}_f) C_{pg} (T_4 - T_5)$$

Ec. (4.11) (Gilkes)

Para la segunda turbina, la potencia real de salida puede ser medido por un dinamómetro y por lo tanto

Total de la Potencia de salida

$$W_{oTB} = \frac{2\pi N_2 T}{60}$$

Ec.(4.12) (Gilkes)

Por lo tanto una eficiencia mecánica puede ser definido como

$$\eta_{mt2} = \frac{W_{oTB}}{W_{tB}} \times 100\%$$

Ec.(4.13) (Gilkes)Eficiencia Térmica η_{th}

Esto se refiere meramente a la eficiencia de la unidad como recurso de potencia y está definido como

$$\text{Eficiencia Termica } \eta_{th} = \frac{\text{Trabajo de salida}}{\text{Calor de entrada}} = \frac{W_{otB}}{\dot{m}_f \eta_{cv}} \times 100$$

Ec.(4.14) (Gilkes)

Donde h_{cv} es el valor calorífico menor del combustible usado. Para diesel usado por la GT85-2, el valor es

$$\eta_{cv} = 32.7 \times 10^6 \text{ J/kg.}$$

La eficiencia de la combustión está dada por

$$\eta_{cc} = \frac{T_3 - T_4}{\Delta T_{cc}}$$

Ec.(4.15)

Donde $\Delta T_{cc} = T_3 - T_2$

Consumo Específico de Combustible sfc

Esto da un medio básico de comparar el combustible requerido por unidad de potencia de salida para diferentes motores térmicos y está definido como

$$\text{sfc} = \frac{m_f}{W_{otB}} \quad (\text{kg } ^\circ\text{K/s})$$

Ec.(4.16) (Gilkes)

Perdidas de presión en la cámara de combustión están dadas por

$$\Delta P_{cc} = \frac{P_2 - P_3}{P_2} \times 100\%$$

Graficas resultados se adjuntaran en ANEXOS

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

En el presente capitulo se procederá a realizar el análisis económico y financiero de la RECONVERSIÓN DE LA MAQUINA TÉRMICA A GAS BRAYTON DEL LABORATORIO DE CONVERSION DE ENERGIA DE LA ESPE USANDO DIESEL FILTRADO EN REEMPLAZO DE DIESEL 1 O KEREX.

Se toma como referencia para conocimiento una maquina de mejor nivel tecnológico.

5.1.PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

La inversión está definida como la cantidad o valor económico de los recursos necesarios para la ejecución del proyecto incluido el programa de pruebas y ensayos para su operación y funcionamiento, los cuales comprenden: Costos Directos, Costos Indirectos.

5.1.1. Costos directos

Son los cargos por concepto de material, de mano de obra y de gastos, correspondientes directamente al diseño, fabricación, montaje y validación.

Tabla 25: Diseño e Ingeniería

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	COSTO	OBSERVACIONES
				UNITARIO	TOTAL	
				(\$)	(\$)	
1	Graduados	Horas	600	2.5	1500	
2	Asesores Directos	Horas	40	20	800	
3	Alquiler computadoras	Horas	10	30	300	
4	Utilización de Software	Horas	150	1	150	
5	Utilización tecnológica	Horas	200	1	200	

Σ Total (\$)	2950
---------------------	-------------

Tabla 26: Materiales y Partes

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	OBSERVACIONES
1	Manguera	M	50	1.20	60	
2	O'lines Ø 6''	U	4	1.5	6	
3	O'lines Ø 3''	U	10	0.60	6	
4	Alambre # 14	M	5	2	10	
5	Rines de Escape	U	2	12.5	25	
6	Pernos UNF ¼"x1"	U	30	0.50	15	
7	Rodamientos Altas RPM	U	4	25	100	
8	Enchufe trifásico	U	1	9	9	
9	Cajetín 50	U	1	7	7	
10	Ducto gases de escape	U	1	195	195	
11	Manga	U	1	20	20	

Σ Total (\$)	453
---------------------	------------

Tabla 27: Equipo y Maquinaria

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	OBSERVACIONES
1	Rebobinado de	U	2	110	220	
2	Medidor de pulso	U	1	70	70	
3	Tacómetro	U	1	90	90	
4	Sistema Control	U	1	672	672	
5	Sensor Capacitivo	U	1	50.48	50.48	
6	Sensor Inductivo	U	1	57.12	57.12	
7	Válvula tipo	U	1	53.11	53.11	
8	Termocupla tipo J	U	1	45	45	

Σ Total (\$)	1257.71
---------------------	----------------

Tabla 28: Mano de Obra

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	OBSERVACIONES
1	Tornero	Horas	10	5	50	
2	Eléctrico	Horas	4	25	100	
3	Soldador	Horas	2	10	20	
4	Electrónico	Horas	4	15	60	

Σ Total (\$)	230
---------------------	------------

Tabla 29: Montaje y Validación

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	OBSERVACIONES
1	Pruebas de Operación	Horas	4	40	160	
2	Pruebas de Funcionamiento	Horas	5	20	100	
3	Pruebas de Experimentales	Horas	5	30	150	
4	Otros servicios	Horas	20	10	200	

Σ Total (\$)	610
---------------------	------------

Σ Total Costos Directos (\$)	5500.71
-------------------------------------	----------------

5.1.2. COSTOS INDIRECTOS**Tabla 30:** Costos indirectos

Denominación	Valor
Transporte	250
Servicios Generales	150
TOTAL	400

Σ Total Inversión Inicial (\$)	5900.71
---------------------------------------	----------------

5.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

EL análisis económico corresponde a la operación y funcionamiento de la maquina y su utilidad tanto técnica como económica para determinar el beneficio del presente proyecto.

En este análisis se indica el presupuesto de ingresos y de egresos; rubros necesarios para la operación y funcionamiento de la maquina actual.

5.2.1. PRESUPUESTO INGRESOS

El presente proyecto de tesis es de finalidad académica en forma principal para estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica de Escuela Politécnica del Ejército y en algunas ocasiones para estudiantes de otras instituciones de educación superior que solicitaren para fundamentar la parte teórica a través de pruebas o proyectos experimentales.

Por lo anteriormente citado el presupuesto de ingresos representa toda aquel ingreso que se genera por el pago del crédito estudiantil que corresponde en forma parcial y proporcional para desarrollar la práctica académica experimental utilizando la maquina finalidad de este proyecto.

Se realiza una proyección de un número de estudiantes que tomaran las materias que contienen temas relacionados para la aplicación de una práctica en el equipo.

Tabla 31: Presupuesto de ingreso

Número de paralelos / semestre	Número de alumnos / paralelo	Total alumnos / paralelo (ESPE)	Total alumnos / paralelo (Otras Universidades)	Total alumnos / semestre
4	25	100	100	200

El valor estimado del crédito es de \$100 dólares, por lo tanto:

Tabla 32: Detalle presupuesto de ingresos ESPE

Total alumnos / Semestre	Valor crédito / Hora	Total ingreso semestral [\$]
200	100	20000

La asignatura establecida para realizar esta práctica cuenta en promedio con 4 créditos, los cuales están divididos en:

- 3 créditos clase teórica
- 1 crédito clase práctica

En un semestre se establecen 10 prácticas, una de las cuales es la práctica de la Maquina a Gas Brayton.

El coeficiente Dos (2), es porque el presupuesto de ingreso es anual, en cuanto los valores antes obtenidos son semestrales, por tanto:

$$\text{Presupuesto ingreso}_{\text{año}} = 2 \frac{1}{10} (\text{Total ingreso semestral})$$

Ec. (5.1)

$$\text{Presupuesto ingreso}_{\text{año}} = 2 \left(\frac{20000}{10} \right)$$

$$\text{Presupuesto ingreso}_{\text{año}} = 4000 \text{ dolares}$$

5.2.2. PRESUPUESTO EGRESOS

5.2.2.1. Costos operativos

Son todos los gastos que se generen por el funcionamiento del equipo en las prácticas destinadas para el aprendizaje.

Tabla 33: Costos Operativos

Denominación	Valor / anual [\$]
Mantenimiento	590
Depreciación	590
Insumos	250
TOTAL	1330

5.2.2.2. Costos Administrativos

Tabla 34: Costos Administrativos

Denominación	Valor / anual [\$]
Personal	100
Servicios	200
TOTAL	300

$$\text{Egreso Total} = \text{Costos Operativos}_{\text{Total}} + \text{Costos Administrativos}_{\text{Total}}$$

Ec. (5.2)

$$\text{Egreso Total} = 1330 + 300$$

$$\text{Egreso Total} = 1630 \text{ [Dolares]}$$

5.2.2.3. Beneficio

Para encontrar el valor del beneficio para nuestro proyecto se realizara lo siguiente:

$$\text{Beneficio} = \text{Ingresos}_{\text{Total}} - \text{Egresos}_{\text{Total}}$$

Ec. (5.3)

$$\text{Beneficio} = 4000 - 1630$$

$$\text{Beneficio} = 2370 \text{ [Dolares]}$$

5.3. ANALISIS FINANCIERO

5.3.1. Van

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá nuestro proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable, entonces:

$$\text{Flujo de caja neto} = \text{Presupuesto Ingreso}_{\text{año}} - \text{Beneficio}$$

Ec.(5.4)

Flujo de caja neto = 4000 – 1630

Flujo de caja neto = 2370 [dolares]

Tabla 35: VAN

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo de caja neto (FC)	2370	2370	2370	2370	2370

Tasa de descuento 12%

 $i = 0.12$

VAN = BNA – Inversion

$$VAN = \frac{FC}{(1+i)^1} + \frac{FC}{(1+i)^2} + \frac{FC}{(1+i)^3} + \frac{FC}{(1+i)^4} + \frac{FC}{(1+i)^5} - 2000$$

Ec. (5.5)

$$VAN = \frac{2370}{(1+0.12)^1} + \frac{2370}{(1+0.12)^2} + \frac{2370}{(1+0.12)^3} + \frac{2370}{(1+0.12)^4} + \frac{2370}{(1+0.12)^5} - 5900.71$$

$$VAN = 8543.32 - 5900.71$$

$$VAN = 2642.61$$

VAN > 0 → Proyecto Rentable

5.3.2. TIR

La TIR es la tasa de descuento (TD) de un proyecto de inversión que permite que el BNA sea igual a la inversión (VAN igual a 0). La TIR es la máxima TD que puede tener un proyecto para que sea rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el BNA sea menor que la inversión (VAN menor que 0).

Tabla 36: TIR

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo de caja neto (FC)	2370	2370	2370	2370	2370

Tasa interna de retorno (TIR) 28.5%

$$i = 0.285$$

5.3.3. BENEFICIO/COSTO

El análisis de Beneficio –/Costo es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de los costos y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto.

$$\text{Relacion Beneficio/Costo} = \frac{\text{Total Ingresos Actualizados}}{\text{Total Costos Actualizados} + \text{Inversion}}$$

Ec.(5.6)

$$\text{Relacion Beneficio/Costo} = \frac{\text{Total Beneficios Actualizados}}{\text{Inversion Inicial Total}}$$

Ec.(5.7)

$$\text{Relacion Beneficio/Costo} = \frac{8543.32}{5900.71}$$

$$\text{Relacion Beneficio/Costo} = 1.44$$

Relacion Beneficio/Costo = 1.44 > 1 El proyecto es rentable

1.1. ANALISIS IMPACTO SOCIAL, ECONOMICO, AMBIENTAL

1.1.1. IMPACTO SOCIAL

Es un proyecto académico, social sin fines de lucro que representa un impacto significativo en la formación de profesionales de alto nivel en las dos carreras, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica y otras carreras afines de la ciencia de la Energía y Mecánica.

1.1.2. IMPACTO ECONOMICO

Este proyecto a pesar de ser sin fines de lucro se puede observar que considerando el pago del crédito real de los estudiantes que cursan las dos carreras técnicas de acuerdo al análisis de costos actuales (100 Dólares cada crédito), se observa de acuerdo al análisis económico financiero tiene un beneficio tangible en la

parte económica sin haber considerado el beneficio intangible que representa en habilitar un equipo o una maquina experimental para el desarrollo de las practicas de los futuros profesionales.

VAN=2642.61

TIR=28.5%

B/C=1.44

Tabla 377: MAQUINAS TERMICAS ACTUALES

Maquinas Térmicas a Gas	Origen	Combustible	Costo (\$)(£)
Lx 4000	Estados Unidos	DIESEL	33.145 dólares
TTL's SR-30	Estados Unidos	DIESEL	35.000 dólares
SR-30 Turbo Jet	Estados Unidos	DIESEL	25.000 dólares
TWO-SHAFT GAS TURBINE (GT185)	Inglaterra	KEREX	60000 GBP

Reconversión de la Maquina Térmica a Gas Brayton, con un costo de \$ 5900.71 (Cinco mil Dólares); lógicamente a partir de una Maquina o un equipo de anterior tecnología, propiedad del laboratorio de Conversión de Energía de la Escuela Politécnica del Ejercito.

1.1.3. IMPACTO AMBIENTAL

Este proyecto produce cierto efecto casi despreciable en el ambiente porque la combustión desarrollada tiene un nivel alto de eficiencia.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- En el desarrollo del proyecto se pudo determinar el procedimiento más idóneo para la realización de un recambio de combustible en la Máquina Térmica a Gas Brayton.
- Se necesitó de un conocimiento apropiado sobre la evolución y desarrollo de las Máquinas Térmicas y sus sistemas para fortalecer el incremento de la eficiencia y conservación ambiental.
- En este proyecto se llevó consecutivamente y en forma técnica a comprobar el funcionamiento óptimo de la Máquina Térmica a Gas Brayton, para su utilización en las prácticas demostrativas en el laboratorio.
- Se determinó que la reconversión es la opción de menor costo "\$5900.71" para mantener la funcionalidad del equipo, en comparación con el reemplazo por uno nuevo; cuyos valores de precios oscilan entre 90000 y 100000 Dólares.
- El beneficio de este proyecto no es estrictamente económico a pesar de que se recupera la inversión realizada, lo importante es medir su beneficio como utilidad para la comunidad politécnica y/o universitaria.

- El dinamómetro, por causas de re manufacturación, su eficiencia disminuyo y la operación del mismo no está en óptimas condiciones, por tanto su cumplió su vida útil. La reparación es costosa y se recomienda la adquisición de uno nuevo.

6.2. RECOMENDACIONES.

- Para la realización de las prácticas de laboratorio en donde se use la Maquina a Gas Brayton se debe esperar un tiempo de 30 a 45 minutos para la estabilización del sistema a las condiciones de funcionamiento.
- Se debe realizar una revisión periódica del nivel de aceite para evitar daños en el mismo, además revisar el nivel de combustible antes de cada práctica para garantizar la eficacia de los datos a obtenerse.
- En el funcionamiento del equipo cuando se realicen las prácticas respectivas, se deberá tener precaución al momento de suministrar el alcohol, porque de existir un exceso en la cámara de combustión producirá contra explosiones fuertes que provocaría ruptura de vidrios y sismos.
- Estimular este tipo de proyectos para mejorar el nivel de enseñanza de aprendizaje en las instituciones de educación superior del país.

BIBLIOGRAFIA

Bannister, K. E. (1996). *Lubrication for Industry*. New York: Industrial Press Inc.

Genebre. (n.d.). *www.genebre.com*. Retrieved from http://www.genebre.com/wps/portal/es/!ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3h_Tyd_NzcPIwN3YwtDAYMXQydDPx9LA8cgY6B8JJK8hXOYBVDe0c3M0CnE2NHdkIDucJB9-PWD5A1wAEcDfT-P_NxU_Uj9KHOc9oQZ6If0F-RGGGSZRCoCAGE2GQg!/dl2/d1/L0lDU0lKSmdvS1VRb0tVUSEvb0NvZ0FFSVF oakVDVUpSb

Gilkes. (n.d.). *Operation Hand Book GT85* . Gilkes.

Group, S. (1992). *Manual SKF de Mantenimiento de Rodamientos*. Lerum Suecia: Linde Information AB.

Huang, F. F. (1994). *Termodinamica Segunda edición*. Mexico: Editorial Continental.

Merle C. Potter, C. W. (2004). *Termodinamica para Ingenieros*. España: Mc Graw - Hill / Interamericana de España Mc Graw - Hill.

Merle C. Potter, E. P. (2006). *Termodinamica*. Mexico: Thomson Editores.

SHELL. (n.d.). *SHELL.COM*. Retrieved from <http://s03.staticshell.com/content/dam/shell/static/public/downloads/business-lubricants-pkg/product-range-brochures/shell-turbo-gt-brochure.pdf>

Valadez, J. A. (2001). *Termodinamica tercera edición*. Mexico: Seditograf.

Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Retrieved from Wikipedia:

http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_de_vapor