

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Título

“Diseño de un plan de mantenimiento para la reparación de un grupo
electrógeno marino”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Jhofre Javier Suica Duchi

Jonathan David Guamán Yuquilema

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

Dedicatoria

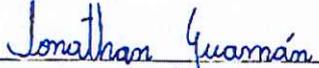
Este trabajo de titulación se la dedicó a Dios, mi mamá, mi papá, mis hermanos y a una persona en especial, para que vean que su apoyo siempre fue importante para demostrar que con esfuerzo y dedicación se puede lograr lo que se propone.

Agradecimientos

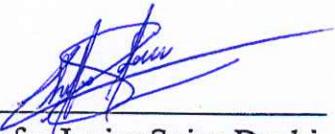
 Mi más sentido de agradecimiento a mis padres que me apoyaron arduamente en mi vida estudiantil y a mis profesores que dedicaron su tiempo a transmitir sus conocimientos, pero en especial a Dios que me dio la capacidad y la salud para llegar hasta aquí, sin su ayuda esto no hubiera sido posible.

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jonathan David Guamán Yuquilema y Jhofre Javier Suica Duchi damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”


Jonathan David Guamán

Yuquilema


Jhofre Javier Suica Duchi

Evaluadores

Francis Roderich Loayza Paredes

Profesor de Materia

Ernesto Rolando Martínez Lozano

Tutor de proyecto

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño de un plan de mantenimiento para la recuperación de un grupo electrógeno perteneciente a un remolcador, el cual es el encargado de abastecer de emergencia a toda la embarcación que, al ya haber superado las 8000 horas de servicio presenta fallas en su funcionamiento por lo que requiere la recuperación de sus parámetros de trabajo para garantizar que la embarcación cumpla la actividad de atracar barcos en los puertos. Para lograrlo se realizó un plan mantenimiento cero horas sobre el generador y el motor de combustión del grupo electrógeno, en donde se describía las actividades a realizar, el tiempo estimado para llevar a cabo la actividad y las herramientas a usar. Además de esto también se realizó un plan de mantenimiento preventivo para garantizar el correcto funcionamiento del equipo por largo tiempo. Los resultados obtenidos permitieron demostrar la recuperación del grupo electrógeno, permitiéndonos concluir que la mejor opción para la reparar el equipo en estudio es la implementación del mantenimiento cero horas en lugar de adquirir un nuevo equipo y que la mejor forma de prolongar su vida útil es mediante el cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo diseñado en este proyecto.

Palabras Clave: Mantenimiento cero horas, Mantenimiento preventivo, Grupo electrógeno, Generador, Motor de combustión, Nave remolcadora

ABSTRACT

This work presents the design of a maintenance plan for the recovery of a generator set belonging to a tugboat, which is responsible for supplying emergency power to the entire vessel, which, having already exceeded 8000 hours of service, has malfunctions, and therefore requires the recovery of its working parameters to ensure that the vessel fulfills the activity of docking ships in ports. To achieve this, a zero-hour maintenance plan was drawn up for the generator and the combustion engine of the genset, describing the activities to be performed, the estimated time to carry out the activity and the tools to be used. In addition to this, a preventive maintenance plan was also carried out to guarantee the correct operation of the equipment for a long time. The results obtained allowed us to demonstrate the recovery of the generator set, allowing us to conclude that the best option for repairing the equipment under study is the implementation of zero-hour maintenance instead of acquiring new equipment and that the best way to prolong its useful life is through compliance with the preventive maintenance plan designed in this project.

Keywords: *Zero hours maintenance, Preventive maintenance, Generator set, Electric generator, Combustion engine, Towing ship.*

Índice general

Evaluadores	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
Abreviaturas	XVI
Simbología	XVII
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación del problema	4
1.4 Objetivos.....	5
<i>1.4.1 Objetivo General</i>	5
<i>1.4.2 Objetivos Específicos</i>	5
1.5 Marco teórico	6
<i>1.5.1 Grupo electrógeno</i>	6
<i>1.5.2 Motores de combustión interna</i>	7
1.5.2.1 Presión media efectiva.	8
1.5.2.2 Factor de corrección.....	8
<i>1.5.3 Parte generatriz</i>	10
<i>1.5.4 Tipos de mantenimiento</i>	11

1.5.4.1	Mantenimiento predictivo.	11
1.5.4.2	Mantenimiento preventivo.	11
1.5.4.3	Mantenimiento correctivo.	11
<i>1.5.5</i>	<i>Mantenimiento de Grupos electrógenos</i>	12
<i>1.5.6</i>	<i>Formulas de Mantenimiento</i>	12
1.5.6.1	Tiempo medio de reparación.....	12
1.5.6.2	Tiempo medio entre fallas.....	13
1.5.6.3	Disponibilidad.	14
1.5.6.4	Confiabilidad.....	14
1.5.6.5	Coste de mantenimiento sobre valor de reposición.....	15
Capítulo 2	16
2.1	Metodología.....	17
2.2	Alternativas de solución.....	17
<i>2.2.1</i>	<i>Alternativa 1: Mantenimiento correctivo</i>	17
2.2.1.1	Ventajas.....	17
2.2.1.2	Desventajas.....	18
2.2.1.3	Salud pública y Aspectos Ambientales.	18
2.2.1.4	Seguridad y Bienestar.....	18
2.2.1.5	Aspecto Cultural y Social.....	18
2.2.1.6	Aspecto Económico.....	19

2.2.1.7 Aspecto Técnico.....	19
2.2.2 <i>Alternativa 2: Mantenimiento preventivo</i>	19
2.2.2.1 Ventajas.....	19
2.2.2.2 Desventajas.....	20
2.2.2.3 Salud Pública y Aspectos Ambientales.....	20
2.2.2.4 Seguridad y Bienestar.....	20
2.2.2.5 Aspecto Cultural y Social.....	20
2.2.2.6 Aspecto Económico.....	21
2.2.2.7 Aspecto Técnico.....	21
2.2.3 <i>Alternativa 3: Mantenimiento cero horas</i>	21
2.2.3.1 Ventajas.....	21
2.2.3.2 Desventajas.....	21
2.2.3.3 Salud Pública y Aspectos Ambientales.....	22
2.2.3.4 Seguridad y Bienestar.....	22
2.2.3.5 Aspecto Cultural y Social.....	22
2.2.3.6 Aspecto Económico.....	22
2.2.3.7 Aspecto Técnico.....	22
2.3 Métodos de selección de la mejor alternativa	23
2.3.1 <i>Opción 1: Ábaco de M. Noiret</i>	23
2.3.2 <i>Opción 2: Matriz de decisión</i>	23

2.3.2.1 Descripción de los parámetros del método de comparación por pares.	24
2.3.2.2 Grado de importancia.	24
2.3.2.3 Matriz.	26
2.4 Selección de alternativa ganadora.....	27
2.5 Desarrollo de la alternativa ganadora	27
2.5.1 <i>Etapa 1: Inspección y diagnóstico del estado preliminar del grupo electrógeno</i>	27
2.5.1.2 Voltaje línea a línea.....	29
2.5.1.3 Potencia del motor.....	30
2.5.1.4 Revoluciones del motor.....	31
2.5.1.5 Diagnostico visual del generador.	32
2.5.1.6 Baja presión de aceite.....	33
2.5.1.7 Baja presión de combustible.	33
2.5.1.8 Exceso de humo negro.	33
2.5.1.9 Pronóstico de las actividades de mantenimiento del generador.....	34
2.5.1.10 Pronóstico de las actividades de mantenimiento del motor de combustión.	35
2.5.1.11 Condiciones de trabajo.....	36
2.5.1.12 Recomendaciones del fabricante.....	37
2.5.1.13 Proforma preliminar del mantenimiento.	38

2.5.2 Etapa 2: Desarmado y mantenimiento de la parte eléctrica y mecánica del grupo electrógeno	41
2.5.2.1 Mantenimiento del generador.....	41
2.5.2.2 Estado de bloque de motor.	44
2.5.2.3 Estado de la culata del motor de combustión interna.....	45
2.5.2.4 Revisión de las camisas del bloque del motor.....	46
2.5.2.5 Revisión de las bancadas.....	47
2.5.2.6 Estado de los anillos.....	48
2.5.2.7 Revisión del muñón de biela y muñón de bancada del cigüeñal.....	49
2.5.2.8 Estado de la biela.....	50
2.5.2.9 Revisión de la bomba de aceite.....	51
2.5.2.10 Estado de los inyectores.....	51
2.5.2.11 Revisión de la bomba de inyección.....	53
2.5.3 Armado del motor de combustión interna	53
2.5.3.1 Camisas nuevas.....	53
2.5.3.2 Cojinetes de bancada.....	53
2.5.3.3 Anillos nuevos en camisas.....	54
2.5.3.4 Cigüeñal: muñón de bancada.....	54
2.5.3.5 Cigüeñal: muñón de biela.....	54
2.5.3.6 Cojinete de la biela.....	54

2.5.3.7 Calibración de inyectores.....	55
2.5.3.8 Bomba de inyección.....	56
Capítulo 3.....	57
3.1 Resultados del mantenimiento.....	58
3.1.1 Parte eléctrica.....	58
3.1.1.1 Prueba de aislamiento del generador.....	58
3.1.2 Parte mecánica.....	61
3.1.2.1 Mediciones de las camisas del bloque del motor.....	61
3.1.2.2 Mediciones de los cojinetes de bancada.....	64
3.1.2.3 Mediciones de los anillos.....	67
3.1.2.4 Mediciones de los muñones de bancada del cigüeñal.....	71
3.1.2.5 Mediciones de los muñones de biela del cigüeñal.....	74
3.1.2.6 Medición de los cojinetes de biela.....	77
3.1.2.7 Lectura del voltaje línea a línea.....	80
3.1.2.8 Lectura de la potencia del motor.....	80
3.1.2.9 Lectura de la frecuencia del motor.....	81
3.1.2.10 Lectura de las revoluciones del motor.....	82
3.1.2.11 Porcentaje de mejora de la frecuencia.....	82
3.1.2.12 Porcentaje de mejora de las revoluciones del motor.....	83
3.1.2.13 Tiempo medio de reparación.....	83

3.1.2.14	Tiempo medio entre fallas.....	84
3.1.2.15	Disponibilidad.....	84
3.1.2.16	Confiabilidad.....	85
3.1.3	<i>Costos de repuestos</i>	86
3.1.3.1	Coste de mantenimiento sobre valor de reposición.....	88
3.1.4	<i>Programa de mantenimiento preventivo</i>	89
3.2	Análisis de resultados.....	90
3.2.1	<i>Prueba de aislamiento del generador</i>	90
3.2.2	<i>Mediciones de las camisas y anillos</i>	91
3.2.3	<i>Mediciones de los cojinetes de bancada</i>	92
3.2.4	<i>Medición de los cojinetes de biela</i>	92
3.2.5	<i>Medición de los muñones de biela y bancada</i>	92
3.2.6	<i>Inyectores</i>	93
3.2.7	<i>Lectura de voltaje línea a línea</i>	93
3.2.8	<i>Lectura de frecuencia, revoluciones y potencia del motor</i>	93
3.2.9	<i>Cronograma de actividades de reparación del grupo electrógeno</i>	94
3.2.10	<i>Costos de repuestos</i>	95
3.2.11	<i>Plan de mantenimiento cero horas</i>	96
3.2.12	<i>Plan de mantenimiento preventivo</i>	96
Capítulo 4	98

4.1 Conclusiones y Recomendaciones	99
Referencias	101
Anexos.....	103
APÉNDICES	132

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
IIEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	Organización Internacional de Normalización
CAPESI	Reglamento de instalación de Grupos Electrónicos de emergencia

Simbología

mil	milésimas de pulgada
mm	Milímetro
m	Metro
mV	Milivoltio
V	Volt
MΩ	Megaohmios
kVA	Kilovoltamperio

Índice de figuras

Figura 1.1 Ciclo de transformación calorífica, mecánica y eléctrica (Molina, 2022).....	6
Figura 1.2 Partes de un generador marino (S.A W. E., 2011)	10
Figura 2.1 Resultados de comparación por pares.....	26
Figura 2.2 Medición de frecuencia del generador.....	28
Figura 2.3 Medición del voltaje Línea a Línea	29
Figura 2.4 Potencia del motor	30
Figura 2.5 Medición de las RPM del motor	31
Figura 2.6 Presencia de cuerpos extraños en el generador.....	32
Figura 2.7 Prueba de aislamiento antes del mantenimiento	42
Figura 2.8 Prueba de aislamiento después del mantenimiento	43
Figura 2.9 Medición de planicidad transversal y vertical del bloque del motor	44
Figura 2.10 Revisión del estado de la culata.....	45
Figura 2.11 Medición de camisas.....	46
Figura 2.12 Medición de diámetro interno de bancada con cojinetes.....	47
Figura 2.13 Medición de los anillos en camisas viejas	48
Figura 2.14 Medición del muñón de bancada	49
Figura 2.16 Medición del diámetro interno del cojinete de la biela.....	50
Figura 2.17 Medición del juego de ápices de los resaltos de corona y del rotor	51
Figura 2.18 Medición de presión de abertura de los inyectores.....	52
Figura 2.19 Calibración de 6 inyectores	55
Figura 2.20 Calibración de bomba de inyección para su óptimo funcionamiento.....	56
Figura 3.1 Gráfica comparativa de las pruebas de aislamiento antes y después del mantenimiento.....	60

Figura 3.2 Gráfica comparativa de las mediciones de las camisas antes y después del mantenimiento.....	63
Figura 3.3 Gráfica comparativa de las mediciones de los diámetros internos de los cojinetes de bancada antes y después del mantenimiento.	66
Figura 3.4 Gráfica comparativa de las mediciones del anillo 1 realizada antes y después del mantenimiento.....	69
Figura 3.5 Gráfica comparativa de las mediciones del anillo 2 realizada antes y después del mantenimiento.....	69
Figura 3.6 Gráfica comparativa de las mediciones del anillo 3 realizada antes y después del mantenimiento.....	70
Figura 3.7 Gráfica comparativa de las mediciones del muñón de bancada realizada antes y después del mantenimiento.	73
Figura 3.8 Gráfica comparativa de las mediciones del muñón de biela realizada antes y después del mantenimiento.	76
Figura 3.9 Gráfica comparativa de las mediciones de los cojinetes de biela realizada antes y después del mantenimiento.	79
Figura 3.10 Voltaje línea a línea después del mantenimiento.....	80
Figura 3.11 Potencia del motor después de mantenimiento.....	80
Figura 3.12 Frecuencia después del mantenimiento	81
Figura 3.13 Revoluciones del motor	82

Índice de tablas

Tabla 2.1 Comparación de pares	25
Tabla 2.2 Resultados de puntuación y porcentaje	25
Tabla 2.3 Matriz de decisión	26
Tabla 2.4 Parámetros del motor	37
Tabla 2.5 Costos de los repuestos estimados	38
Tabla 3.1 Prueba de aislamiento antes del mantenimiento	58
Tabla 3.2 Prueba de aislamiento después del mantenimiento	59
Tabla 3.3 Medición de camisas viejas	61
Tabla 3.4 Medición de camisas nuevas	62
Tabla 3.5 Medición del diámetro interno de los cojinetes de bancada principales antes del mantenimiento	64
Tabla 3.6 Medición del diámetro interno de los cojinetes de bancadas principales después del mantenimiento	65
Tabla 3.7 Medición de anillos en camisa viejas	67
Tabla 3.8 Medición de anillos en camisa nuevas	68
Tabla 3.9 Medición de muñón de bancada antes del mantenimiento	71
Tabla 3.10 Medición de muñón de bancada después del mantenimiento	72
Tabla 3.11 Medición de muñón de biela antes del mantenimiento	74
Tabla 3.12 Medición de muñón de biela del cigüeñal después del mantenimiento	75
Tabla 3.13 Medición de diámetro interno de cojinetes de biela antes del mantenimiento	77
Tabla 3.14 Medición de diámetro interno de cojinetes de biela después del mantenimiento	78
Tabla 3.15 Lista de precios de los repuestos finales	86
Tabla 3.16 Plan de mantenimiento preventivo	89

Tabla 3.17 Resultados del balance eléctrico 94

Capítulo 1

1.1 Introducción

A lo largo de los años el mantenimiento ha cambiado de manera eficaz, logrando posicionarse como uno de los métodos más eficaces para preservar el correcto funcionamiento de los equipos (Moubray, 2004) esto mediante la implementación de planes de mantenimiento correctivos y preventivos que facilitan al usuario su revisión. Con esto en mente y conociendo la necesidad que tienen la industria marina de contar con planes de mantenimiento que ayuden a las embarcaciones a tener una idea del sistema por el que está constituido los equipos, y de esta manera poder cuidar de manera más eficaz las máquinas, razón por la cual, se planteó como proyecto *“Diseño de un plan de mantenimiento para la reparación de un grupo electrógeno marino perteneciente a un remolcador”*, con el fin de garantizar a la embarcación disponibilidad total del grupo electrógeno para que cumpla con la importante labor de atracar buques en las costas del país.

El remolcador en mención posee dos grupos electrógenos que se encargan de la generación eléctrica; el primero de estos trabaja de manera continua cuando la embarcación se encuentra navegado y el segundo es empleado en caso de emergencia, es decir cuando el primer grupo electrógeno falle, debe tener disponibilidad absoluta al equipo emergencia, además, para lograr encender el equipo se debe realizar sincronización entre ambos grupos electrógenos, es decir, igualar las cargas hasta apagar un generador, de esta manera habrá disponibilidad eléctrica todo el tiempo (Rodríguez, 2021) Los grupos electrógenos están compuestos por una parte mecánica y una parte generatriz, las cuales necesitan de un cuidado distinto durante su mantenimiento, ya que en la parte mecánica los componentes presentan otros tipos de daños debido al trabajo forzado que se requiere para producir el giro del rotor, mientras que en la parte generatriz se enfoca más en el cuidado de circuitos eléctricos, por lo que el mantenimiento de los grupos electrógenos puede realizarse sobre ambas partes por separado.

Es importante realizar un plan de mantenimiento preventivo con las recomendaciones necesarias para cuidar el equipo, ya sea semanales, trimestrales, anuales o por horas de trabajo, dependiendo de las necesidades del equipo. Esto se da principalmente porque tanto la parte mecánica como la parte generatriz del generador, necesitan un cuidado distinto ya que, en la parte mecánica hay más componente que se pueden desgastar por el trabajo forzado que hacen al darle potencia de giro al rotor, sin embargo, se debe realizar mantenimientos preventivos a la parte generatriz ya que esta esta con mucha suciedad y cuerpos extraños que provoca la baja generación de voltaje. (Loehlein, 2007)

1.2 Descripción del problema

Los grupos electrógenos dentro de una embarcación son los responsables de darle vida y funcionamiento a los remolcadores, supliendo el consumo energético que estas requieren bajo las distintas cargas de trabajo, es por esta razón que su correcto funcionamiento es estrictamente necesario para que dicha embarcación pueda ser operada. Conociendo esta necesidad, la empresa requiere la reparación completa del grupo electrógeno de uno de sus remolcadores, el cual cuenta con un motor de combustión interna marca Cummins 6BT de 6 cilindro en línea y un generador AC como partes principales del equipo, el mismo que presenta problemas en la generación de energía, produciendo una potencia menor a la requerida por el remolcador, esto debido a su continuo uso y a la falta de trabajo de mantenimiento por parte de los operadores sobre el equipo, el cual ya ha superado las 8000 horas de trabajo.

1.3 Justificación del problema

Debido a los oleajes, corrientes y viento que se producen en las costas del país, los grandes buques de carga requieren de barcos remolcadores para poder atracar en los puertos, ya que, sin la presencia de estos, la maniobra sería dificultosa y tomaría mucho tiempo. A su vez los barcos remolcadores necesitan contar con el buen funcionamiento de los grupos electrógenos para la generación de energía, por lo que la falla en el funcionamiento de uno de ellos pone en riesgo la posibilidad de realizar maniobras de larga duración.

Frente a esta problemática se plantea la realización de un plan de mantenimiento sobre el grupo electrógeno averiado que permitirá que el equipo quede completamente operativo y le brindará al operador de la embarcación la seguridad de poder realizar trabajos más pesados y de mayor duración, al contar con un segundo grupo electrógeno que funciona en casos de emergencia. Adicional a esto se añade un plan de mantenimiento preventivo que reducirá el número de fallas en el equipo y extenderá su vida útil.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Elaborar un plan de mantenimiento sobre el grupo electrógeno de una nave remolcadora, realizando la reparación del generador con el propósito de devolver al equipo sus condiciones de funcionamiento y alargar su vida útil.

1.4.2 Objetivos Específicos

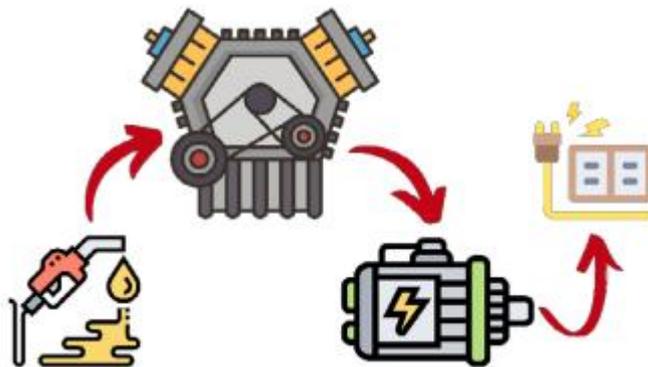
- Realizar un diagnóstico del equipo en conjunto con estimaciones del mantenimiento correctivo
- Realizar la inspección del equipo aplicando técnicas de metrología para saber el estado real del equipo
- Realizar pruebas de funcionamiento que garanticen la fiabilidad del equipo
- Realizar un análisis económico comparando el costo de un equipo nuevo con el costo de la reparación.
- Realizar el cronograma valorado de ejecución del mantenimiento
- Presentar plan de mantenimiento preventivo

1.5 Marco teórico

1.5.1 Grupo electrógeno

Las embarcaciones al no tener acceso directo a fuentes de energía y por la gran cantidad de consumo que estos requieren utilizan generadores marinos para abastecer la producción del sistema eléctrico dentro del barco. Un grupo electrógeno está formado por dos secciones, la primera es la parte mecánica que trabaja con un motor de combustión interna, mientras que la segunda es la parte eléctrica donde se encuentra el generador. Este sistema representa un ciclo de transformaciones donde están involucrados tres tipos de energía, la calorífica que es la parte del combustible Diesel, la energía mecánica que se da por el motor mecánico, que por medio del rotor hace que se forme un campo magnético en la bobina del alternador, dando lugar a la energía eléctrica (Molina, 2022).

Figura 2.1 Ciclo de transformación calorífica, mecánica y eléctrica (Molina, 2022)



Nota: El grupo electrógeno trabaja con el motor y generador acoplados, su instalación se da por medio de una bancada de apoyo, además, estos apoyos están formados por un sistema de resortes o amortiguadores para ayudar a que el equipo no sufra vibraciones elevadas (HIMOINSA, 2018).

De la misma manera se debe cuidar al equipo de las vibraciones torsionales generadas por las altas velocidades en el eje giratorio, ya que estas son capaces de afectar el funcionamiento del generador, así como de su controlador.

1.5.2 Motores de combustión interna

Los motores de combustión interna son equipos que aprovechan la energía química obtenida a través del combustible ya sea gasolina o diésel, y la convierte en energía mecánica a través de ciertos procesos que pasan en el interior del motor. Una de las principales características que define a un motor, es la capacidad de carga que este posee, lo cual puede determinarse mediante el cálculo de su potencia, un valor que describe el trabajo realizado en un determinado tiempo y se expresa de la siguiente manera, ver ecuación 1.1. (Obert, 1991, págs. 47-48).

$$P = 2\pi FrN \quad \text{Ecu. 1.1}$$

Donde:

F : Fuerza ejercida por el motor

r : Radio del eje del motor

N : Velocidad de giro del motor (rpm)

P : Potencia del motor

El término hallado a partir de la ecuación 1.1 también es conocido como potencia de freno y su valor representa la potencia obtenida a la salida del motor.

1.5.2.1 Presión media efectiva.

La presión media efectiva (PME), es la presión teórica constante ejercida sobre el pistón durante las fases de combustión y expansión en el ciclo del motor; su valor nos permite determinar la fuerza media efectiva ejercida por cada pistón, al multiplicar la PME por el área transversal del pistón y no solo eso, sino que también es posible calcular la potencia del motor en función de la presión media efectiva mediante la siguiente expresión (Obert, 1991, págs. 67-68) .

$$P = pme \cdot A \cdot L \cdot n \cdot \frac{N}{x} \quad \text{Ecu} 1.2$$

Donde:

P : Potencia del motor

pme : Presión media efectiva

A : Área de la cara del pistón

L : Longitud de carrera

N : Velocidad angular

n : Número de pistones del motor

1.5.2.2 Factor de corrección.

Las ecuaciones anteriormente mostradas, permiten determinar la potencia de salida del motor bajo condiciones ideales de presión y temperatura, pero si este mismo motor es puesto en marcha dentro de un ambiente con una baja presión barométrica, la potencia de salida se verá reducida, lo mismo sucedería si el motor estuviese funcionando en un ambiente con mayor temperatura, por lo que se puede decir que la capacidad que entrega el motor depende del ambiente de donde el equipo este trabajando.

Es por esta razón que la SAE (Society of Automotive Engineers) diseñó un término denominado como factor de corrección, que permite obtener un valor a la salida más cercana a su valor real; para ello la SAE determinó como condición normal el funcionamiento de un motor en un ambiente con aire seco a 15,6°C y 76 cm de Hg, para que a partir de ahí poder obtener la siguiente formula (Obert, 1991, pág. 72).

$$CF = \frac{760}{p_a} \cdot \sqrt{\frac{T_a}{288.6}} \quad \text{Ecu} 1.3$$

Donde:

CF : Factor de corrección

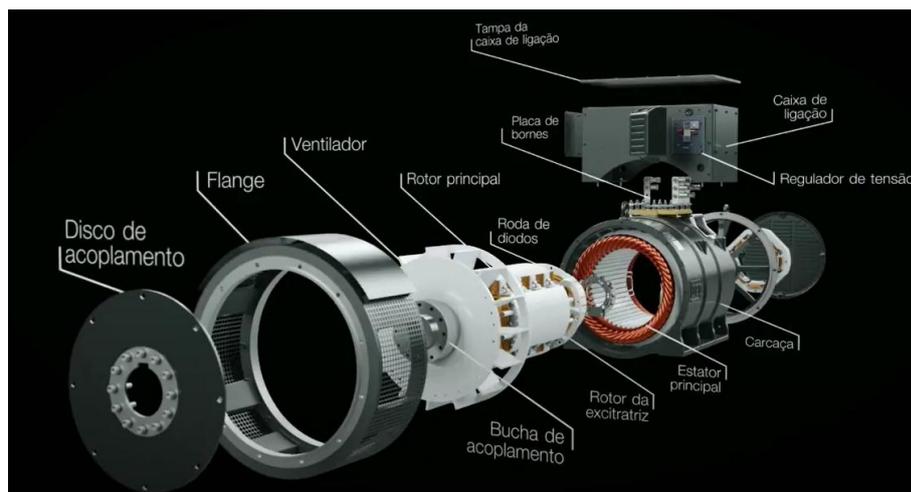
p_a : Presión barométrica en cm de Hg

T_a : Temperatura absoluta del aire que entra al motor

1.5.3 Parte generatriz

Los generadores eléctricos se basan en el principio del electromagnetismo, por ende, existen dos maneras de generar el campo magnético, la primera que es el magnetismo que usan imanes y de forma natural crean campos magnéticos y que producto de esta acción genera fuerza electromotriz en los generadores. La segunda manera es el electromagnetismo, que para generar el campo magnético se utiliza un electroimán, que es un dispositivo que está formado por un núcleo de hierro rodeado por el bobinado de cobre, que estará alimentado con corriente, donde consta como principal ventaja que puede ser controlado.

Figura 2.2 Partes de un generador marino (S.A W. E., 2011)



Nota. Los generadores sincrónicos constan de partes importantes para su funcionamiento, entre ellas está el regulador de tensión, el estator de la excitatriz, que consta de imanes permanentes que tiene como objetivo de llevar la tensión residual sin la necesidad de requerir una alimentación externa, diodos rotativos, bobina auxiliar, que es la que mantiene la corriente continua y bobinado de estator (S.A W. E., 2011). Cuenta además con estator principal y excitador, así como de un rotor principal y excitador y con un conjunto rectificador.

El estator excitador es la principal fuente de magnetismo residual del generador; este magnetismo es aprovechado por el rotor excitador en la producción de tensión alterna, para posteriormente ser transformada a voltaje continuo con ayuda del rectificador giratorio quien es alimentado por el rotor principal, el cual mediante su continua rotación induce un voltaje al estator principal.

1.5.4 Tipos de mantenimiento

1.5.4.1 Mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo consiste en una serie de pruebas no amenazadas que tienen como objetivo hacer el monitoreo del trabajo adecuado del equipo, detectando anomalías de algunos componentes que no están trabajando de manera adecuada.

(OLARTE, MARCELA, & BENHUR, 2010)

1.5.4.2 Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo son acciones que se realizan para evitar que el equipo falle, es decir, es el encargado de detectar todos los daños antes que el equipo empiece a fallar a causa de estos fallos. (OLARTE, MARCELA, & BENHUR, 2010)

1.5.4.3 Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo son acciones que se realizan una vez el equipo haya fallado, es decir, que se encargara de la reparación una vez los equipos ya dejen de funcionar. (OLARTE, MARCELA, & BENHUR, 2010)

1.5.5 Mantenimiento de Grupos electrógenos

Conociendo el grado de importancia que tienen los grupos electrógenos al funcionar en situaciones de emergencias, como cuando existe una desconexión de energía eléctrica o al ser utilizadas en lugares en donde no haya disponibilidad de energía, estos tipos de equipos deben ser completamente funcionales siempre, por lo que un trabajo de mantenimiento sobre ellos es indispensable. El mantenimiento abarca partes como, el motor, la bancada, el ventilador, el radiador, el alternador y otras más; realizando actividades que involucra la revisión del nivel de aceite, cambios de filtros, limpieza del radiador, cebado de la manguera de succión de combustible, regulación de la velocidad de giro de la bomba, inspección de corriente y voltaje de operación, revisión del botón de emergencia, etc. (Rojas, 2018).

1.5.6 Formulas de Mantenimiento

A pesar de considerar a los trabajos de mantenimientos como actividades más prácticas y reales, dentro del área de mantenimiento también podemos encontrar ciertas fórmulas que nos permiten poder determinar ciertas acciones y toma de decisiones, de entre las fórmulas que podemos encontrar tenemos:

1.5.6.1 Tiempo medio de reparación.

El tiempo medio de reparación conocido como MTTR por sus siglas en inglés (Mean Time to Repair) define la facilidad que tiene un equipo para ser reparado (Garcia, 2007) Su expresión se denota como:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}} \quad \text{Ecu 1.4}$$

Esta ecuación relaciona el tiempo que dura la ejecución de un mantenimiento hasta conseguir la reparación completa del equipo, con el número de reparaciones que fueron realizadas. Cabe mencionar que para calcular el MTTR solo se considera el tiempo real de la reparación, es decir no se considera el tiempo que le toma al operador informar del daño, ni la espera de la aprobación del mantenimiento, ni el tiempo en el que el equipo se encuentra parado. Lo que se busca a partir del valor obtenido, es tratar de reducirlo lo más que se pueda ya que un valor alto de MTTR denotaría una cierta dificultad al arreglar el equipo o un lento trabajo de reparación por parte de las personas encargadas.

1.5.6.2 Tiempo medio entre fallas.

Este valor nos permite determinar el promedio de fallas que tiene un equipo o la frecuencia con la que este, falla (Garcia, 2007). Su resultado se mide en tiempo como horas, días, meses o años y lo que se desea es que su valor sea lo más alto posible. Este término se lo representa por sus siglas en inglés MTBF (Mean Time Between Failures) y se la calcula mediante la siguiente ecuación.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Número de paradas}} \quad \textit{Ecu} 1.5$$

El numerador de esta expresión representa en realidad el tiempo de operación del equipo, lo cual se puede determinar mediante la revisión de su horómetro; con respecto al número de paradas este valor se refiere a la cantidad de veces en el que un fallo del equipo provocó su paralización. A partir de estos dos términos descritos, se pueden hallar nuevos parámetros importantes para el control y planificación del mantenimiento como lo son, la Disponibilidad y Confiabilidad.

1.5.6.3 Disponibilidad.

La disponibilidad es la capacidad que tiene una máquina de encontrarse en condiciones para cumplir con un trabajo, en un determinado tiempo. La expresión matemática que define este parámetro se muestra en la ecuación 1.6 y arroja su resultado en términos de porcentaje. (Garcia, 2007)

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \cdot 100\% \quad \text{Ecu 1.6}$$

Donde:

MTBF : Tiempo medio entre falla

MTTR : Tiempo medio de reparación

1.5.6.4 Confiabilidad.

Este parámetro se define como la probabilidad de que un artefacto pueda funcionar de manera correcta en un determinado tiempo y en condiciones establecidas sin presentar ninguna falla. Su valor es dado en porcentaje y se lo obtiene mediante el cálculo de la siguiente expresión (Capote, 2014).

Donde:

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\lambda t} \quad \text{Ecu 1.7}$$

e : Número de Euler

λ : Tasa de fracaso = $\frac{1}{MTBF}$

t : Tiempo

Esta ecuación al tratarse de una función exponencial negativa, nos indica que con el paso del tiempo la probabilidad de que el equipo funcione ira disminuyendo, lo cual es un comportamiento razonable en cualquier máquina.

1.5.6.5 Coste de mantenimiento sobre valor de reposición.

Representado por las siglas CPMV, este es un valor que nos permite determinar si es más beneficioso reparar un equipo averiado o si se tiene que sustituir por uno nuevo, su resultado está dado en porcentaje y se considera que para los equipos con un valor de CPMV menor al 6% en un periodo de un año, la decisión de repararlos es correcta, por otra parte, si el valor supera el 6% se recomienda adquirir una nueva máquina. Este valor de referencia del 6% puede variar, ya que hay ciertos equipos en los que se consideran que un valor de CPMV mayor al 2.5% es demasiado y debe ser sustituido (Capote, 2014). La ecuación de este indicador es la siguiente:

$$CPMV = \frac{\text{Coste total del mantenimiento}}{\text{Valor de compra de un nuevo equipo}} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 1.8}$$

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología

En esta sección del documento, se detalla el proceso a seguir para lograr reparar el grupo electrógeno de una nave remolcadora; para ello se partió de la búsqueda de las posibles soluciones al problema, con el propósito de poder definir cuál de ellas es la mejor opción para ser llevada a cabo, y a partir de ahí poder definir el procedimiento que hará posible que el equipo quede nuevamente operativo.

2.2 Alternativas de solución

Partiendo del hecho de que el presente proyecto se centra en la recuperación de un grupo electrógeno con fallas en su funcionamiento y en la prolongación de su vida útil; las posibles soluciones al problema apuntan a tres opciones, la realización de un mantenimiento correctivo, llevar a cabo un mantenimiento preventivo o ejecutar un mantenimiento de cero horas sobre el equipo.

2.2.1 Alternativa 1: Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es un proceso que se encarga de la reparación de una máquina que ha sufrido algún daño y ha dejado de funcionar de forma correcta.

2.2.1.1 Ventajas.

- La reparación del equipo podría ser inmediata.
- No se requiere de planificación.
- Al centrarse solo en la parte dañada, se reducen los costos de reparación.

2.2.1.2 Desventajas.

- No garantiza que el equipo no presente otra falla en su funcionamiento tiempo después.
- Es impredecible.
- A la larga los costos de reparación pueden ser mayores.

2.2.1.3 Salud pública y Aspectos Ambientales.

El mantenimiento correctivo llevado a cabo sobre un grupo electrógeno ubicado dentro de una embarcación, podría poner en peligro la salud pública, ya que la ejecución de este proceso que conllevaría cambios de piezas, de aceites, aplicación de grasa y lubricante, se la realizaría en alta mar, por lo que, si no se tiene cuidado del almacenamiento de todas estas partes defectuosas, podrían terminar cayendo en el mar contaminándolo de esta manera y perjudicando la salud de las personas y el ambiente.

2.2.1.4 Seguridad y Bienestar.

Si bien es posible reparar el equipo aplicando el método de mantenimiento correctivo; lamentablemente esta alternativa no brinda la seguridad ni la tranquilidad a los operadores de la embarcación de que el grupo electrógeno vaya a trabajar de forma correcta por largo tiempo, ya que las partes del equipo que no fueron revisadas por aparentemente no presentar ningún daño podrían comenzar a fallar no mucho tiempo después.

2.2.1.5 Aspecto Cultural y Social.

Cuando se trata de la reparación de un equipo, el mantenimiento correctivo siempre se presenta como la primera opción para los técnicos encargados del mantenimiento, ya que estamos muy acostumbrados a intervenir en el artefacto cuando este comienza a fallar e incluso hay ocasiones en que la reparación se pospone hasta que la máquina deja de funcionar por completo.

2.2.1.6 Aspecto Económico.

Concerniente a lo económico, esta alternativa puede no ser la más recomendable, ya que el equipo puede contar con múltiples daños que requerirían gran trabajo de reparación e incluso podría necesitar la sustitución completa de las piezas averiadas, que para el caso de un grupo electrógeno no son económicas.

2.2.1.7 Aspecto Técnico.

Entre los trabajos que se pueden realizar para conseguir el objetivo de reparar la maquina están: Soldadura, rectificación, renovación de piezas que presenten daños.

Como segunda alternativa se planteó inicialmente la opción de realizar un mantenimiento preventivo, pero dado que el grupo electrógeno ya se encontraba con fallas, esta alternativa dejó de ser viable para hacer que el equipo recupere su funcionamiento, sin embargo, siguió siendo considerada ya que nos permitía cumplir con el objetivo de prolongar la vida útil de la máquina.

2.2.2 Alternativa 2: Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se trata de intervenciones programadas y periódicas que se realizan con la intención de prevenir futuros daños sobre el equipo de tal forma que se pueda prolongar su funcionamiento por más tiempo, logrando además reducir en número de reparaciones futuras que necesite la máquina.

2.2.2.1 Ventajas.

- Alarga la vida útil de los equipos
- Reduce el número de reparaciones
- Al ser un proceso programado puede realizarse de tal forma que no se vea tan afectada la producción.
- El trabajo se lo realiza de forma más organizada al contar con una planificación.
- Ahorra dinero al no requerir cambio de piezas de manera tan frecuente.

2.2.2.2 Desventajas.

- Se necesita de preparación en esta área
- Se requiere fondos destinados para la creación de un departamento de mantenimiento.
- Se necesita más personas para que se dediquen a este departamento.

2.2.2.3 Salud Pública y Aspectos Ambientales.

Esta alternativa, al tratarse de un proceso que se realiza de forma periódica en el transcurso de un año, seguramente en más de una ocasión el mantenimiento se lo tendrá que realizar en alta mar, por lo que el almacenamiento y desecho de piezas defectuosas o aceites empleados, son un riesgo para la salud y el ambiente si estos no se depositan en un lugar seguro que garantice que no llegarán al fondo del mar.

2.2.2.4 Seguridad y Bienestar.

Si esta alternativa es llevada a cabo correctamente, el grupo electrógeno y por ende la embarcación, trabajarían de forma correcta por un largo tiempo, lo cual les brindaría la seguridad a los operadores de la nave de poder trabajar de forma tranquila y sin temor de no poder cumplir con su trabajo o en el peor de los casos quedarse varados en alta mar.

2.2.2.5 Aspecto Cultural y Social.

A pesar de ser considerada por los expertos en el área de mantenimiento, como la mejor opción para ejecutarse sobre toda clase de aparatos, esta alternativa lamentablemente siempre es pasada por alto, debido a la falta de instrucción o de costumbre de parte de los técnicos para realizar la planificación de las actividades a futuro, especificando la frecuencia con la que se realizarán y estableciendo las fechas en donde se llevara a cabo.

2.2.2.6 Aspecto Económico.

Esta alternativa puede ser considerada como la que menor gasto genera ya que, al realizarse de forma correcta, respetando todas las actividades programadas, prolongaría el funcionamiento de las piezas del grupo electrógeno, evitando costosas reparaciones y compras de repuestos.

2.2.2.7 Aspecto Técnico.

Esta alternativa con la meta se recuperar el equipo procede analizar y estudiar los equipos, para posteriormente planificar su revisión, así como que piezas son las próximas a ser reemplazadas y cuales posiblemente necesiten de rectificación o reparación para evitar un futuro daño.

2.2.3 Alternativa 3: Mantenimiento cero horas

Como tercera alternativa tenemos la ejecución del mantenimiento cero horas, el cual es un trabajo minucioso ejecutado sobre cada una de las piezas del equipo averiado; realizado cuando el mantenimiento correctivo no es suficiente para reparar el equipo debido a los múltiples daños y fallas continuas que este presenta. Al realizarse este método se conseguiría contar con prácticamente un nuevo equipo que empieza su vida útil desde cero.

2.2.3.1 Ventajas.

- La máquina funcionaría por largo tiempo ya que contaría con un nuevo ciclo de vida.
- Reduce las intervenciones de reparación.
- Brinda mayor seguridad a las personas que manejan los equipos.

2.2.3.2 Desventajas.

- Es costoso por el remplazo de un gran número de piezas.
- Es más trabajoso de realizar.
- El tiempo de reparación es mayor.
- Se necesita contar con personal especializado en el equipo a tratar.

2.2.3.3 Salud Pública y Aspectos Ambientales.

El mantenimiento cero horas puede llevar un mejor manejo en el almacenamiento y eliminación de las piezas defectuosas del equipo, debido a que esta alternativa necesariamente debe ser ejecutado en un taller y ya no en alta mar, por lo que no existe el riesgo de que los desperdicios terminen contaminando el mar y afectando la salud de las personas.

2.2.3.4 Seguridad y Bienestar.

Esta alternativa brinda una mayor seguridad a los operadores de la embarcación, ya que su ejecución garantiza el funcionamiento prolongado de la nave, permitiéndole así poder cumplir con sus labores y sin miedo que quedarse varados en alta mar.

2.2.3.5 Aspecto Cultural y Social.

Esta alternativa no es muy común ya que es un método que los encargados de mantenimiento la toman como última opción, debido al gran trabajo que representa el cambiar todas las piezas y partes del equipo.

2.2.3.6 Aspecto Económico.

Referente a lo económico, el mantenimiento cero horas es el más costoso de realizar, ya que se trata de un proceso de reparación o cambio, según sea su condición, de no solo de las piezas defectuosas, sino de todas las piezas del equipo.

2.2.3.7 Aspecto Técnico.

Para esta alternativa se cuentan con trabajo de desmontaje de cada una de las partes y piezas de la máquina, para su posterior reemplazo, rectificación, calibración o reparación según sea el requerimiento.

2.3 Métodos de selección de la mejor alternativa

2.3.1 Opción 1: Ábaco de M. Noiret

El ábaco de M. Noiret es una herramienta con la cual es posible determinar, cuál es el tipo de mantenimiento más adecuado al que debe someterse una maquina defectuosa. Esta herramienta basa su decisión en el tipo de equipo y su incidencia económica, obteniendo el resultado mediante la intercepción de los distintos datos de la máquina con las respectivas gráficas; para finalmente conocer la mejor alternativa de entre dos posibles soluciones: el mantenimiento correctivo obligatorio o deseable y el mantenimiento preventivo de la misma forma obligatorio o deseable.

Para la toma de decisión del mantenimiento óptimo que podemos realizar, utilizamos los datos e información que tenemos sobre el equipo.

La máquina tiene una edad de 3 años, realiza sus funciones de manera independiente, se puede considerar que es un equipo complejo, pero de fácil acceso para realizar alguna intervención; su precio es considerado especial por su gran costo, tiene origen extranjero y es de mucha robustez; el equipo trabaja a 2 turnos 16 horas en total, a plazo largo de ejecución. Con toda esta información, finalmente se pudo conocer que el mantenimiento más adecuado que debe realizarse sobre el equipo es el correctivo obligatorio.

Debido a que el método anterior solo nos brinda únicamente dos opciones de solución dejando de lado la alternativa de mantenimiento cero horas, lo que se hizo para considerar cada opción fue elaborar la matriz de decisión.

2.3.2 Opción 2: Matriz de decisión

Como segunda opción para poder determinar la mejor propuesta de solución, tenemos la matriz de decisión en la cual analizará y calificará distintos parámetros para cada una de las alternativas. Estos parámetros cuentan un grado de importancia que se define a partir del método de comparación por pares.

2.3.2.1 Descripción de los parámetros del método de comparación por pares.

Para poder llevar a cabo este método, se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- **Costo:** Este parámetro se refiere al gasto que conlleva efectuar cada posible solución.
- **Tiempo:** Es la duración que le toma a los encargados del mantenimiento ejecutar cada una de las opciones de solución.
- **Confiabilidad:** Esta variable menciona la capacidad que tienen las alternativas de solución para poder garantizar que una vez realizada, el equipo funcionará correctamente y por largo tiempo.
- **Dificultad:** Habla de lo fácil o difícil que es realizar cada propuesta de solución.
- **Mano de obra:** Se refiere a la necesidad de contar más o menos trabajadores para realizar cada alternativa.

2.3.2.2 Grado de importancia.

Utilizando una escala del 0 al 3 para medir y calificar cada una de las variables, tenemos:

- 0: Igual de importante
- 1: Algo importante
- 2: Más Importante
- 3: Mucho más importante

Tabla 2.1 Comparación de pares

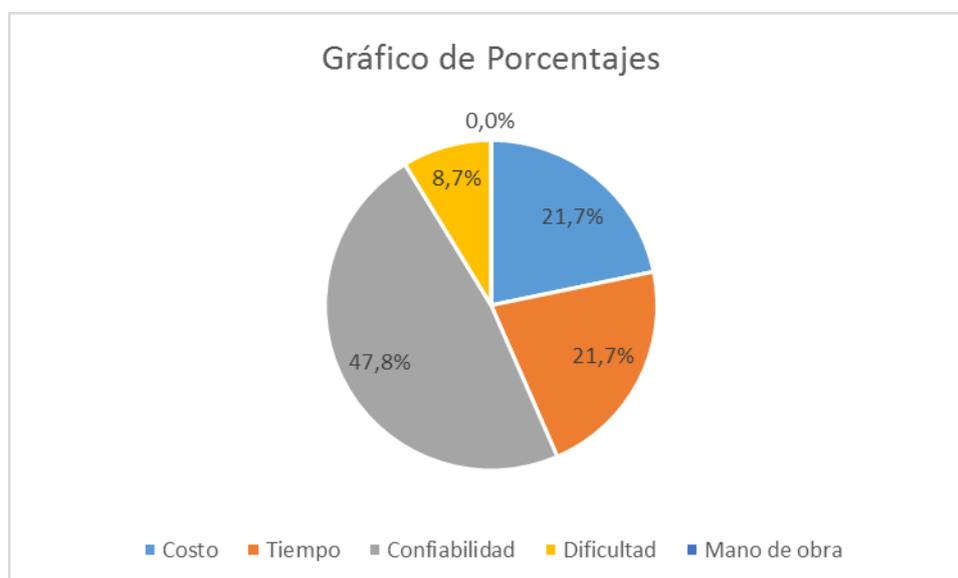
	A Costo	B Tiempo	C Confiabilidad	D Dificultad	E Mano de obra
A. Costo		A/1	C/2	A/1	A/3
B Tiempo			C/3	B/2	B/3
C Confiabilidad				C/3	C/3
D Dificultad					D/2
E Mano de obra					

Nota. Comparación del grado de importancia de los cinco parámetros establecidos

Tabla 2.2 Resultados de puntuación y porcentaje

<i>Opción</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>Costo</i>	5	21,7
<i>Tiempo</i>	5	21,7
<i>Confiabilidad</i>	11	47,8
<i>Dificultad</i>	2	8,7
<i>Mano de obra</i>	0	0,0

Figura 2.1 Resultados de comparación por pares



2.3.2.3 Matriz.

Para la realización de la matriz de decisión se utilizó un rango de valores del 1 al 5, en donde el valor de 1 refleja una mala valoración, mientras que el valor de 5 refleja la máxima calificación.

Tabla 2.3 Matriz de decisión

Recuperación del Grupo Electrógeno	Costo [21,7%]	Tiempo [21,7%]	Confiabilidad [47,8%]	Dificultad [8,7%]	Mano de obra [0%]	Total					
Mantenimiento Correctivo	2,5	0,54	3	0,65	2,5	1,195	2,5	0,22	2	0	2,61
Mantenimiento Preventivo	3	0,651	4	0,868	1	0,478	1	0,087	4	0	2,08
Mantenimiento cero horas	1	0,217	1	0,217	5	2,39	1	0,087	1	0	2,91

2.4 Selección de alternativa ganadora

A partir de la matriz de decisión se pudo conocer que al considerar las tres posibles soluciones, el **mantenimiento de cero horas** obtuvo la mayor calificación, a pesar de ser de entre las demás opciones la más compleja y demorada de realizar, por el motivo de cambiar cada una de las partes del equipo, lo cual explica la necesidad de contar con una mayor cantidad de mano de obra y el costo elevado, en comparación de las demás opciones, pero su capacidad de garantizar el correcto funcionamiento del equipo por largo tiempo le permite ponerse por delante de las demás alternativas.

2.5 Desarrollo de la alternativa ganadora

Para realizar el plan de mantenimiento cero horas del equipo, nos basamos en 3 etapas secuenciales, donde se apreciaron de manera cronológica el mantenimiento del equipo:

Etapas 1: Inspección y diagnóstico del estado preliminar del grupo electrógeno

Etapas 2: Desarmado de grupo electrógeno para su inspección aplicando métodos de metrología, selección de componentes afectados con su respectiva toma de decisiones.

Etapas 3: Armado de grupo electrógeno, con sus respectivas correcciones y acorde el fabricante lo recomienda

2.5.1 Etapa 1: Inspección y diagnóstico del estado preliminar del grupo electrógeno

Como primer paso se realizó la inspección del generador AC con ayuda del tablero de control, el cual nos permite conocer como está trabajando el equipo; posterior a eso se revisó el estado del equipo mediante una inspección visual.

2.5.1.1 Frecuencia del generador.

Figura 2.2 Medición de frecuencia del generador



Nota: El grupo electrógeno trabaja con una frecuencia de 60 Hz, sin embargo, en la figura 2.2 la lectura del tablero muestra un valor de frecuencia de 55,7 Hz, lo cual nos indica que el motor no está trabajando de manera correcta, por tal razón se procedió a revisar los demás parámetros, como el voltaje de salida, las RPM del motor y la potencia generada, esto con el fin de determinar las causas de la disminución de frecuencia.

2.5.1.2 Voltaje línea a línea.

Figura 2.3 Medición del voltaje Línea a Línea



Nota: Las lecturas que se tienen en el panel son los voltajes línea a línea, esto se da porque el generador es trifásico, por lo que tendrá tres salidas de voltaje que deben ser iguales a 440V que es la salida del generador. En el panel se muestra que los tres voltajes son iguales, a diferencia del voltaje L2L3, sin embargo, como solo baja un volt, está dentro del rango permitido. Esta lectura nos dio a conocer que el problema de la baja frecuencia no es por la caída de voltaje, por ende, se puede asumir que el AVR (automatic voltaje regulator), está trabajando de manera adecuada.

2.5.1.3 Potencia del motor.

Figura 2.4 Potencia del motor



Nota: La potencia de arroja el tablero es de 36 kVa al 60% de carga, valor por debajo de lo esperado al conocer que la potencia máxima del equipo es de 85%kVa.

2.5.1.4 Revoluciones del motor.

Figura 2.5 Medición de las RPM del motor



Nota: La velocidad con la que gira el rotor del generador es de 1800 rpm, pero el tablero de control marca una velocidad de 1650 rpm, valor que está por debajo de lo que indica el fabricante, esto puede tener varias razones y una de ellas puede ser el motor, ya que este es el encargado del giro del rotor del generador AC, por lo que se debería realizar el chequeo de sus parámetros para tener una mejor apreciación de su estado.

2.5.1.5 Diagnostico visual del generador.

Figura 2.6 Presencia de cuerpos extraños en el generador



Nota: Además de la revisión del panel de control, se efectuó también una inspección visual sobre el generador en busca de desperfectos que impidan el correcto funcionamiento del equipo como: cables rotos, mala conexión de terminales, grietas en la carcasa, falta de aislamiento, cuerpos extraños obstruidos entre el rotor y estator, etc. De esta inspección lo que se pudo encontrar, como se aprecia en la figura 2.5, fue la presencia de suciedad y fluidos entre el bobinado del equipo, lo cual puede deberse a la presencia de aceite que se está pasando por el dámper del motor de combustión interna. Una vez finalizada la inspección del generador AC, se procedió con la revisión externa del motor de combustión, en los que se analizaron los siguientes parámetros:

2.5.1.6 Baja presión de aceite.

Al revisar la presión de aceite del motor, se encontró que ésta estaba por debajo del valor recomendado por el fabricante, razón por la cual, se asumió que podría ser un problema de la bomba de aceite, ya que la caída de presión podría estar directamente relacionada con una mala circulación del aceite provocada por este componente.

2.5.1.7 Baja presión de combustible.

La falla más común por la que suele disminuir la presión de combustible es debido problemas en la bomba de combustible, sin embargo, también puede ser debido a que uno o varios inyectores pueden estar defectuosos u obstruidos, lo que estaría deteniendo el paso de combustible. Pero lo más probable es que el problema con la bomba de inyección sea el causante de esta situación.

2.5.1.8 Exceso de humo negro.

El exceso de humo negro que salía del motor, mientras este ejercía su funcionamiento, fue una clara señal de que el equipo requería una inspección exhaustiva, ya que existen varias razones por las que se puede presentar este tipo problema, entre ellas, que los filtros pudieran estar sucios o tapados, que los inyectores hayan estado descalibrados o que la bomba de inyección presente fallas en su sistema.

2.5.1.9 Pronóstico de las actividades de mantenimiento del generador.

Para la parte generatriz del grupo electrógeno, con el fin de realizar un servicio eficaz y eficiente, se muestra a continuación el desglose de actividades a realizar una vez el equipo este en el taller:

1. Prueba de aislamiento antes y después del mantenimiento
2. Desmontaje/montaje de generatriz-motor.
3. Desmontaje/montaje rotor-estator.
4. Evaluación/limpieza electromecánica de componentes de eléctricos de poder y control.
5. Cambio de rodamientos (calidad europea o japonesa).
6. Evaluación de eje, asientos, cajeras y cajetines
7. Limpieza química y barnizado uso marino, secado y pintura de elementos externos.
8. Montaje/instalación de componentes para pruebas finales

La descripción del cronograma de actividades a realizar, con el fin garantizar el tiempo de finalización del mantenimiento se muestra en el apéndice.

2.5.1.10 Pronóstico de las actividades de mantenimiento del motor de combustión.

Para la parte mecánica con el fin de lograr que el equipo quede operativo acorde a las normas establecidas por el fabricante, se presentan el desglose de actividades que se van a realizar una vez hecho el desmontaje de su base y una vez hecho el traslado al taller:

1. Desmontaje de elementos/accesorios principales y auxiliares de cada sistema del motor de combustión interna.
2. Limpieza mecánica y química de elementos principales previos al montaje de repuestos nuevos.
3. Evaluaciones, toma de medidas y claros del bloque del motor, cigüeñal, árbol de levas y cabezotes para datos históricos.
4. Evaluación/calibración antes y después en banco pruebas de bomba de inyección, donde se realizará el cambio de componentes internos.
5. Evaluación/ calibración antes y después en banco pruebas de 6 inyectores nuevos
6. Preparación y evaluación de repuestos nuevos provistos por el buque, previo al montaje.
7. Instalación y montaje de componentes internos de cabezotes.
8. Instalación y montaje de componentes internos del bloque del motor (3/4 de motor).
9. Cambio de turbocargador
10. Montaje de elementos principales y auxiliares de cada sistema del motor de combustión interna
11. Calibraciones y pruebas finales en vacío y con carga.

La descripción del cronograma de actividades a realizar, con el fin garantizar el tiempo de finalización del mantenimiento se muestra en el apéndice 2.

2.5.1.11 Condiciones de trabajo.

Al tratarse del mantenimiento de un grupo electrógeno, este requirió el desacople del generador y el motor de combustión para poder trabajar en su reparación por separado. El trabajo sobre el generador fue realizado abordo de la embarcación, mientras el motor fue trasladado al taller para intervenir en el equipo de mejor manera, ya que ahí se contaba con herramientas e instrumentos necesarios para su mantenimiento, además, si se requiriera realizar tratamientos especiales como, rectificación para las culatas y bloque de motor, algunos servicios de torno, fresadora, o si fuese necesario acudir a lugares para tratar las bombas de inyección que dispongan bancos de prueba con las que no cuenta el taller, se podría llevar al motor a estos sitios especializados.

Es importante mencionar que para este tipo de trabajo se deben utilizar equipos de protección personal, ya que al ser trabajos mecánicos y eléctricos existen riesgos de lesiones, por lo que se sugiere que:

- Cuando se vaya a desmontar el equipo de su base, asegúrese que este apagado en su totalidad
- Utilice equipos de protección personal, como gafas, casco, guantes, mascarilla, botas con punta de acero, ropa reflectiva, etc.

2.5.1.12 Recomendaciones del fabricante.

Para considerar satisfactorio el mantenimiento debemos basarnos en las recomendaciones del fabricante, donde se especifica cómo debe trabajar el motor de combustión interna, además de los parámetros dados por el fabricante, los cuales se muestran a continuación.

Tabla 2.4 *Parámetros del motor*

Parámetros del motor Cummins 6BT5.9

<i>Tipo</i>	Diésel 4 tiempos, inyección directa turbo y post enfriador
<i>Numero de cilindros</i>	6 en línea
<i>Diámetro de cilindros [mm]</i>	102
<i>Carrera [mm]</i>	120
<i>Cilindrada [mm]</i>	5,88
<i>Relación de presión</i>	17,3:1
<i>Orden de ignición</i>	1-5-3-6-2-4
<i>Sentido de rotación</i>	Horario
<i>Peso del motor [kg]</i>	410 a 440
<i>Sistema de lubricación</i>	
<i>Presión de aceite [bar]</i>	Marcha lenta de 0,7 A 2500 RMP de 2,1
<i>Capacidad de aceite con filtro [litros]</i>	16,4
<i>Especificaciones de aceite</i>	API-CG4 15W40
<i>Sistema de refrigeración</i>	
<i>Termostato [°C]</i>	Inicia de abertura 81 Totalmente abierto 95 Abertura 6,6

Capacidad de refrigerante
[litros]

24,0

2.5.1.13 Proforma preliminar del mantenimiento.

A continuación, se presenta la lista de precios de los repuestos preliminares a utilizarse durante el mantenimiento.

Tabla 2.5 Costos de los repuestos estimados

Ítem	Descripción	No. Parte	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Varilla de empuje	3284377	6	\$ 16,00	\$ 96,00
2	Cojinete	3904369//39032 4	1	\$ 12,00	\$ 12,00
3	Junta tórica de sellado	3926047	1	\$ 6,00	\$ 6,00
4	Conjunto de rodamiento principal STD	3802070	1	\$ 105,00	\$ 105,00
5	Conjunto de rodamiento 0,10”	3802071	1	\$ 105,00	\$ 105,00
6	Cojinete de empuje del cigüeñal	3284623	1	\$ 80,00	\$ 80,00
7	Kit de retenedores frontal	3972071	1	\$120,00	\$ 120,00
8	Kit de retenedores trasero	3910566	1	\$140,00	\$ 140,00
9	Junta de la tapa de la varilla de empuje	3284623	1	\$19,00	\$ 19,00
10	Termostato	3972071	1	\$ 65,00	\$ 65,00

11	Alternador	3926126	1	\$490,00	\$ 490,00
12	Transductor	3917123	1	\$390,00	\$ 390,00
13	Transductor	3913628	1	\$295,00	\$ 295,00
14	Tensor de correa	3937553	1	\$ 210,00	\$ 210,00
15	Correa	3288856	1	\$ 49,00	\$ 49,00
16	Filtro de combustible	3931063	2	\$ 19,00	\$ 38,00
17	Junta de tapa trasera	3938159	1	\$ 22,00	\$ 22,00
18	Sello de aceite	3970548	1	\$ 29,00	\$ 29,00
19	Kit de reparación de bomba de inyección de combustible	3918973	1	\$2.995	\$ 2.995,00
20	Bomba de transferencia de combustible	3970880	1	\$ 90,00	\$ 90,00
21	Filtro de aceite lubricante de cartucho	3937743	1	\$ 29,00	\$ 29,00
22	Cabezal del filtro de junta	3942915	1	\$ 18,00	\$ 18,00
23	Núcleo del enfriador de aceite de la junta	3942914	1	\$ 18,00	\$ 18,00
24	Bomba de aceite lubricante	3937404	1	\$225,00	\$ 225,00
25	Cárter de aceite de junta	3959052	1	\$ 42,00	\$ 42,00
26	Conjunto anillo de pistón	3802421	6	\$ 45,00	\$ 270,00
27	Pasador del pistón	3934048	6	\$ 25,00	\$ 150,00
28	Cojinete	4891178	6	\$ 25,00	\$ 150,00
29	Cojinete biela	4893693	6	\$ 25,00	\$ 150,00

30	Pistón	3907156	6	\$ 69,00	\$ 414,00
31	Inyector	3802325	6	\$ 90,00	\$ 540,00
32	Vástago de la válvula del sello	3957912	12	\$ 8,00	\$ 96,00
33	Vástago de la válvula de retención	3957913	12	\$ 8,00	\$ 96,00
34	Expansión del enchufe	3812092	5	\$ 8,00	\$ 40,00
35	Válvula de pinza	3900250	24	\$ 9,00	\$ 216,00
36	Junta de culata	3283335	1	\$ 79,00	\$ 79,00
37	Junta bomba hidráulica	3008400	1	\$ 11,00	\$ 11,00
38	Junta del colector de escape	3927154	6	\$ 11,00	\$ 66,00
39	Junta tapa colector int.	3938152	1	\$ 20,00	\$ 20,00
40	Junta turbocompresor	3921926	1	\$ 95,00	\$ 95,00
41	Tapa de válvula de junta	3930906	6	\$ 11,00	\$ 66,00
42	Sello anillo rectangular	3936876	6	\$ 11,00	\$ 66,00
43	Junta tórica de sellado	3906697	1	\$ 9,00	\$ 9,00
44	Bomba de agua	3285410	1	\$ 90,00	\$ 590,00
45	Junta tórica de sellado	3903297	1	\$ 4,00	\$ 4,00
46	Junta de conexión de escape	3921961	1	\$ 18,00	\$ 18,00
47	Juego de juntas de motor superior	4089649	1	\$270,00	\$ 270,00

48	Juego de juntas de motor inferior	3802376	1	\$270,00	\$ 270,00
49	Diodos y varistores Generador	3940059	2	\$ 65,00	\$ 130,00
				Total	\$ 9.504,00

La tabla 2.5 muestra el costo preliminar del mantenimiento cero horas llevado a cabo sobre el grupo electrógeno bajo una inspección externa del equipo, sin embargo, este valor puede variar de acuerdo con el avance del mantenimiento, por lo que la lista final con los precios de los repuestos que se detalla en el capítulo 3 en la tabla 3.15.

2.5.2 Etapa 2: Desarmado y mantenimiento de la parte eléctrica y mecánica del grupo electrógeno

A continuación, se procedió a la ejecución del mantenimiento, para esto lo primero que se hizo fue desacoplar el motor de combustión interna del generador AC (la descripción del desacople se detalla en el anexo 1), para posteriormente trasladar el motor de combustión interna al taller para su respectivo mantenimiento, mientras que para el generador AC, el mantenimiento se lo realizó a bordo.

2.5.2.1 Mantenimiento del generador.

En esta sección, se procedió con el desarmado del generador, cuyo proceso se detalla en anexos 2. A continuación, se realizó la medición del aislamiento de los devanados por fase a tierra, basados en las normas IEEE 43, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.1.

Figura 2.7 Prueba de aislamiento antes del mantenimiento

 <p><i>Medición de aislamiento fase 1 a tierra</i></p> <p>L1-T</p>	 <p><i>Medición de aislamiento fase 2 a tierra</i></p> <p>L2-T</p>	 <p><i>Medición de aislamiento fase 3 a tierra</i></p> <p>L3-T</p>
 <p><i>Prueba de aislamiento de excitatriz fija</i></p> <p>Excitatriz fija</p>	 <p><i>Prueba de aislamiento de excitatriz rotórica y del rotor</i></p> <p>Excitatriz rotórica y rotor</p>	 <p><i>Prueba de aislamiento de PMG</i></p> <p>PMG</p>

Nota: Posterior al desarmado y revisión del generador, se procedió con su mantenimiento para recuperar el aislamiento de los componentes, cuyos valores se encuentran tabulados en la tabla 3.2. Finalmente, después de todo esto se realizó el armado del equipo.

Figura 2.8 Prueba de aislamiento después del mantenimiento

		
<p><i>Medición de aislamiento fase 1 a tierra</i></p>	<p><i>Medición de aislamiento fase 2 a tierra</i></p>	<p><i>Medición de aislamiento fase 3 a tierra</i></p>
<p>L1-T</p>	<p>L2-T</p>	<p>L3-T</p>
		
<p><i>Prueba de aislamiento de excitatriz fija</i></p>	<p><i>Prueba de aislamiento de excitatriz rotórica y del rotor</i></p>	<p><i>Prueba de aislamiento de PMG</i></p>
<p>Excitatriz fija</p>	<p>Excitatriz rotórica y rotor</p>	<p>PMG</p>

Nota: El proceso de mantenimiento y armado del generador se encuentra en el anexo 3, donde se describe de manera detallada cada actividad que se realizó.

2.5.2.2 Estado de bloque de motor.

Figura 2.9 Medición de planicidad transversal y vertical del bloque del motor



Nota: Para el diagnóstico del bloque del motor, se procedió a realizar la medición de planicidad horizontal y vertical, utilizando una regla metálica y por medio de unas lanas de acero. El proceso de desarmado completo del motor se encuentra en el anexo 3.

2.5.2.3 Estado de la culata del motor de combustión interna.

Figura 2.10 Revisión del estado de la culata



Nota: De acuerdo con las especificaciones dadas por el fabricante, se obtuvo los valores de planicidad vertical y horizontal, para determinar si estaba dentro del rango permitido. Se observó que los asientos tenían grietas, lo que no permitía el asentamiento de las válvulas. De igual manera las válvulas estaban picada, algunos seguros de cucho estaban flojos.

2.5.2.4 Revisión de las camisas del bloque del motor.

Se obtuvo las mediciones de las camisas viejas con la finalidad de saber si necesitan encamisados o si están dentro del rango permitido por el fabricante.

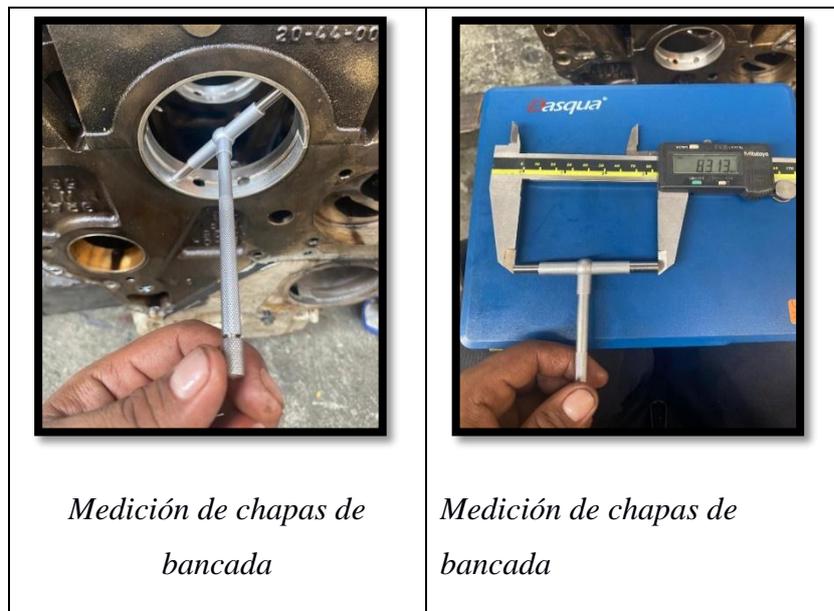
Figura 2.11 Medición de camisas



Nota: En la figura 2.5 se aprecia la manera adecuada de realizar mediciones de los diámetros internos de las camisas, para realizar esta medición se utiliza un micrómetro interior y los resultados obtenidos de los 6 cilindros se presentan en el capítulo 3 en la tabla 3.3.

2.5.2.5 Revisión de las bancadas.

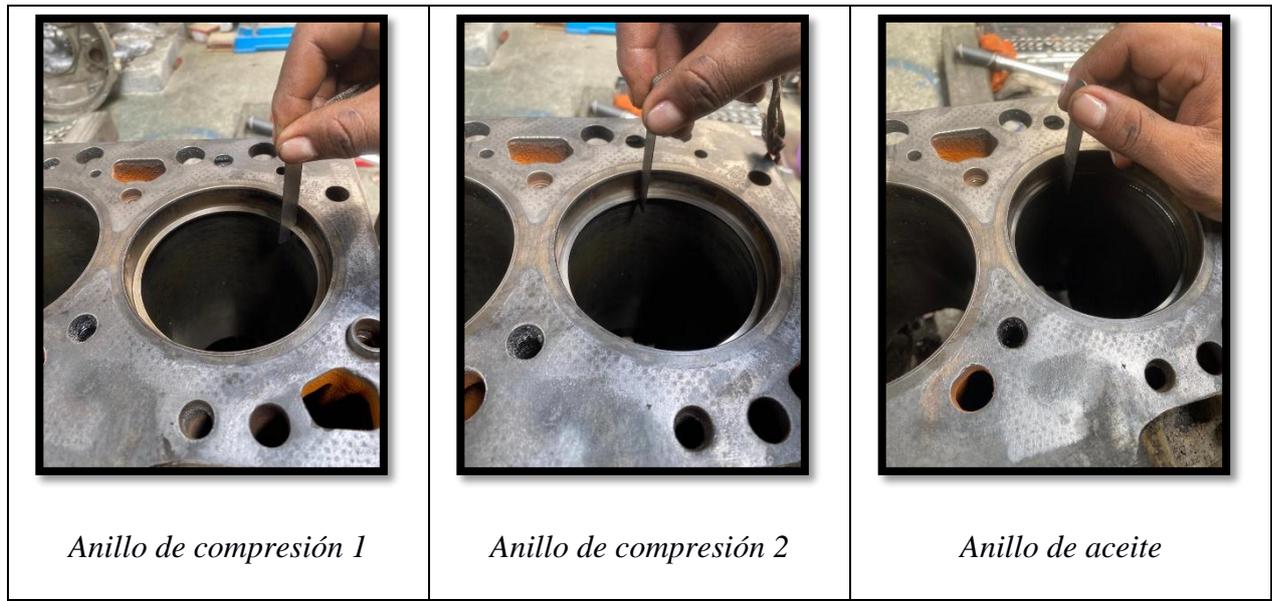
Figura 2.12 Medición de diámetro interno de bancada con cojinetes



Nota: Para poder realizar la medida de los cojinetes de bancada principales se utilizó el medidor telescópico y un calibrador de vernier digital, se tomó en cuenta dos mediciones de forma diagonal.

2.5.2.6 Estado de los anillos.

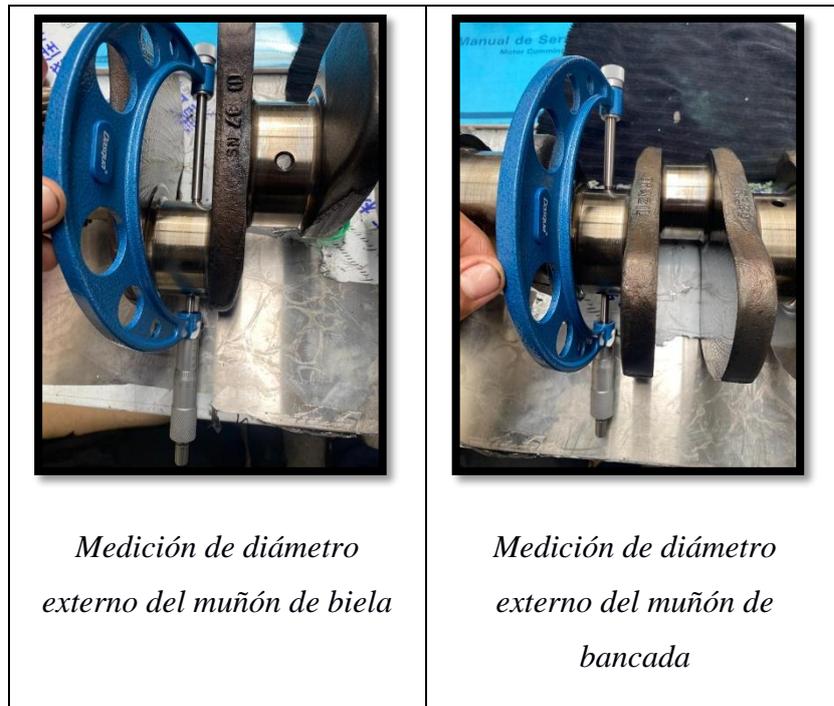
Figura 2.13 Medición de los anillos en camisas viejas



Nota: Para realizar las mediciones de la holgura de los anillos, se utilizan linternas de diferentes medidas con el objetivo de encontrar la medida que mejor encaje en el espaciado de los anillos en los dos de compresión y el de aceite.

2.5.2.7 Revisión del muñón de biela y muñón de bancada del cigüeñal.

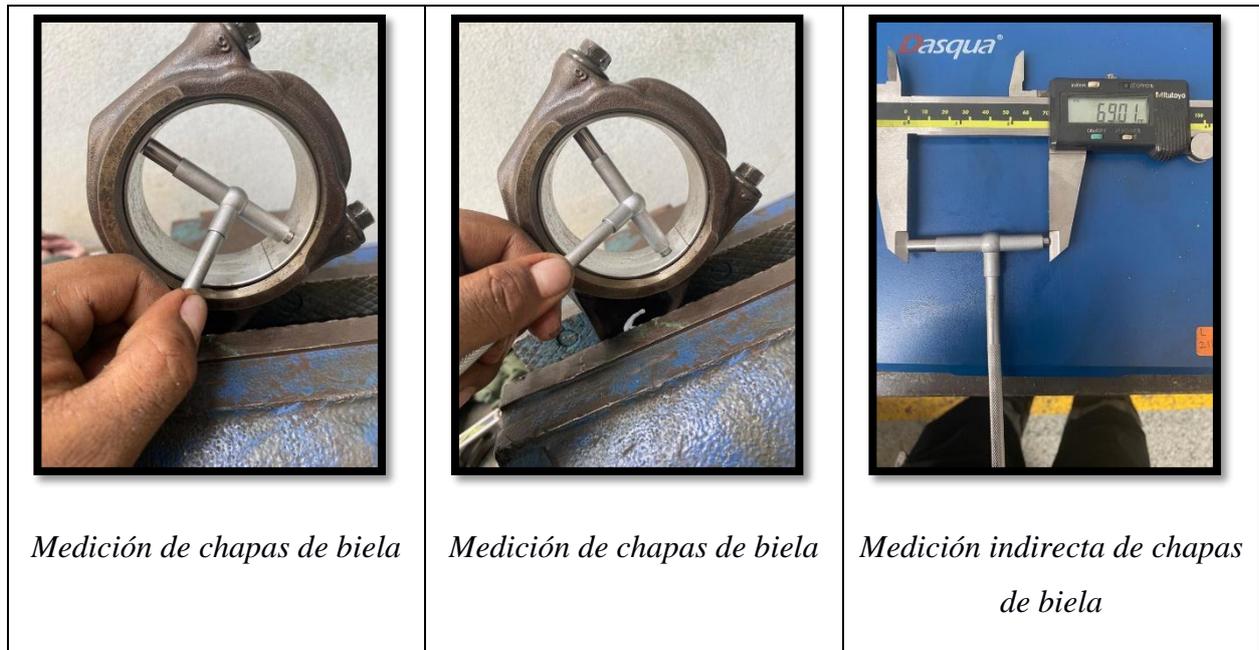
Figura 2.14 Medición del muñón de bancada



Nota: La medición del diámetro exterior del muñón de biela y del muñón de bancada fue realizada con ayuda de un micrómetro, y sus resultados se describen en el capítulo 3 en las tablas 3.11 y 3.9 respectivamente.

2.5.2.8 Estado de la biela.

Figura 2.15 Medición del diámetro interno del cojinete de la biela



Nota: Para realizar la medición del diámetro interno del brazo de bielas en el alojamiento del muñón del cigüeñal con chapas, se utilizó un calibre telescópico, que es una herramienta que, en conjunto con un calibrador de vernier, nos ayudó a realizar la medición del diámetro interno.

2.5.2.9 Revisión de la bomba de aceite.

Figura 2.16 Medición del juego de ápices de los resaltos de corona y del rotor



Nota: Según el fabricante se estima que para que la bomba de aceite trabaje de manera correcta debe tener un máximo de $0,018 \text{ mm max}$, en el juego de ápices de los resaltos de corona y del rotor, sin embargo, a la hora de realizar la medida se obtuvo que el espaciado llega hasta un valor de $0,026 \text{ mm}$, razón por la cual se debe cambiar por una nueva.

2.5.2.10 Estado de los inyectores.

Para verificar el estado de los inyectores, se realizó pruebas de abertura, utilizando un banco de pruebas, con el objetivo de determinar a qué presión están trabajando los inyectores, y saber si están trabajando de manera correcta por medio del ruido característico y forma del chorro, que deben pulverizar.

Figura 2.17 Medición de presión de abertura de los inyectores



*Presión de abertura de
inyector cilindro 1*



*Presión de abertura de
inyector cilindro 2*



*Presión de abertura de
inyector cilindro 3*



*Presión de abertura de
inyector cilindro 4*



*Presión de abertura de
inyector cilindro 5*



*Presión de abertura de
inyector cilindro 6*

Nota: En la figura 2.8 se muestra las mediciones de presión de abertura de los inyectores que se desmonto del motor de combustión interna.

2.5.2.11 Revisión de la bomba de inyección.

Para el mantenimiento de la bomba de inyección se llevará a cabo en un laboratorio especializado, donde se dispone de equipos especiales para poder realizar la inspección y reparación del equipo.

2.5.3 Armado del motor de combustión interna

Una vez realizada las mediciones de los componentes del motor de combustión interna, se procedió con el armado del equipo, su detalle se presenta en el *anexo 4*, incluyendo el cambio de repuestos averiados con sus respectivas medidas para garantizar el óptimo funcionamiento del motor de combustión interna.

2.5.3.1 Camisas nuevas.

El bloque del motor fue llevado a la rectificadora llamada “*Rectificadora Ayón*”, donde se realizó la revisión y rectificación del bloque de motor y los 6 encamisados, ya que, al ser camisas secas, se hacen el montaje utilizando prensas hidráulicas, además que, se rectificó cada cilindro para que las camisas mantengas el diámetro permitido, que están dentro del rango permitido por el fabricante.

2.5.3.2 Cojinetes de bancada.

Para el montaje de los cojinetes de bancada se utilizó una pasta especial llamada “Lubricante 105”, para ayudar con la lubricación durante en el ensamblaje, y una vez colocado el cojinete se procede con el apriete en conjunto con los cepos de bancada.

2.5.3.3 Anillos nuevos en camisas.

Para realizar el montaje de los anillos de pistones se basó en el manual del fabricante donde se especifica el orden de los dos anillos de compresión y el de aceite, su montaje fue realizado luego de medir dichos anillos en las camisas, y sus resultados se presentan en el capítulo 3 en la tabla 3.8.

2.5.3.4 Cigüeñal: muñón de bancada.

Al igual de los cojinetes de bancada, se utilizó la pasta especial con el fin de lubricar los componentes durante el montaje, y su medición se lo realizó en conjunto con el apriete según el manual lo requiere, estos resultados se muestran en el capítulo 3 en la tabla 3.10.

2.5.3.5 Cigüeñal: muñón de biela.

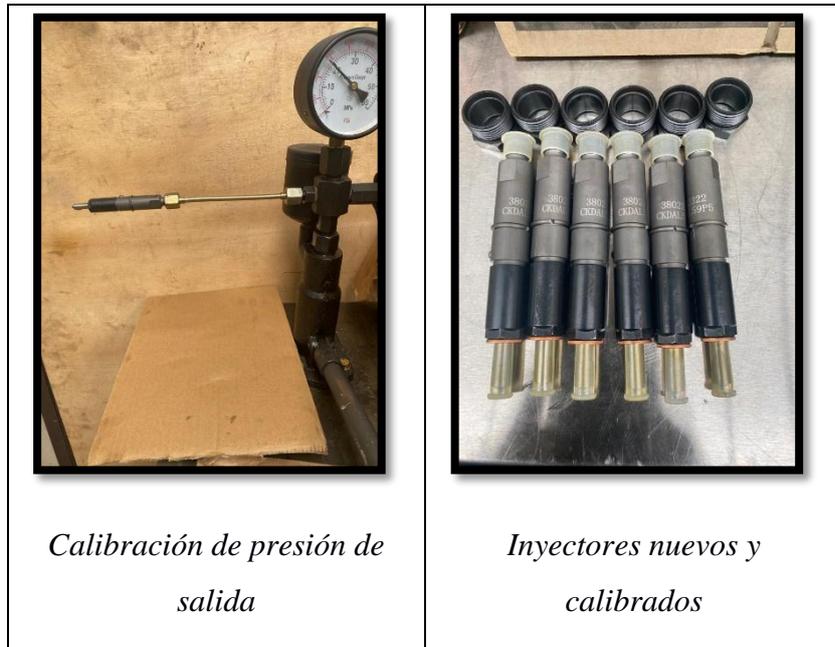
Para esta parte se utilizó un micrómetro con el fin de obtener la medición externa del muñón de la biela, estos resultados se los presentan en el capítulo 3 en la tabla 3.12.

2.5.3.6 Cojinete de la biela.

Al igual que el muñón de biela se obtuvo la medición del diámetro externo utilizando un micrómetro, estas medidas se presentaron en el capítulo 3, tabla 3.14.

2.5.3.7 Calibración de inyectores.

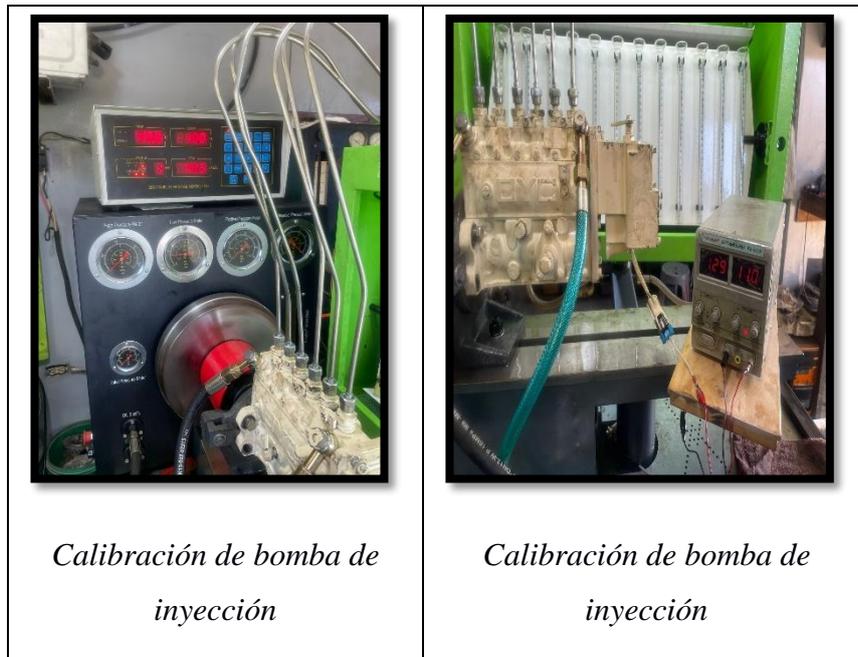
Figura 2.18 Calibración de 6 inyectores



Nota: Para lograr parámetros ideales, se calibro cada inyector como lo muestra el manual, es decir, que la presión de salida de los inyectores debe estar a 20 Bares.

2.5.3.8 Bomba de inyección.

Figura 2.19 Calibración de bomba de inyección para su óptimo funcionamiento



Nota: La reparación de lo realizo en “Laboratorio Quimis”, logrando la recuperación del componente de acuerdo con los parámetros de trabajo que debe rendir para el funcionamiento del grupo electrógeno

CAPÍTULO 3

3.1 Resultados del mantenimiento

En este apartado se detallan los resultados obtenidos a partir de la metodología mostrada en el capítulo 2, referente a las mediciones de los componentes del equipo, lecturas del tablero de control, tanto antes como después del mantenimiento, además del costo que significó llevar a cabo esta solución.

3.1.1 Parte eléctrica

3.1.1.1 Prueba de aislamiento del generador.

Tabla 3.1 Prueba de aislamiento antes del mantenimiento

Resistencia de aislamiento del generador a 527v de tensión de prueba

<i>L1-T</i>	6.33 MΩ	Baja
<i>L2-T</i>	1.53 MΩ	Baja
<i>L3-T</i>	1.92 MΩ	Baja
<i>ROTOR</i>	18.56 MΩ	Baja
<i>EXCITATRIZ ROTÓRICA</i>	Buena	Baja
<i>EXCITATRIZ FIJA</i>	550 MΩ	Buena
<i>GENERADOR DE IMAN PERMANENTE (PMG)</i>	55 MΩ	Buena

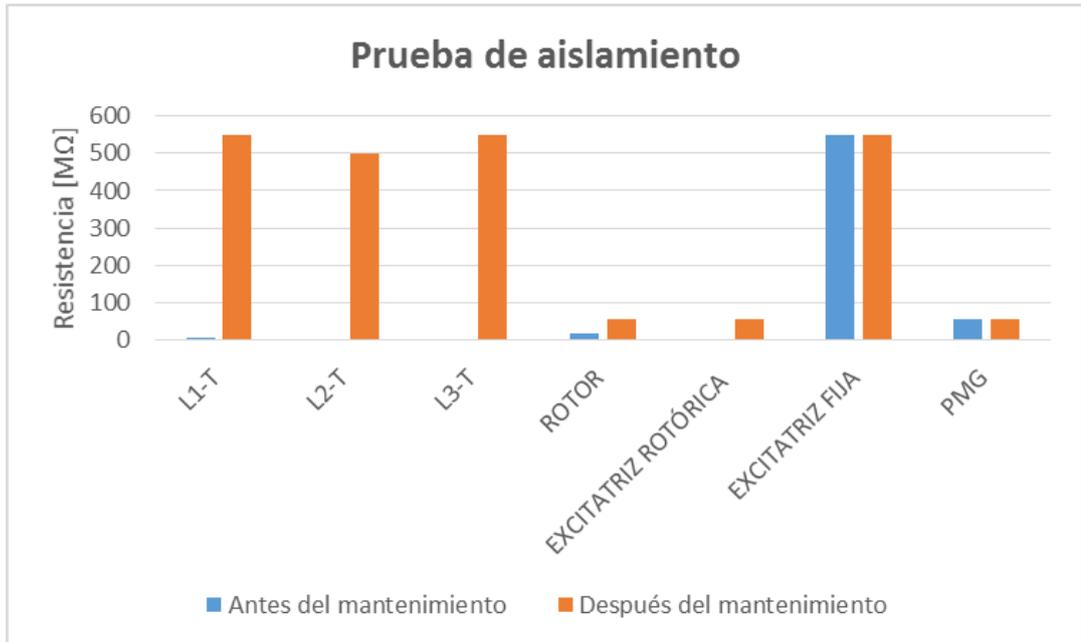
Nota: Como se muestra en la tabla 6, los valores del aislamiento son bajos en las fases de línea a tierra, en el rotor, y excitatriz fija, por lo que se requiere del mantenimiento, con el fin de recuperar la protección de los devanados a tierra del equipo.

Tabla 3.2 Prueba de aislamiento después del mantenimiento

*Resistencia de aislamiento del generador a 527v de
tensión de prueba*

<i>L1-T</i>	550 MΩ	Excelente
<i>L2-T</i>	500 MΩ	Excelente
<i>L3-T</i>	550 MΩ	Excelente
<i>ROTOR</i>	55 MΩ	Excelente
<i>EXCITATRIZ ROTÓRICA</i>	55 MΩ	Excelente
<i>EXCITATRIZ FIJA</i>	550 MΩ	Excelente
<i>GENERADOR DE IMAN PERMANENTE (PMG)</i>	55 MΩ	Excelente

Figura 3.1 Gráfica comparativa de las pruebas de aislamiento antes y después del mantenimiento



Nota: Con ayuda de la figura 3.1 podemos observar, como luego del mantenimiento los valores de aislamiento alcanzaron un mayor valor en cada uno de los apartados, a excepción de la excitatriz fija y en el PMG cuyos excelentes valores de resistencia se mantuvieron.

3.1.2 Parte mecánica

3.1.2.1 Mediciones de las camisas del bloque del motor.

Tabla 3.3 Medición de camisas viejas

Rango recomendado por el fabricante del diámetro interno de la camisa:

102,012 mm a 102,116 mm

Rango recomendado por el fabricante del ovalamiento máximo de la camisa: 0,035 mm máx.

	A [A±0,0005 mm]	B [B ±0,0005 mm]	C [C ± 0,0005 mm]	D [D ± 0,0005 mm]	Ovalamiento máximo O [O ±0,0005 mm]
1	102,017	102,012	102,007	102,012	0,005
2	102,018	102,003	102,008	102,003	0,015
3	102,016	102,007	102,006	102,007	0,009
4	102,017	102,011	102,007	102,011	0,010
5	102,019	102,009	102,009	102,009	0,010
6	102,014	102,012	102,004	102,012	0,002

Nota: La tabla 3.3 muestra los resultados obtenidos de las mediciones de las camisas con las que originalmente contaba el motor, las cuales se mantienen dentro del rango permitido por fabricante tanto en los valores de diámetro como de ovalamiento.

Tabla 3.4 Medición de camisas nuevas

Rango recomendado por el fabricante del diámetro interno de la camisa:

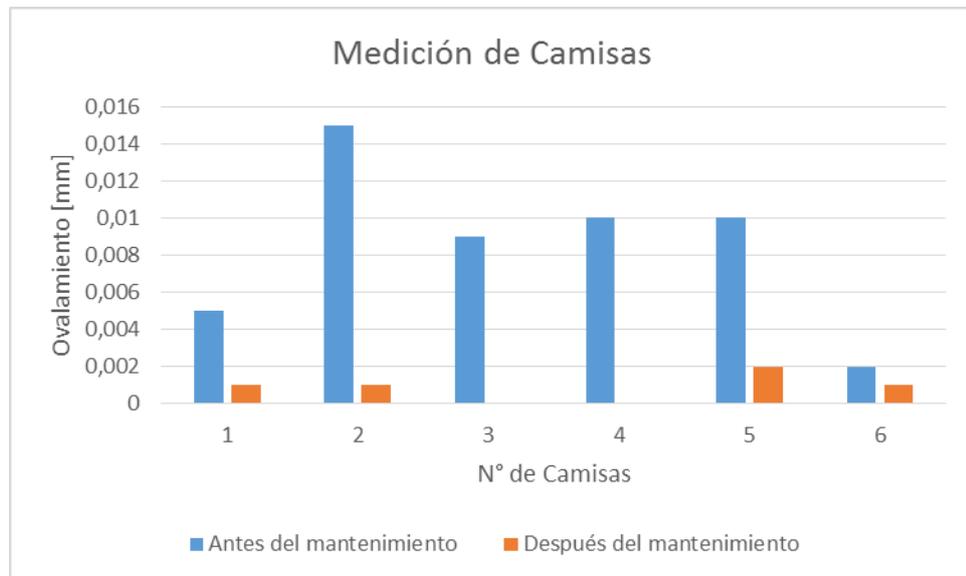
102,012 mm a 102,116 mm

Rango recomendado por el fabricante del ovalamiento máximo de la camisa: 0,035 mm máx.

	A [A±0,0005 mm]	B [B ±0,0005 mm]	C [C ± 0,0005 mm]	D [D ± 0,0005 mm]	Ovalamiento máximo O [O ±0,0005 mm]
1	102,001	102,000	102,002	102,00	0,001
2	102,001	102,002	102,001	102,000	0,001
3	102,000	102,000	102,000	102,002	0,000
4	102,000	102,001	102,002	102,000	0,000
5	102,002	102,000	102,000	102,001	0,002
6	102,000	102,001	102,001	102,000	0,001

Nota: Los datos presentados en la tabla 3.4 son los valores obtenidos al medir las nuevas camisas que fueron montadas en el bloque del motor; sus valores son menores a los diámetros de las camisas usadas y también se encuentran dentro del rango permitido por fabricante.

Figura 3.2 Gráfica comparativa de las mediciones de las camisas antes y después del mantenimiento.



Nota: A partir de la figura 3.2 podemos observar que el ovalamiento de las camisas nuevas tuvo una reducción considerable en comparación al de las camisas viejas, a tal punto que existen camisas, como la 3 y 4 que presentan un valor de ovalamiento igual a cero.

3.1.2.2 Mediciones de los cojinetes de bancada.

Tabla 3.5 Medición del diámetro interno de los cojinetes de bancada principales antes del mantenimiento

Rango recomendado por el fabricante del diámetro interno de la bancada: 83,106 mm máx.

	A [A±0,0005 mm]	B [B ±0,0005 mm]
1	83,103	83,103
2	83,104	83,105
3	83,105	83,104
4	83,104	83,102
5	83,105	83,105
6	83,103	83,103
7	83,105	83,105

Nota: Los resultados obtenidos nos muestran que las medidas de los diámetros internos están dentro del rango permitido, pero sus valores se encuentran muy cercanos su valor máximo.

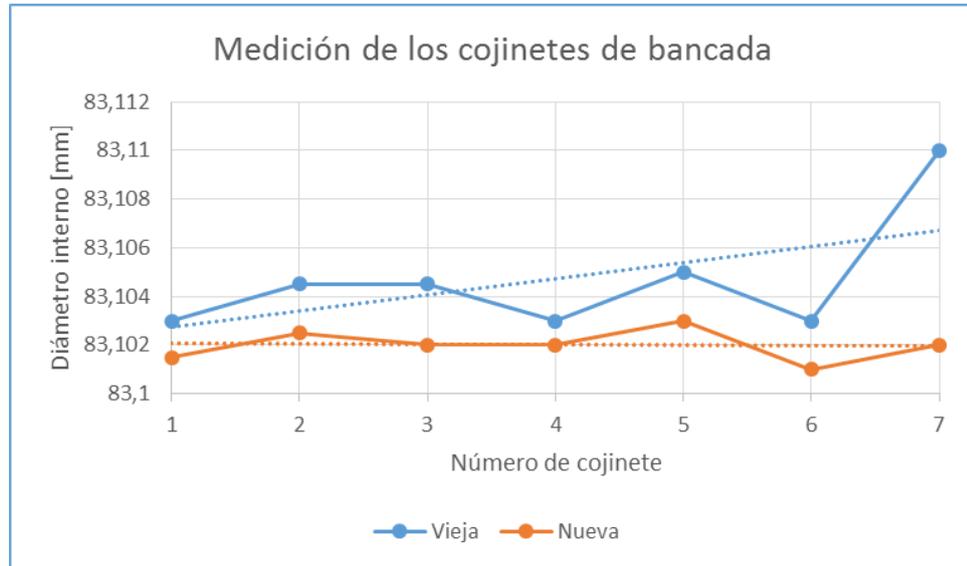
Tabla 3.6 Medición del diámetro interno de los cojinetes de bancadas principales después del mantenimiento

Rango recomendado por el fabricante del diámetro interno de la bancada: 83,106 mm máx.

	A [A±0,0005 mm]	B [B ±0,0005 mm]
1	83,101	83,102
2	83,102	83,103
3	83,102	83,102
4	83,102	83,102
5	83,103	83,103
6	83,101	83,101
7	83,102	83,102

Nota: Con el cambio de los cojinetes de bancada, los resultados de las mediciones de los diámetros internos mostraron un menor valor, por lo que están más alejados del diámetro máximo permitido.

Figura 3.3 Gráfica comparativa de las mediciones de los diámetros internos de los cojinetes de bancada antes y después del mantenimiento.



Nota: A partir de la figura 3.3 se pudo comparar la uniformidad de los diámetros de cada uno de los cojinetes de bancada antes y después del mantenimiento, comprobando de esta manera la disparidad que existe en los diámetros de los cojinetes viejos producto del desgaste. Por otro lado, las mediciones de los diámetros de los cojinetes después del mantenimiento muestran un comportamiento mucho más uniforme, al tratarse de cojinetes nuevos.

3.1.2.3 Mediciones de los anillos.

Tabla 3.7 *Medición de anillos en camisa viejas*

Medición de anillos según el fabricante del 1 anillo de compresión:

0,75 mm máx.

Medición de anillos según el fabricante del 2 anillo de compresión:

0,55 mm máx.

Medición de anillos según el fabricante del 3 anillo de aceite:

0,55 mm máx.

<i>Cilindro</i>	Anillo 1 ± 0,05 mm	Anillo 2 ± 0,05 mm	Anillo 3 ± 0,05 mm
<i>1</i>	0,75	0,57	0,59
<i>2</i>	0,76	0,56	0,58
<i>3</i>	0,77	0,57	0,57
<i>4</i>	0,76	0,58	0,58
<i>5</i>	0,76	0,58	0,57
<i>6</i>	0,77	0,57	0,59

Nota: La tabla 3.7 muestra las mediciones efectuadas sobre los tres anillos usados, en donde se observa que cada una de estas ya superan o se encuentran próximas a superar el valor máximo permitido.

Tabla 3.8 Medición de anillos en camisa nuevas

Medición de anillos según el fabricante del 1 anillo de compresión:

0,75 mm máx.

Medición de anillos según el fabricante del 2 anillo de compresión:

0,55 mm máx.

Medición de anillos según el fabricante del 3 anillo de aceite:

0,55 mm máx.

<i>Cilindro</i>	Anillo 1 ± 0,05	Anillo 2 ± 0,05	Anillo 3 ± 0,05
	mm	mm	mm
<i>1</i>	0,65	0,53	0,45
<i>2</i>	0,65	0,53	0,45
<i>3</i>	0,65	0,53	0,45
<i>4</i>	0,65	0,53	0,45
<i>5</i>	0,65	0,53	0,45
<i>6</i>	0,65	0,53	0,45

Nota: En la tabla 3.8 se pueden observar los resultados de las mediciones de cada uno de los anillos, los cuales como es de esperarse, están por debajo del valor límite establecido, al ser piezas completamente nuevas.

Figura 3.4 Gráfica comparativa de las mediciones del anillo 1 realizada antes y después del mantenimiento

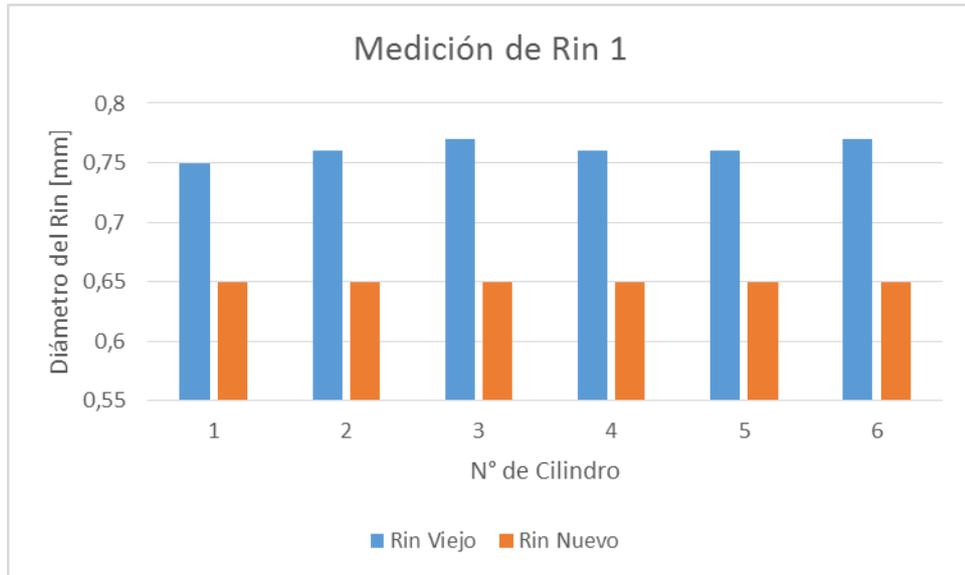


Figura 3.5 Gráfica comparativa de las mediciones del anillo 2 realizada antes y después del mantenimiento

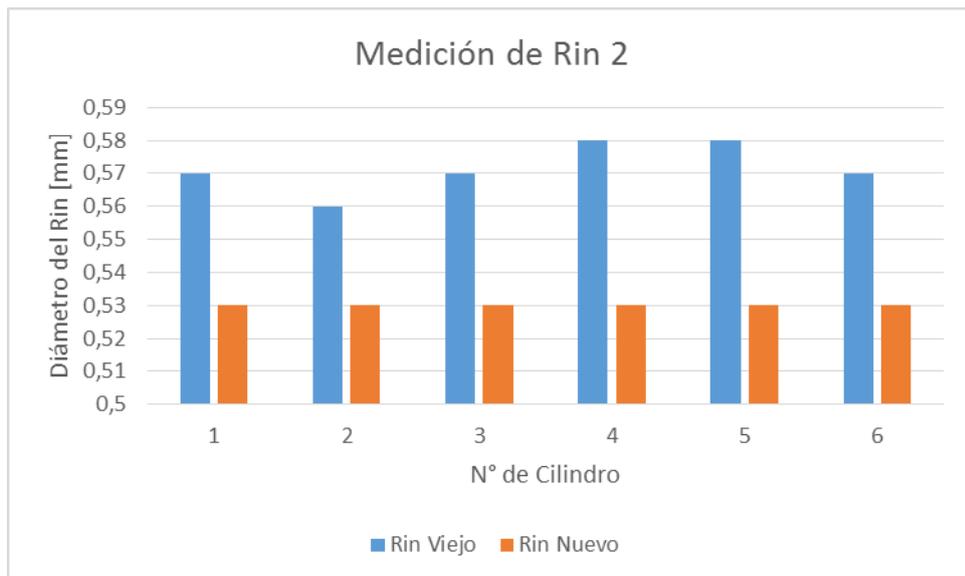
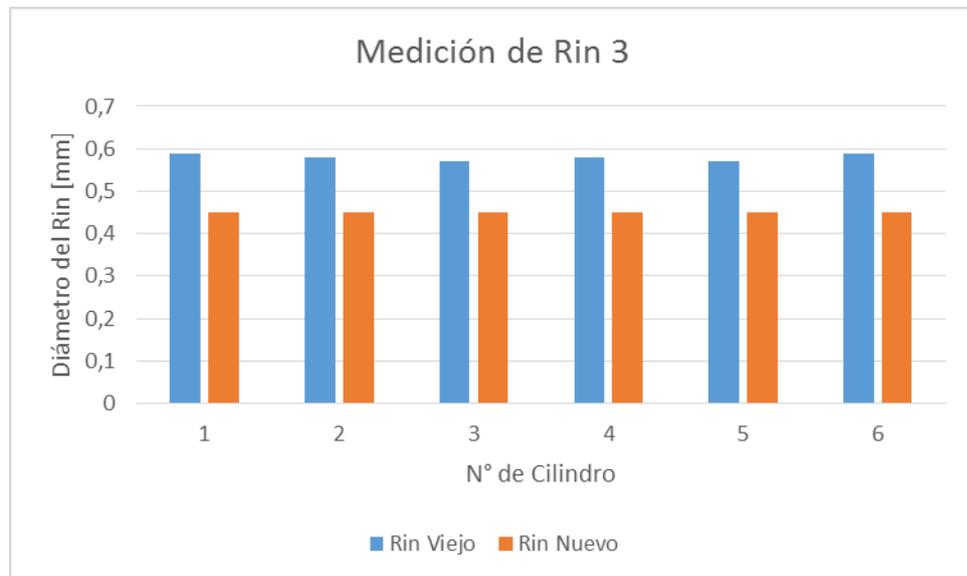


Figura 3.6 Gráfica comparativa de las mediciones del anillo 3 realizada antes y después del mantenimiento.



Nota: A partir de estas tres figuras que comparan los diámetros de los anillos nuevos con los anillos viejos, se pudo corroborar que estos últimos ya presentaban una holgura ocasionada por el tiempo de uso.

3.1.2.4 Mediciones de los muñones de bancada del cigüeñal.

Tabla.3.9 Medición de muñón de bancada antes del mantenimiento

Rango recomendado por el fabricante del diámetro externo del muñón de la bancada:
82,962 mm a 83,013 mm

Rango recomendado por el fabricante del ovalamiento máximo del muñón de la bancada:
0,050 mm máx.

	A [A±0,0005 mm]	B [B ±0,0005 mm]	Ovalamiento máximo O [O ±0,0005 mm]
1	82,963	82,964	0,001
2	82,964	82,963	0,001
3	82,963	82,962	0,001
4	82,964	82,963	0,001
5	82,963	82,964	0,001
6	82,964	82,963	0,001
7	82,963	82,962	0,001

Nota: Con ayuda de la tabla 3.9 se determinó que los muñones de bancada se encontraban dentro del rango permitido por el fabricante.

Tabla 3.10 Medición de muñón de bancada después del mantenimiento

Rango recomendado por el fabricante del diámetro externo del muñón de la bancada:

82,962 mm a 83,013 mm

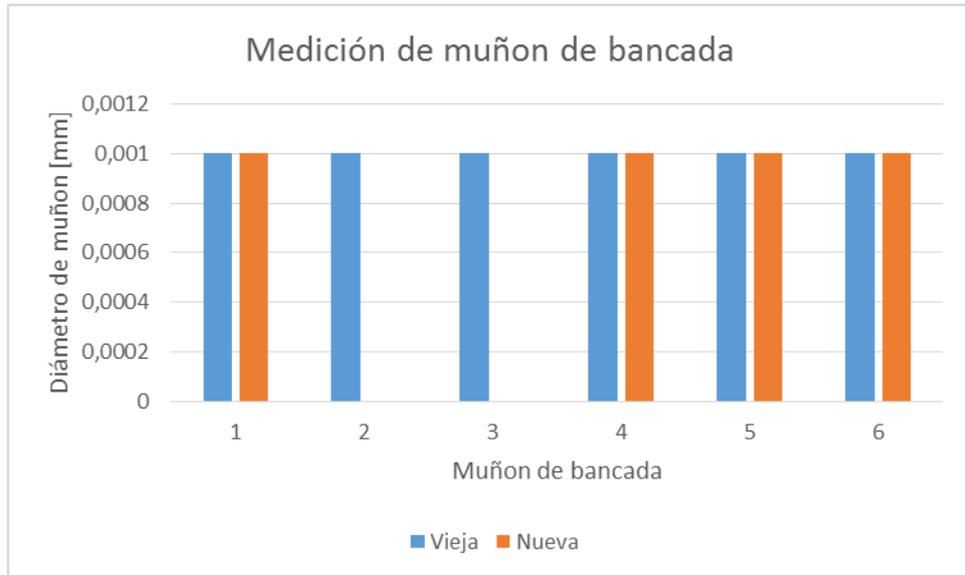
Rango recomendado por el fabricante del ovalamiento máximo del muñón de la bancada:

0,050 mm máx.

	A [A±0,0005 mm]	B [B ±0,0005 mm]	Ovalamiento máximo O [O ±0,0005 mm]
1	82,962	82,963	0,001
2	82,963	82,963	0,000
3	82,962	82,962	0,000
4	82,963	82,962	0,001
5	82,962	82,963	0,001
6	82,963	82,962	0,001
7	82,963	82,962	0,001

Nota: Las mediciones de los muñones de bancada detalladas en la tabla 3.10, presentaron una mínima reducción en sus diámetros, producto de una limpieza de rayadura empleando una lija número 1000.

Figura 3.7 Gráfica comparativa de las mediciones del muñón de bancada realizada antes y después del mantenimiento.



Nota: Al comparar el ovalamiento de los muñones de bancada antes y después del mantenimiento con ayuda de la figura 3.7, no se hallaron cambios con excepción de los muñones de bancada 2 y 3 en los cuales la limpieza de ralladuras les permitió tener un ovalamiento igual a cero.

3.1.2.5 Mediciones de los muñones de biela del cigüeñal.

Tabla 3.11 Medición de muñón de biela antes del mantenimiento

Rango recomendado por el fabricante del diámetro externo del muñón de la biela:

68,962 mm a 69,013 mm

Rango recomendado por el fabricante del ovalamiento máximo del muñón de la biela:

0,050 mm máx.

	A [A±0,0005 mm]	B [B ±0,0005 mm]	Ovalamiento máximo O [O ±0,0005 mm]
1	68,965	68,963	0,002
2	68,964	68,963	0,001
3	68,965	68,964	0,001
4	68,964	68,963	0,001
5	68,963	68,965	0,002
6	68,963	68,965	0,002

Nota: Los resultados que se exponen en la tabla 3.11, indican que los muñones de biela presentaban medidas acordes a lo estipulado fabricante, pero con pequeñas diferencias entre ellas que dan origen al ovalamiento.

Tabla 3.12 Medición de muñón de biela del cigüeñal después del mantenimiento

Rango recomendado por el fabricante del diámetro externo del muñón de la biela:

68,962 mm a 69,013 mm

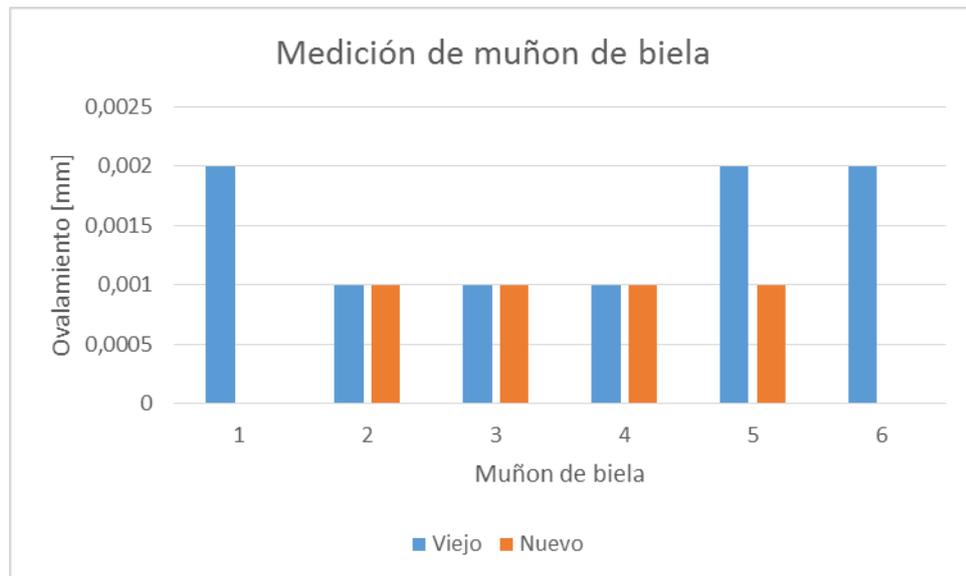
Rango recomendado por el fabricante del ovalamiento máximo del muñón de la biela:

0,050 mm máx.

	A [A±0,0005 mm]	B [B ±0,0005 mm]	Ovalamiento máximo O [O ±0,0005 mm]
1	68,963	68,963	0,000
2	68,962	68,963	0,001
3	68,963	68,962	0,001
4	68,962	68,963	0,001
5	68,963	68,962	0,001
6	68,962	68,962	0,000

Nota: Los resultados tabulados en la tabla 3.12 y que fueron obtenidos de las mediciones de los muñones de biela después del mantenimiento, muestra una pequeña reducción en sus diámetros debido a la limpieza a la rayadura efectuada sobre esta parte del cigüeñal.

Figura 3.8 Gráfica comparativa de las mediciones del muñón de biela realizada antes y después del mantenimiento.



Nota: En el caso de las mediciones de los muñones de biela, que se muestra en la figura 3.8 se pudo apreciar cierta diferencia entre los diámetros de los muñones de bielas viejos y los nuevos, pero aun así los ovalamientos que presentaron antes y después del mantenimiento fueron mínimos y estaban dentro del rango aceptable.

3.1.2.6 Medición de los cojinetes de biela.

Tabla 3.13 Medición de diámetro interno de cojinetes de biela antes del mantenimiento

Rango recomendado por el fabricante del diámetro interno de la biela: 69,051 a 69,103 mm máx.

	A [A±0,0005 mm]	B [B ±0,0005 mm]	Ovalamiento máx. O [O ±0,0005 mm]
1	69,061	69,059	0.002
2	69,065	69,059	0.006
3	69,059	69,062	0.003
4	69,061	69,061	0,000
5	69,062	69,059	0.003
6	69,059	69,065	0.006

Nota: La tabla 3.13 muestra las dos mediciones realizadas en diferentes puntos de cada cojinete de biela, con el propósito de conocer la uniformidad de sus diámetros, encontrando que en cada cojinete había una disparidad en la medición, la cual representaba el ovalamiento.

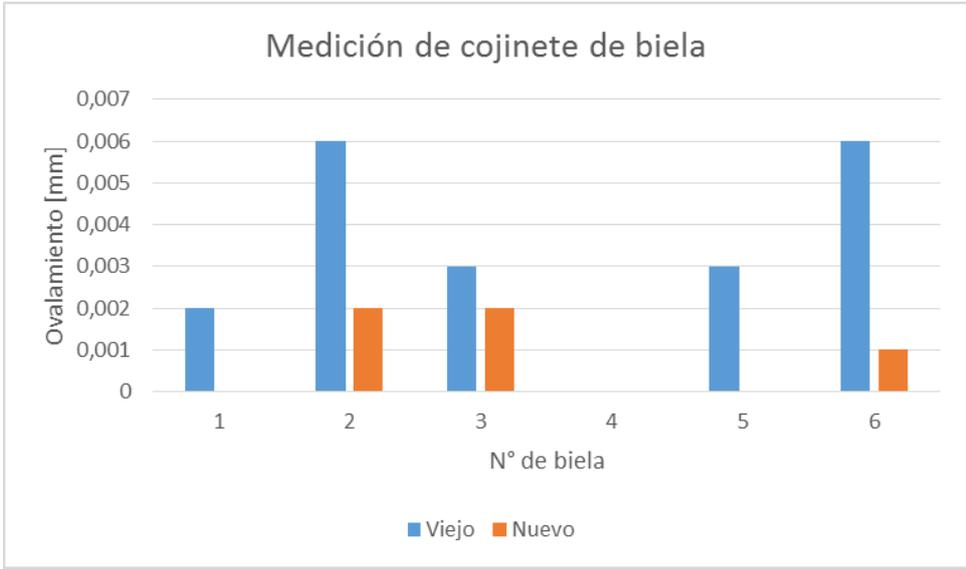
Tabla 3.14 Medición de diámetro interno de cojinetes de biela después del mantenimiento

Rango recomendado por el fabricante del diámetro interno de la biela: 69,051 a 69,103 mm máx.

	A [A±0,0005 mm]	B [B ±0,0005 mm]	Ovalamiento máx. O [O ±0,0005 mm]
1	69,061	69,061	0.000
2	69,063	69,061	0.002
3	69,060	69,062	0.002
4	69,061	69,061	0,000
5	69,062	69,062	0.000
6	69,062	69,063	0.001

Nota: Las mediciones de los nuevos cojinetes de bielas que se desglosan en la tabla 3.14, son mucho más uniformes, a tal punto en que sus valores de ovalamiento son cero o muy cercanos a cero.

Figura 3.9 Gráfica comparativa de las mediciones de los cojinetes de biela realizada antes y después del mantenimiento.



Nota: La diferencia entre el ovalamiento obtenido en los cojinetes nuevos como en los viejos, pudo evidenciarse de forma más notoria con ayuda de la figura 3.9 en donde se observó que los cojinetes de biela usados presentaban un mayor ovalamiento, mientras que, en los cojinetes de biela nuevos, este valor era prácticamente nuevos.

3.1.2.7 Lectura del voltaje línea a línea.

Figura 3.10 Voltaje línea a línea después del mantenimiento



Nota: el tablero marca la lectura del voltaje de salida del generador, y los resultados son los esperados ya que este equipo trabaja con voltaje de 440v

3.1.2.8 Lectura de la potencia del motor.

Figura 3.11 Potencia del motor después de mantenimiento



Nota: La potencia del equipo tal como lo muestra la figura, aumentó luego del mantenimiento alcanzando los 53.6 kVA al 60% de carga.

3.1.2.9 Lectura de la frecuencia del motor.

Figura 3.12 Frecuencia después del mantenimiento



Nota: Tal como lo muestra la pantalla del tablero, la frecuencia obtenida luego de haber realizado el mantenimiento es mayor a la que tenía inicialmente el equipo, consiguiendo la frecuencia óptima dictada por el fabricante.

3.1.2.10 Lectura de las revoluciones del motor.

Figura 3.13 Revoluciones del motor



Nota: Las revoluciones del motor luego del mantenimiento señalada la figura 3.12, presentaron un aumento en comparación de su valor inicial, logrando de esta forma conseguir las RPM necesarias para garantizar un buen desempeño del equipo.

3.1.2.11 Porcentaje de mejora de la frecuencia.

Frecuencia antes del mantenimiento=55,7 Hz

Frecuencia des pues del mantenimiento= 60,6 Hz

$$\% \text{ de mejora} = \frac{60,6 - 55,7}{55,7} \times 100\%$$

$$\% \text{ de mejora} = 9\%$$

3.1.2.12 Porcentaje de mejora de las revoluciones del motor.

Revoluciones antes del mantenimiento= 1650 RPM

Revoluciones después del mantenimiento= 1836 RPM

$$\% \text{ de mejora} = \frac{1836 - 1650}{1650} \times 100\%$$

$$\% \text{ de mejora} = 11\%$$

3.1.2.13 Tiempo medio de reparación.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}}$$

Datos:

$$\text{Tiempo total de mantenimiento} = 14 \text{ días}$$

$$\text{Número de reparaciones} = 20$$

$$MTTR = \frac{14 \text{ días laborales} \times \frac{5 \text{ horas}}{1 \text{ día laboral}}}{20}$$

$$MTTR = \frac{70 \text{ horas}}{20}$$

$$MTTR = 3,5 \text{ horas}$$

Para el tiempo total de mantenimiento se consideraron solamente los días en los que el equipo fue intervenido, tomando en cuenta 5 horas de trabajo en un día laboral. Con respecto al número de reparaciones, este fue determinado con ayuda del historial de fallas que tenía el grupo electrógeno durante sus 8000 horas de trabajo.

3.1.2.14 Tiempo medio entre fallas.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Número de paradas}}$$

Datos:

$$\textit{Tiempo disponible} - \textit{Tiempo de inactividad} = 8000 \textit{ horas}$$

$$\textit{Número de paradas} = 20$$

$$MTBF = \frac{8000 \textit{ horas}}{20}$$

$$MTBF = 400 \textit{ horas}$$

Las 8000 horas representa el tiempo de funcionamiento del equipo antes de ser reparado. El número de paradas representa la cantidad de veces que el equipo se ha detenido para realizar alguna reparación o algún mantenimiento preventivo.

3.1.2.15 Disponibilidad.

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \cdot 100\% \quad \textit{Ecu} 1.6$$

Datos:

$$MTBF = 400 \textit{ horas}$$

$$MTTR = 3,5 \textit{ horas}$$

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{400}{400 + 3,5} \cdot 100\%$$

$$\textit{Disponibilidad} = 0,9913 \cdot 100\%$$

$$\textit{Disponibilidad} = 99,13 \%$$

Este valor nos indica que el grupo electrógeno luego del mantenimiento, si cumple con el tiempo medio de reparación y el tiempo medio entre fallas calculados anteriormente, considerando 20 paralizaciones durante 8000 horas de trabajo, casi siempre estará disponible.

3.1.2.16 Confiabilidad.

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\lambda t}$$

Datos:

$$e = \text{Numero de Euler}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{400 \text{ horas}} = 0,0025$$

$$t = 250 \text{ horas}$$

$$\text{Confiabilidad} = e^{-0,0025 \times 250}$$

$$\text{Confiabilidad} = 0,53$$

La probabilidad de que el equipo llegue a las 250 horas, que es el tiempo en el que el fabricante recomienda realizar una revisión total del funcionamiento, sin presentar fallas es de 0.53

3.1.3 Costos de repuestos.

Tabla 3.15 Lista de precios de los repuestos finales

Ítem	Descripción	No. Parte	Cantidad	Precio	
				Unitari	Precio Total
1	Arandela plana	3935959	1	\$ 9,00	\$ 9,00
2	Caja de engranes de junta	3938156	1	\$ 16,00	\$ 16,00
3	Anillo de sello rectangular	3915772	1	\$ 7,00	\$ 7,00
4	Varilla de empuje	3284377	6	\$ 16,00	\$ 96,00
5	Arandela plana	3900245	2	\$ 7,00	\$ 14,00
6	Valve Tappet	3931623	2	\$ 19,00	\$ 38,00
7	Manga	3904166	6	\$ 70,00	\$ 420,00
8	Cojinete	3904369//390324	1	\$ 12,00	\$ 12,00
9	Junta tórica de sellado	3926047	1	\$ 6,00	\$ 6,00
10	Conjunto de rodamiento principal STD	3802070	1	\$ 105,0 0	\$ 105,00
11	Conjunto de rodamiento 0,10"	3802071	1	\$ 105,0 0	\$ 105,00
12	Cojinete de empuje del cigüeñal	3284623	1	\$ 80,00	\$ 80,00
13	Kit de retenedores frontal	3972071	1	\$120,00	\$ 120,00
14	Kit de retenedores trasero	3910566	1	\$140,00	\$ 140,00
15	Junta de la tapa de la varilla de empuje	3284623	1	\$19,00	\$ 19,00
16	Termostato	3972071	1	\$ 65,00	\$ 65,00
17	Alternador	3926126	1	\$490,00	\$ 490,00
18	Transductor	3917123	1	\$390,00	\$ 390,00
19	Transductor	3913628	1	\$295,00	\$ 295,00
20	Interruptor de temperatura	3408631	1	\$ 75,00	\$ 75,00
21	Interruptor de presión	3408612	1	\$ 289,0 0	\$ 289,00
22	Tensor de correa	3937553	1	\$ 210,0 0	\$ 210,00

23	Correa	3288856	1	\$ 49,00	\$ 49,00
24	Sello de anillo rectangular	3903475	1	\$ 6,00	\$ 6,00
25	Filtro de combustible	3931063	2	\$ 19,00	\$ 38,00
26	Junta de tapa trasera	3938159	1	\$ 22,00	\$ 22,00
27	Sello de aceite	3970548	1	\$ 29,00	\$ 29,00
28	Sello anillo rectangular	3912473	1	\$ 9,00	\$ 9,00
29	Kit de reparación de bomba de inyección de combustible	3918973	1	\$2.995	\$ 2.995,00
30	Bomba de transferencia de combustible	3970880	1	\$ 90,00	\$ 90,00
31	Filtro de aceite lubricante de cartucho	3937743	1	\$ 29,00	\$ 29,00
32	Cabezal del filtro de junta	3942915	1	\$ 18,00	\$ 18,00
33	Núcleo del enfriador de aceite de la junta	3942914	1	\$ 18,00	\$ 18,00
34	Bomba de aceite lubricante	3937404	1	\$225,00	\$ 225,00
35	Cárter de aceite de junta	3959052	1	\$ 42,00	\$ 42,00
36	Conjunto anillo de pistón	3802421	6	\$ 45,00	\$ 270,00
37	Pasador del pistón	3934048	6	\$ 25,00	\$ 150,00
38	Cojinete	4891178	6	\$ 25,00	\$ 150,00
39	Cojinete biela	4893693	6	\$ 25,00	\$ 150,00
40	Pistón	3907156	6	\$ 69,00	\$ 414,00
41	Inyector	3802325	6	\$ 90,00	\$ 540,00
42	Válvula de admisión	3920867/380235 5	6	\$498,00	\$ 2.988,00
43	Válvula de escape	3920868/380235 6	6	\$ 21,00	\$ 126,00
44	Válvula de resorte	3926700	12	\$ 21,00	\$ 252,00
45	Vástago de la válvula del sello	3957912	12	\$ 8,00	\$ 96,00
46	Vástago de la válvula de retención	3957913	12	\$ 8,00	\$ 96,00
47	Expansión del enchufe	3812092	5	\$ 8,00	\$ 40,00
48	Válvula de pinza	3900250	24	\$ 9,00	\$ 216,00
49	Resorte de válvula de retención	3957913	12	\$ 6,00	\$ 72,00
50	Asiento de válvula de admisión	3906854	6	\$ 8,00	\$ 48,00

51	Asiento de válvula de escape	3904105	6	\$ 8,00	\$ 48,00
52	Guía de válvula de admisión	3904408	6	\$ 8,00	\$ 48,00
53	Guía de la válvula de escape	3904409	6	\$ 8,00	\$ 48,00
54	Junta de culata	3283335	1	\$ 79,00	\$ 79,00
55	Junta turbocompresor	3519807	1	\$ 74,00	\$ 74,00
56	Junta turbocompresor	3921926	1	\$ 69,00	\$ 69,00
57	Junta bomba hidráulica	3008400	1	\$ 11,00	\$ 11,00
58	Junta del colector de escape	3927154	6	\$ 11,00	\$ 66,00
59	Junta tapa colector int.	3938152	1	\$ 20,00	\$ 20,00
60	Junta turbocompresor	3921926	1	\$ 95,00	\$ 95,00
61	Tapa de válvula de junta	3930906	6	\$ 11,00	\$ 66,00
62	Sello anillo rectangular	3936876	6	\$ 11,00	\$ 66,00
63	Junta tórica de sellado	3906697	1	\$ 9,00	\$ 9,00
64	Bomba de agua	3285410	1	\$ 90,00	\$ 590,00
65	Junta tórica de sellado	3903297	1	\$ 4,00	\$ 4,00
66	Junta de conexión de escape	3921961	1	\$ 18,00	\$ 18,00
67	Juego de juntas de motor superior	4089649	1	\$270,00	\$ 270,00
68	Juego de juntas de motor inferior	3802376	1	\$270,00	\$ 270,00
69	Diodos y varistores Generador	3940059	2	\$ 65,00	\$ 130,00
				Total	\$ 14.160,00

3.1.3.1 Coste de mantenimiento sobre valor de reposición.

$$CPMV = \frac{\text{Coste total del mantenimiento}}{\text{Valor de compra de un nuevo equipo}} \cdot 100\%$$

Datos:

$$\text{Coste total del mantenimiento} = \$14.160$$

$$\text{Valor de compra de un nuevo equipo} = \$40.000$$

$$CPMV = \frac{14.160}{40.000} \cdot 100\%$$

$$CPMV = 35,4\%$$

3.1.4 Programa de mantenimiento preventivo

Una vez completado el mantenimiento cero horas sobre todo el equipo y habiendo logrado recuperar el correcto funcionamiento de este, se buscó la manera de prolongar la vida útil de quipo mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo el cual se basa en la revisión periódica y cambios de ciertas piezas, como lo señala el plan de mantenimiento a continuación.

Tabla 3.16 Plan de mantenimiento preventivo

Plan de mantenimiento preventivo			
N° Tareas	Descripción de actividades	Frecuencia	Observaciones
1	Inspección de tubería de entrada de aire	Diaria	
2	Drenar tanque de aire y reservorios	Diaria	
3	Revisión del ventilador	Diaria	
4	Inspeccionar el tubo de respiración del carter	Diaria	
5	Revisión de correa de transmisión	Diaria	
6	Revisión del nivel de refrigerante del motor	Diaria	
7	Revisión del nivel de aceite	Diaria	Cambio de aceite de ser necesario
8	Drenar separador de agua-combustible	Diaria	
9	Revisión del filtro de aire	250 horas	
10	Revisión del enfriador de aire de carga	250 horas	
11	Revisión de tubería de aire de carga	250 horas	

12	Cambio del filtro de combustible	250 horas	
13	Cambio del filtro de aceite	250 horas	
14	Revisión de mangueras de radiador	250 horas	
15	Revisión del refrigerante del motor	500 horas	
16	Revisión del medidor de combustible	500 horas	
17	Cambio del filtro de combustible	500 horas	
18	Cambio de aceite y filtros	500 horas	25 litros aproximadamente
19	Revisión de tensor de correa del ventilador de refrigeración	1000 horas	
20	Cambio de refrigerante	1000 horas	
21	Cambio del filtro de aire	1000 horas	
22	Limpiar sistema de refrigeración	2000 horas	
23	Revisión de vibración del Dámper	2000 horas	

3.2 Análisis de resultados

En esta sección se presenta el análisis de costos y de resultados, que fueron obtenidos luego de la implementación del mantenimiento cero horas sobre el generador eléctrico y el motor de combustión interna del grupo electrógeno.

3.2.1 Prueba de aislamiento del generador

De acuerdo con el mantenimiento realizado al generador, se observó que, a pesar de no presentar daños internos y trabajar de forma correcta, este tenía un aislamiento muy bajo entre las fases a tierra, lo que generaba lecturas bajas (ver tabla 3.1), por lo que mantenerlo así sin ninguna intervención era peligroso, ya que, al trabajar a altas temperaturas, el equipo no tendría la protección necesaria, sobrecalentándose y ocasionando variaciones de corriente que podría dañar el bobinado del estator e inclusive a otros equipos que conectados al generador.

Por esta razón se decidió el reemplazo de las resistencias usadas, para evitar los problemas ya mencionados y otros como: fugas de corriente entre el bobinado y el estator, cortos entre las espiras, daños a la parte electrónica como la tarjeta de velocidad.

Estos equipos poseen sistemas de aislamiento, por lo que siempre se debe tener en cuenta los mantenimientos preventivos, ya que esto garantiza el funcionamiento de la máquina por un periodo largo, este tipo de aislamiento ayuda a formar barreras entre espiras y fases, con tierra, en este caso la carcasa del generador. Es importante además porque esta barrera permite que el calor sea conducido hacia la parte exterior, y sobre todo ayuda a protegerse contra la humedad, contaminación y agentes externos. (Núñez, 2023)

3.2.2 Mediciones de las camisas y anillos

La contaminación de aceite encontrada durante la inspección del motor, entre el bloque del motor y los pistones, que se produjo debido al desgaste que presentaban tanto las camisas como los anillos de compresión y aceite, tal y como lo indica las mediciones en la tabla 3.3 y 3.7 respectivamente, en donde se observó que el desgaste de los cilindros sobrepasó el rango permitido, mientras que los anillos tenían valores de holgura muy altos, provocando así el paso de aceite. Dados estos antecedentes se procedió con el rectificado del bloque del motor y encamisado de los seis cilindros con el fin de obtener un menor ovalamiento; de la misma manera fueron cambiados los anillos del pistón para garantizar un trabajo de sellado más seguro, respetando los parámetros del fabricante, y así conseguir que el equipo logre su compresión de manera eficaz.

3.2.3 Mediciones de los cojinetes de bancada

Con los resultados obtenidos al medir los diámetros internos de los cojinetes de bancada con los que contaba originalmente el motor, se determinó que estos estaban próximos a sobrepasar el diámetro máximo permitido (ver tabla 3.5), razón por la cual fue necesario el cambio de estas piezas, evitando así una mala transmisión de potencia y un posible daño sobre el muñón de bancada del cigüeñal, logrando así que este trabaje por más tiempo sin verse afectado.

3.2.4 Medición de los cojinetes de biela

A pesar de que los valores de ovalamiento mostrado en la tabla 3.13 fueron muy pequeños, estos ya indicaban la existía de desgaste en los cojinetes de biela, debido a la fricción producida durante el desplazamiento de los pistones y el giro del cigüeñal, por lo que se decidió el cambio de estas piezas aprovechando el overhaul.

3.2.5 Medición de los muñones de biela y bancada.

La información recolectada en las tablas 3.9 y 3.11 demostraron que tanto el muñón de bancada como el de biela contaban con buenas dimensiones, es decir que el cigüeñal se encontraba en buen estado, por lo que lo único se realizó sobre este, fue un pulido para mejorar el acabado superficial del componente.

3.2.6 Inyectores

Los inyectores con los que contaba inicialmente el equipo, (ver ilustraciones desde la 2.46 a la 2.51), presentaban presiones de abertura muy elevada superando los 20 bares, y contaban con algunas aberturas tapadas, lo cual evitaba la correcta explosión del combustible, provocando que la embarcación expulsara una gran cantidad de humo negro al ambiente durante su funcionamiento. Como solución a este problema se decidió por el cambio de los inyectores con su respectiva calibración.

3.2.7 Lectura de voltaje línea a línea

Los voltajes línea a línea marcan como trabaja el grupo electrógeno, en ambas lecturas, antes y después del mantenimiento muestran resultados positivos.

3.2.8 Lectura de frecuencia, revoluciones y potencia del motor

El trabajo en conjunto que significó el cambio de pistones, bielas, anillos, camisas y demás, le permito al equipo recuperar los valores óptimos de frecuencia y número de revoluciones que establecía el fabricante, consiguiendo mejorar en un 9% y 11% respectivamente. Con respecto a la potencia obtenida luego del mantenimiento, esta también alcanzó un valor óptimo para suplir el consumo de energía bajo distintas situaciones de trabajo, tal como lo muestra la tabla 3.17 obtenida de un trabajo de tesis (*TEBAS, 2020*), referente al requerimiento energético de un remolcador de similares características al de este proyecto.

Tabla 3.17 Resultados del balance eléctrico

<i>NAVEGACIÓN [KW]</i>	<i>SERVICIO DE REMOLQUE [KW]</i>	<i>CONTRA INCENDIOS [KW]</i>
48,865	70,96	48,92

3.2.9 Cronograma de actividades de reparación del grupo electrógeno

El cronograma de actividades para la reparación del generador, tuvo una primera planificación, detallada en la tabla 2.6 del apéndice A, que inicialmente contemplaba 7 días de trabajo, pero realmente el mantenimiento se lo realizó en 2 semanas como lo muestra la tabla 2.7, esto a razón de que la embarcación realizaba maniobras de atracado cerca del puerto, con ayuda del generador de emergencia mientras mantenía el generador averiado a bordo, por lo que no se podía realizar los trabajos de reparación de manera continua, además de esto, el tiempo que tomo conseguir los repuestos para el mantenimiento, también contribuyo con la necesidad de aumentar los días del cronograma. Por otra parte, con respecto al motor de combustión interna, se tomaron algunas consideraciones con relación al tiempo que tomaría su reparación, entre ellas, el trabajo de rectificado del bloque del motor y el encamisado de los cilindros, que al ser realizados en un taller externo se tuvo que esperar varios días para su entrega, además al tener que importar algunos de los repuestos, el tiempo de espera debido a la logística del traslado, fue mayor, razón por la cual la tabla 2,8 del apéndice A que muestra el cronograma preliminar del mantenimiento del motor tuvo que modificada contando ahora con 4 semanas de trabajo.

3.2.10 Costos de repuestos

La lista de costos, aparte de darnos a conocer los precios de cada repuesto y con ello el costo total que conllevaría el overhaul, también brinda una importante información acerca de que piezas fueron reemplazadas, dato que es muy útil, ya que ante futuros daños se podrá saber que pieza en el equipo son nuevas y no necesitan ser cambiadas, evitando así una posible mala decisión. Además de esto la tabla de costos también permite comparar los precios de los componentes con el de otros proveedores, para así poder elegir la propuesta más conveniente cuando se tenga que realizar un nuevo mantenimiento cero horas sobre el grupo electrógeno de otra embarcación.

Por otra parte, si bien esta tabla de costos puede servir como referencia de que repuestos puede necesitar el motor y el generador en su mantenimiento, esta lista no es la misma para los demás grupos electrógenos de las otras embarcaciones, ya que la tabla 3.15 fue realizada en base a los daños que presentaba un grupo electrógeno en específico, por lo que los repuestos que requieran los otros equipos serán en base a su necesidad y problemas propios de cada equipo; de forma similar sucede con el costos de los repuestos, ya que estos solo pueden ser utilizados como referencia, debido a que sus precios no están establecidos de forma fija, pudiendo cambiar con el paso del tiempo por un tema netamente comercial.

3.2.11 Plan de mantenimiento cero horas

El plan de mantenimiento cero horas permitió recuperar el funcionamiento y los parámetros óptimos del grupo electrógeno, debido a que, al tratarse de un cambio total de las piezas averiadas, luego de ejecutarse el mantenimiento el equipo se volvió prácticamente nuevo y a pesar del trabajo y del tiempo que llevo realizar la reparación, su ejecución resulto ser una buena decisión ya que la reparación costó menos de la mitad de lo que hubiera costado de adquirir un grupo electrógeno de las misma características, que bordea los 40 mil dólares. Sin embargo, esto no siempre tiene que ser así por lo que la inspección del equipo antes de la ejecución del mantenimiento es importante porque existirán casos en donde la reparación el equipo se mas trabajosa y costosa que comprar un equipo nuevo.

3.2.12 Plan de mantenimiento preventivo

A pesar de que en nuestro país aún mantienen arraigado el pensamiento de intervenir sobre las maquinas solo cuando estas dejan de funcionar, dejando de lado cualquier tipo de actividades preventivas, debido a que requieren de planificación, tiempo, dinero y personal capacitado, el plan de mantenimiento preventivo siempre será la mejor forma de reducir la necesidad de intervención y forzosa paralización del equipo, ya que el chequeo constante permitiría detectar e impedir posibles fallas. Es por esta razón que como solución a la necesidad de prolongar la vida del grupo electrógeno, se diseñó un plan de mantenimiento preventivo que ofrece un sistema organizado y detallado de las actividades a realizar, especificando además la frecuencia con la que se debe efectuar dichas actividades, lo cual le permitirá al encargado del mantenimiento realizar su trabajo sin dudas ni pérdida de tiempo, permitiendo así que la embarcación opere de la manera correcta por un largo periodo, sin el riesgo de incumplir con su trabajo.

Por otro lado, es importante mencionar que el incumplimiento de las actividades descritas, su mala ejecución o su tardía realización, pondría en riesgo el resultado esperado y prometido, que es el aumento de la vida útil del equipo, ya que, si bien el plan de mantenimiento dicta las actividades necesarias para conseguir ese fin, la planificación no garantiza el correcto accionar por parte de los operadores del grupo electrógeno.

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones y Recomendaciones

En esta sección se exponen las ideas finales acerca del proyecto, respaldada por los resultados y con relación a los objetivos planteados, además de ciertas mejoras que se podría implementar para conseguir desarrollo del trabajo.

4.1.1 Conclusiones

- La reparación total del grupo electrógeno fue posible gracias ejecución del mantenimiento cero horas, el cual permitió que el equipo recuperara los parámetros necesarios para garantizar su correcto funcionamiento.
- A pesar de que el costo de reparación del equipo mediante el mantenimiento cero horas fue mayor al costo estimado que se realizó en la inspección externa del grupo electrógeno, este sigue siendo menor en comparación al costo de adquisición de un equipo totalmente nuevo.
- Para garantizar un correcto funcionamiento del grupo electrógeno y disminuir tanto costos de mantenimiento como costos por falta de operación y prolongar su vida útil, es necesario aplicar el plan de mantenimiento presentado en este trabajo.
- El plan de mantenimiento tanto preventivo con el de cero horas, puede ser utilizado como guía o incluso ser replicado en los demás grupos electrógenos de los otros remolcadores.
- El tiempo estimado para la ejecución del mantenimiento es menor al tiempo de ejecución, esto debido a que, la logística de repuestos y trabajos del remolcador imposibilitaron cumplir con el tiempo considerado.

4.1.2 Recomendaciones

- Realizar inspecciones periódicas, mediante la observación del equipo y revisión de parámetros de cómo está trabajando, con el fin de saber con qué condición se encuentra la máquina.
- Al momento de realizar el cronograma de actividades, considerar el retraso que puede sufrir el mantenimiento cero horas, debido a condiciones externas como, realización de actividades hechas en otro taller, entrega atrasada de repuestos por falla en la logística, incapacidad de trabajar sobre el equipo averiado, por encontrarse dentro de la embarcación mientras esta está navegando, etc.
- Seguir y respetar las actividades descritas en el plan de mantenimiento preventivo, para cuidar el equipo, alargando la vida útil de los componentes y evitando así reparaciones de manera constante.

Referencias

- Capote, A. (2014). Metodos para el cálculo de indicadores de mantenimiento. *Ingenieria Agricola*, 4(4), 45-49.
- Garcia, S. (2007). *Indicadores de mantenimiento* (Vol. 30). Madrid, España: RenoveTec.
Obtenido de Mantenimientomundial.com:
<http://www.mantenimientomundial.com/notas/indicadores-en-mantenimiento.pdf>
- HIMOINSA. (2018). *MANUAL DE INSTALACIÓN, USO Y MANTENIMIENTO*. Murcia.
- Loehlein, T. A. (2007). *El mantenimiento es una clave para la fiabilidad del grupo electrógeno diesel*. Minnesota: Cummins Power Generation Inc.
- Molina, I. C. (2022). *GRUPOS ELECTRÓGENOS, FUNCIONAMIENTO, DIMENSIONAMIENTO E IMPACTO ECONOMICO*. Amper SRL.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la confiabilidad*. Carolina del Norte: Aladon LLC.
- Núñez, I. O. (30 de Agosto de 2023). *Revista Electro industria. Soluciones Tecnologicas para la minería, energía e Industria*. . Obtenido de
<https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2515>
- Obert, E. F. (1991). *Motores de Combustion interna analisis y aplicaciones* (19 ed.). (C. M. Lara, Trad.) Tlalpan, Mexico D.F, Mexico: CONTINENTAL S.A. Recuperado el 11 de junio de 2023
- OLARTE, W., MARCELA, B., & BENHUR, C. (2010). *TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA*. Pereira: Scientia et Technica.
- Rodriguez, F. (10 de Junio de 2021). *Sincronización de generadores: ¿Qué es y por qué es importante?* Obtenido de <https://blog.generaclatam.com/sincronizacion-de-generadores>

S.A, W. (Dirección). (2015). *WEG - Alternadores Síncronos - Linha AG10* [Película].

S.A, W. E. (2011). *Alternadores sincrónicos* . Jaraguá do Sul: WEG.

TEBAS, D. A. (2020). *ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE PROPULSIÓN EN UN*. Colombia.

Vargas, A. (s.f.). *ORGANIZACION DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL* (Segunda ed.).

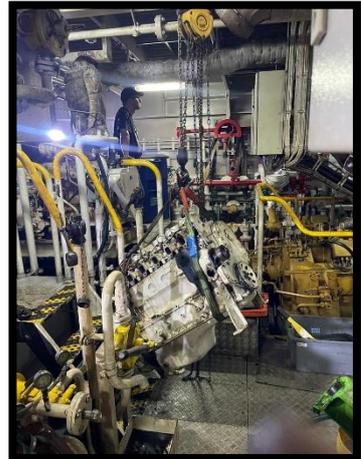
Guayaquil, Guayas, Ecuador: EDITORIAL SERIES VZ. Recuperado el 27 de Junio de 2023

ANEXOS

Anexo 1

Plan de trabajo No 1		Elaborado el: Por: Jhofre Suica Controlado por: Ing. Ernesto Martínez		ESPOL MANTENIMIENTO	
Denominación: Desacople de Generador y motor de combustión interna		Numero analítico: 001-T1	Lugar: Taller	Intervalo: Cuando se requiera	Operador responsable: Técnico operativo
No.	Operación	Herramientas	Repuestos	Tiempo (h)	Observaciones
1	Actividades preparatorias del trabajo	Llave 24, 19,17 juego de dados, tecles mecánico y EPP	S/N	0,30	Selección de herramientas necesarias para el desarmado
2	Desconexión de accesorios del motor de combustión interna	Destornillador, cinta, playo, llaves varias	S/N	0,30	S/N
3	Se instala equipos de sujeción	2 tecles mecánicos de 1 Tn Fajas	S/N	0,10	Nos servirá para realizar la maniobra de desacople
4	Se ajusta las fajas al motor lo más cómodo posible	Fajas	S/N	0,10	S/N
5	Desajuste de pernos de volante	Llave 24	S/N	0,10	S/N
6	Desajuste de pernos de housing	Llave 17	S/N	0,10	S/N
7	Maniobra de desacople	Tecles mecánicos	S/N	0,10	Se recomienda realizarlos entre dos o más personas
8	Maniobra de traslado de motor de combustión interna al cubichete de la embarcación	Tecles mecánicos, fajas	S/N	0,30	Se recomienda realizarlos entre dos o más personas
9	Maniobra de bajada de motor con grúa	Grúa, fajas	S/N	0,30	S/N
Tiempo total				2,50 h	

Registros fotográficos del desacople del grupo electrógeno

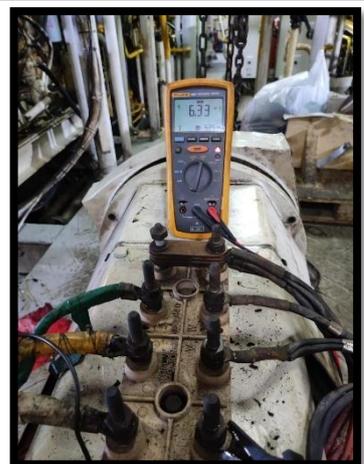
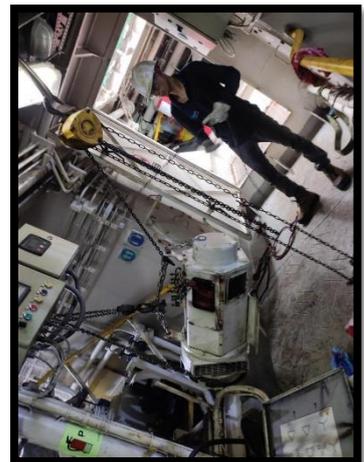
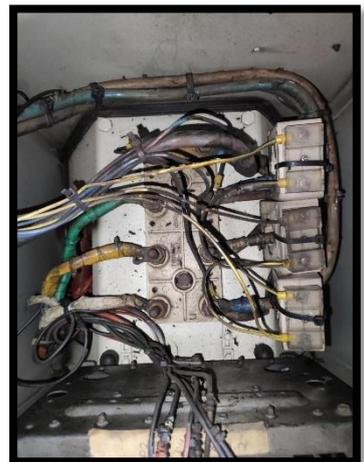
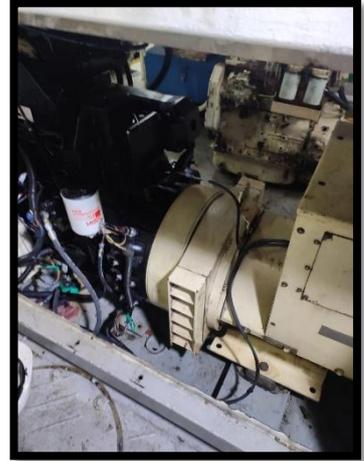


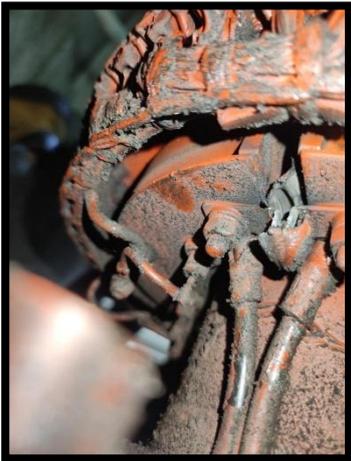
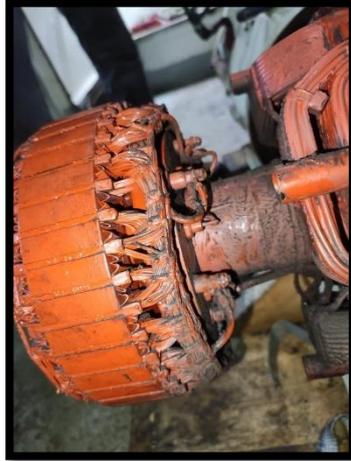
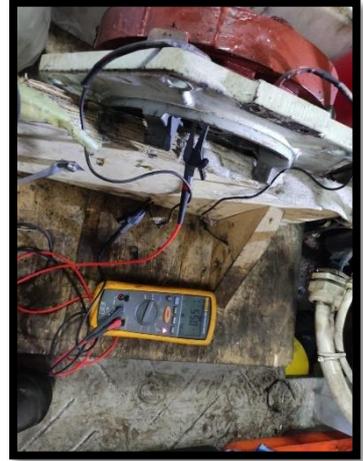
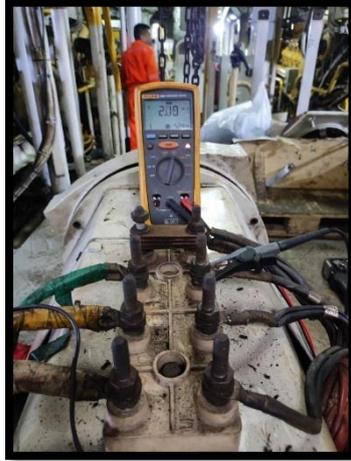
Anexo 2

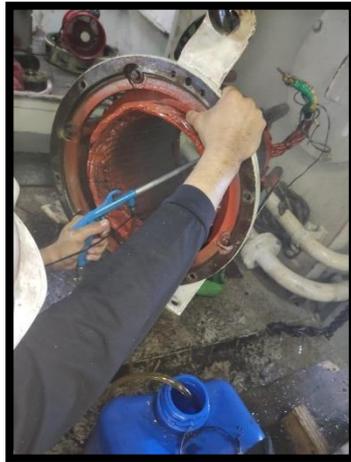
Plan de trabajo No 2		Elaborado el: Por: Jhofre Suica Controlado por: Ing. Ernesto Martínez		ESPOL MANTENIMIENTO	
Denominación: Mantenimiento del generador		Numero analítico: 002-T1	Lugar: Taller	Intervalo: Cuando se requiera	Operador responsable: Técnico eléctrico operativo
No.	Operación	Herramientas	Repuestos	Tiempo (h)	Observaciones
1	Actividades preparatorias del trabajo	Juego de llaves, juego de dados, tecla mecánica, martillo, Megger, Santiago	S/N	0,30	Selección de herramientas a utilizar en el mantenimiento
2	Desmontaje del housing	Llave 19, Martillo de goma	S/N	0,10	S/N
3	Desmontaje de carcasa superior	Llave 19, dado 19, martillo de goma	S/N	0,10	S/N
4	Desmontaje de excitatriz rotorica	Llave 19, martillo de goma	S/N	0,10	S/N
5	Inspección visual del bobinado, rotor, bobina PMG y excitatriz	Linterna	S/N	0,20	Se realiza inspección visual, para revisar cuanta suciedad tiene el generador
6	Megado de estator, rotor, bobina PMG y excitatriz antes del mantenimiento	Megger	S/N	0,30	Se anotan estos resultados para luego realizar una comparación
7	Extracción de rodamientos	Santiago, llave 19, martillo	S/N	0,20	S/N
8	Lavado de los bobinados con electro solvente	Pistola para pulverizar, compresor de aire, mascarilla, guantes	Electrosol Plus	0,30	S/N
9	Secado de los componentes	Blower, manta térmica	S/N	2,00	S/N

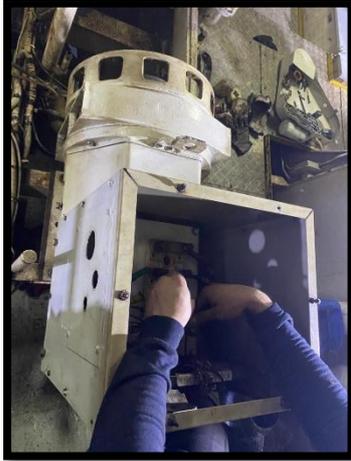
10	Barnizado del bobinado	Barniz	Barniz	0,10	S/N
11	Cambio de rodamientos	Martillo de goma	Rodamientos 6312-2RSR-C3	0,20	S/N
12	Montaje de rotor	Faja, tecla de 1 Tn, llave 19	S/N	0,20	S/N
13	Montaje de excitatriz fija y rotórica	Llave 17, martillo de goma	S/N	0,20	S/N
14	Montaje de housing	Llave 19	S/N	0,10	S/N
15	Montaje de matrimonio	Martillo, tuco de madera, antorcha	S/N	0,30	Se calentó el matrimonio para poder realizar su montaje
16	Maniobra de montaje en su base	Tecla de 1 Tn, fajas, llave 24	S/N	0,30	S/N
Tiempo total				7,00 h	

Registros fotográficos del mantenimiento del generador









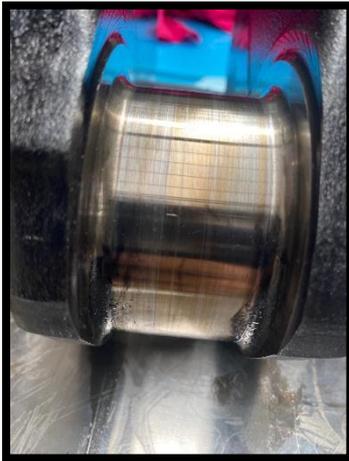
Anexo 3

Plan de trabajo No 3		Elaborado el: Por: Jhofre Suica Controlado por: Ing. Ernesto Martínez		ESPOL MANTENIMIENTO	
Denominación: Desarmado del motor de combustión interna		Numero analítico: 002-T1	Lugar: Taller	Intervalo: Cuando se requiera	Operador responsable: Técnico operativo
No.	Operación	Herramientas	Repuestos	Tiempo (h)	Observaciones
1	Actividades preparatorias del trabajo	Guantes, juego de llaves, juego de dados, etc	S/N	0,30	Selección de herramientas para el mantenimiento
2	Desmontaje de cañerías de combustible	Llave 10, guantes	S/N	0,10	S/N
3	Desmontaje de tapa gases de admisión y escape	Llave 12, guantes	S/N	0,05	S/N
4	Desmontaje de escape y admisión de gases	Dado 13, guantes, llave 13	S/N	0,10	S/N
5	Desmontaje de banda de distribución	Guantes	S/N	0,05	S/N
6	Desmontaje de alternador DC	Llave 19	S/N	0,10	S/N
7	Desmontaje de motor de arranque	Llave 17	S/N	0,10	S/N
8	Desmontaje de bomba de inyección	Llave 10, llave 13, llave 17, guantes	S/N	0,20	S/N
9	Desmontaje de porta filtros	Llave 13, guantes	S/N	0,05	S/N
10	Desmontaje de inyectores	Llave 13, herramienta especial para retirar inyectores	S/N	0,20	S/N
11	Desmontaje de termostato	Llave 13, guantes	S/N	0,05	S/N
12	Drenaje de aceite del cárter	Llave 13, bandeja para depositar	S/N	0,10	S/N

		aceite viejo, guantes			
13	Desmontaje de tapa de cárter y tubería de entrada de aceite	Llave 13, llave 10, guantes	S/N	0,20	S/N
13	Desmontaje de tensionador de banda	Llave 14, guantes	S/N	0,05	S/N
14	Desmontaje de bomba de agua	Llave 13, guantes	S/N	0,10	S/N
15	Desmontaje de poleas	Llave 17, guantes	S/N	0,05	S/N
16	Desmontaje de balancines y palillos	Llave 13, guantes	S/N	0,10	S/N
17	Desmontaje de cabezotes	Llave 13, tecla mecánico, guantes	S/N	0,20	S/N
18	Desmontaje de tapa de distribución	Llave 10, guantes	S/N	0,10	S/N
19	Desmontaje de eje de camones	Llave 10, guantes	S/N	0,10	S/N
20	Desmontaje de volante	Llave 19, guantes	S/N	0,10	Se recomienda marcar la posición del componente
21	Desmontaje de housing de eje de cigüeñal	Llave 10, guantes	S/N	0,10	S/N
22	Desmontaje de cojinetes y pistones	Llave 13, guantes, martillo de goma	S/N	0,30	S/N
23	Desmontaje de cojinetes de bancada	Llave 17, martillo de goma, guantes	S/N	0,20	S/N
24	Desmontaje de cigüeñal	Tecla mecánico	S/N	0,20	S/N
25	Limpieza de componentes	Guantes, desengrasante, brocha, pulidora	S/N	1,00	S/N
Tiempo total				5,00 h	

Registro fotográfico del desarmado de motor de combustión interna









Anexo 4

Plan de trabajo No 4		Elaborado el: Por: Jhofre Suica Controlado por: Ing. Ernesto Martínez		ESPOL MANTENIMIENTO	
Denominación: Armado del motor de combustión interna		Numero analítico: 004-T1	Lugar: Taller	Intervalo: Cuando se requiera	Operador responsable: Técnico operativo
No.	Operación	Herramientas	Repuestos	Tiempo (h)	Observaciones
1	Actividades preparatorias del trabajo	Juego de llaves, juego de dados,	S/N	0,30	Selección de herramientas necesarias para el mantenimiento
2	Montaje de camisas en el bloque del motor, con sus respectivas mediciones	Prensa hidráulica	Camisas	8,00	S/N
3	Montajes surtidores de aceite para lubricación de cigüeñal	Martillo de goma, aceite	Surtidores	0,10	S/N
4	Montaje de chapas inferiores de bancada y cigüeñal	Dado 19, llave 19, ratchet	Chapas de bancada Pasta de lubricación	1,00	S/N
5	Medición de espacio entre cigüeñal y chapa superior, utilizando plastic gauge, con ajuste requerido por el fabricante	Dado 19, llave 19, ratchet, micrómetro interior, torquímetro	Chapas de bancada Pasta de lubricación	1,00	Torsión: Ajuste 1: 60N.m Ajuste 2: 120 N.m Ajuste 3: 180 N.m
6	Retiro de cintas de plastic gauge, y anotación de medidas	Dado 19, llave 19, ratchet	Plastic gauge	1,00	S/N
7	Montaje de cepos con sus chapas superiores y ajuste acorde el fabricante lo requiera	Dado 19, llave 19, ratchet, torquímetro	Chapas de bancada	1,00	Torsión: Ajuste 1: 60N.m Ajuste 2: 120 N.m Ajuste 3: 180 N.m

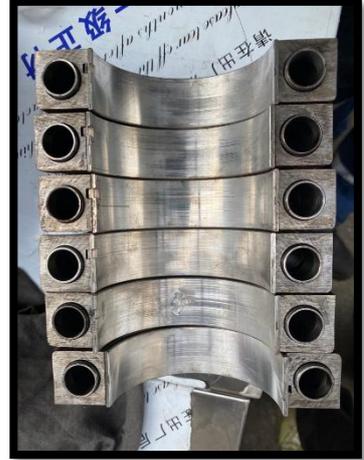
8	Medición de juego axial y radial del cigüeñal	Alesómetro		0,30	S/N
9	Armado de pistones	Saca binchas Aceite	Pistones, brazo de biela, pin, anillos de ajuste	2,00	S/N
10	Instalación de anillos de pistón	Extractor de anillos	Juego de anillos de pistón	1,00	Tomar en cuenta el TOP, que va hacia arriba, y sus aberturas deben estar desfasadas 120°
11	Montaje de pistones en bloque del motor	Martillo de goma	S/N	1,30	Tomar en cuenta la palabra "Front" que se debe colocar para delante del bloque (es decir lado donde se encuentra la polea)
12	Ajuste de tornillos de las bielas una vez ya estén alineados de manera correcta	Martillo de goma	Chapas de biela	0,10	S/N
13	Medición de salida de pistones, y anotación que debe estar dentro del rango permitido por el fabricante	Alesometro	S/N	0,20	Torsión: Ajuste 1: 35 N.m Ajuste 2: 70 N.m Ajuste 3: 100 N.m
14	Instalación de tapa trasera con su retenedor	Juego de llaves, juego de dados	Empaque	0,20	Torsión: Ajuste 1: 9 N.m
15	Instalación de carcasa del volante	Juego de llaves, juego de dados	S/N	0,20	Se debe realizar el ajuste en cruz Torsión: Ajuste 1: 80 N.m
16	Instalación del volante	Juego de llaves, juego de dados	S/N	0,30	Se debe realizar una traba en el cigüeñal

					para poder realizar el juste indicado Torsión: Ajuste 1: 80 N.m
17	Montaje de carcasa de engranajes	Juego de llaves, juego de dados	Empaquetadura	0,20	Torsion: Ajuste: 24 N.m
18	Procedemos a colocar el perno de localización del punto del motor y montar la carcasa de fijación	Manual	S/N	0,10	Se denomina así porque se localiza precisamente en el punto muerto superior el cilindro 1, en la carrera de compresión Torsion: Ajuste: 5 N.m
19	Montaje de poleas de cigüeñal	Llave 13, dado 13	S/N	0,10	Torsión: Ajuste: 125 N.m
20	Instalación de árbol de levas y ajuste de tornillos de retención	Llave 13, dado 13	S/N	0,40	Es importante mencionar que se debe realizar el montaje tomando en cuenta las marcas de sincronismo del árbol de levas Torsión: Ajuste: 24 N.m
21	Medición de juego axial de árbol de levas y anotación de sus medidas	Manual	S/N	0,10	S/N
22	Montaje de culata y ajuste de tornillos de fijación	Juego de llaves, juego de dados, pistola de impacto, torquímetro	Empaquetaduras	0,40	Torsión: Ajuste: 90 N.m Verificación: 90 N.m Ajuste de tornillos largos: 120 N.m Verificación de tornillos largos: 120 N.m

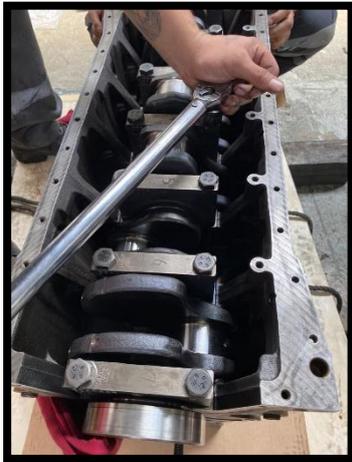
					Ajuste final: apriete de 90°
23	Montaje de motor de arranque	Juego de llaves, juego de dados	S/N	0,20	Torsión: Ajuste: 45 N.m
24	Montaje de bomba de inyección	Juego de llaves, juego de dados	S/N	0,50	Para esta sección ya tenemos el perno de fijación instalado por lo cual no tendremos dificultad para la instalación Torsión para pernos de fijación: Ajuste: 43 N.m Ajuste final del engranaje de la bomba de inyección: 165 N.m
25	Montaje de bomba de agua	Juego de llaves, juego de dados	S/N	0,20	Torsión: Ajuste: 24 N.m
26	Montaje de alternador	Juego de llaves, juego de dados, juego de destornilladores	S/N	0,40	S/N
27	Montaje de bomba de aceite lubricante	Llave 13, dado 13	S/N	0,10	Torsión: Ajuste: 24 N.m
28	Montaje de tapa de distribución	Llave 10, dado 10	Empaque	0,40	Torsión: Ajuste: 24 N.m
29	Montaje de válvula reguladora de presión de aceite	Destornillador	Válvula reguladora de presión	0,30	Torsión: Ajuste: 80 N.m
30	Montaje de enfriador de aceite lubricante	Juego de dados, juego de llaves	S/N	0,50	Torsión: Ajuste: 24 N.m
31	Montaje de tubo de succión de aceite y cárter	Juego de dados, juego de llaves	S/N	0,40	Torsión para tubo de succión: Ajuste: 24 N.m Torsión para cárter: Ajuste: 24 N.m

32	Montaje de tapón de drenaje de aceite lubricante	Llave inglesa	S/N	0,30	Torsión: Ajuste: 80 N.m
33	Montaje de filtro de aceite lubricante	Fajas de filtro	Filtros nuevos	0,10	Torsión: Ajuste: 80 N.m
34	Montaje de tensionador de banda	Llave 24	Tensionador	0,30	Torsión: Ajuste: 43 N.m
35	Montaje de correas de accionamiento	Llave 24	Bandas	0,20	S/N
36	Montaje de filtros de combustible	Fajas de filtro	Filtros nuevos	0,10	Torsión: Ajuste: 14 N.m
37	Montaje de bomba de combustible	Fajas de filtro	Filtros nuevos	0,10	Torsión: Ajuste: 24 N.m
38	Instalación de cañerías de combustible	Desarmador, llave 10	S/N	1,30	S/N
39	Instalación de cañerías	Desarmador, llave 10	S/N	1,30	S/N
40	Calibración de válvulas	Lainas, desarmador, juego allen	S/N	0,40	Torsión: Ajuste: 24 N.m
41	Montaje de tapa de válvulas	Ratchet, llave 12, dado 12	Sello de tapa válvula	0,30	Torsión: Ajuste: 24 N.m
Tiempo total				24,50 h	

Armado de motor de combustión interna

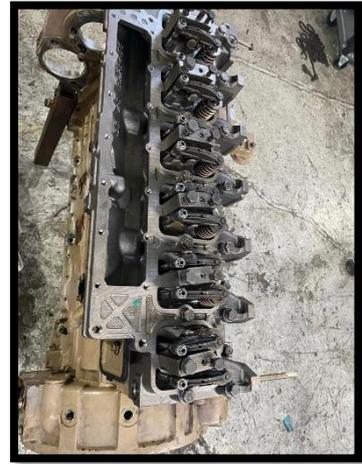












Anexo 5

Repuestos

Ficha Técnica	
CYLINDER LINER 3904166	
	
Especificaciones	
Peso	1,5 kg
Dimensiones	120 x 12 x 220 mm
Material	Hierro
Marca	Cumming
Subcategoría	Motor

Ficha Técnica	
Filtro combustible 3931063	
	
Especificaciones	
Tipo de filtro	Filtro enroscable
Altura [mm]	120

Diámetro [mm]	79
Marca	Ridex
Medida de rosca	M16 x 1.5 - 6H

Ficha Técnica	
Filtro de aceite 3937743	
	
Especificaciones	
Tipo de filtro	Filtro enrosicable
Altura	6.95 in
Diámetro exterior	3,66 in
Tamaño de rosca	1-16 UN

Ficha Técnica	
Bomba de agua 3286275	
	
Especificaciones	

Peso	2.7 Kg
Polea tipo	Estándar
Diámetro de la polea [mm]	88

Ficha Técnica
Bomba de agua de mar 6B5.9

Especificaciones
Diámetro de entrada y salida: 1 ¼"-Manguera
Sello mecánico
Capacidad de flujo de gran volumen
Fundición de bronce de grado marino de alta resistencia
Eje de grado marino

APÉNDICES

APÉNDICE A

Tabla 1 Cronograma preliminar de actividades durante el Overhaul del generador

Descripción de actividades	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Actividades preparatorias, inspección preliminar	■					
Desarmado del equipo y mediciones de aislamiento antes del mantenimiento		■				
Lavado de equipo con disolventes, secado y barnizado de componentes			■	■		
Mediciones de aislamiento después del mantenimiento y armado del generador					■	
Pintado, secado y montaje en su base						■

Tabla 2 Cronograma real de actividades durante el Overhaul del generador

Descripción de actividades	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
Actividades preparatorias, inspección preliminar														
Desarmado del equipo y mediciones de aislamiento antes del mantenimiento														
Lavado de equipo con disolventes, secado y barnizado de componentes														
Maniobra de embarcación														
Mediciones de aislamiento después del mantenimiento y armado del generador														
Compra de repuestos y armado de generador														
Maniobra de embarcación														

