



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento

IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE USADO, COMO HERRAMIENTA DE
MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A LAS MÁQUINAS PROPULSORAS DEL
GUARDACOSTAS GC-653 AZUMANCHE, DEL COMANDO NAVAL DEL PACÍFICO.

Luis Francisco Girón Álvarez

Asesorado por el M.Sc Luis Fernando Guillen Fernández

Guatemala, agosto 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE USADO, COMO
HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A LAS
MÁQUINAS PROPULSORAS DEL GUARDACOSTAS GC-653 AZUMANCHE,
DEL COMANDO NAVAL DEL PACÍFICO.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
POR

LUIS FRANCISCO GIRON ÁLVAREZ

ASESORADO POR EL M.Sc. LUIS FERNANDO GUILLEN FERNANDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN INGENIERIA EN MANTENIMIENTO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgén Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DIRECTOR	MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	MSc. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	MSc. Pedro Miguel Agreda Girón
SECRETARIA	MSc. Lesbia Magali Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE USADO, COMO
HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A LAS
MÁQUINAS PROPULSORAS DEL GUARDACOSTAS GC-653 AZUMANCHE,
DEL COMANDO NAVAL DEL PACÍFICO.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrados, con fecha 25 de marzo del 2015.



Luis Francisco Girón Álvarez



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

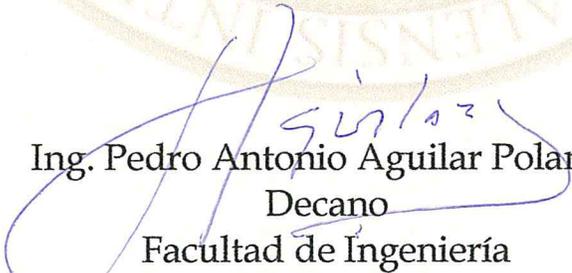
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE USADO, COMO HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A LAS MÁQUINAS PROPULSORAS DEL GUARDACOSTAS GC-653 AZUMANCHE, DEL COMANDO NAVAL DEL PACÍFICO "** presentado por el ingeniero en Ciencias Navales Luis Francisco Girón Álvarez, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, agosto de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-013

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE USADO, COMO HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A LAS MÁQUINAS PROPULSORAS DEL GUARDACOSTAS GC-653 AZUMANCHE, DEL COMANDO NAVAL DEL PACÍFICO"** presentado por el Ingeniero en Ciencias Navales **Luis Francisco Girón Álvarez**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, agosto de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-013

Como Coordinadora de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento del Trabajo de Graduación titulado ***"IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE USADO, COMO HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A LAS MÁQUINAS PROPULSORAS DEL GUARDACOSTAS GC-653 AZUMANCHE, DEL COMANDO NAVAL DEL PACÍFICO"*** presentado por el Ingeniero en Ciencias Navales Luis Francisco Girón Álvarez, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Dra. Alba Maritza Guerrero Spínola
Coordinadora de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, agosto de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser quien me ha dado la vida y la guía celestial de mi corazón.

Mis padres

Luis Alfonso Girón Chajchic (DEP), y Carmen Anabella Álvarez de Girón, quienes siempre me apoyaron para seguir adelante creyendo en mis capacidades. A mi padre en especial, pues este logro lo dedico a su memoria, por ser un padre excepcional.

Mi esposa e hijos

Por ser mi razón de existir y mi objetivo para esforzarme cada día más, así como por el tiempo sacrificado mientras me encontraba estudiando.

Mis hermanos

Raúl Antonio Girón Álvarez y Ana Luisa Girón Álvarez, por creer en mí y ser ese apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haber sido mi casa de estudios durante la maestría.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por haberme brindado la oportunidad de superarme y realizar estudios profesionales.
Vicealmirante Boris Edwin Castillo Cermeño	Por haberme permitido el acceso al GC-653 Azumanche, cuando fue comandante del Comando Naval del Pacífico.
MSc. Luis Fernando Guillen Fernández	Por haberme brindado su asesoría para la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Importancia de la operatividad de los Guardacostas de la Marina de la Defensa Nacional.....	1
1.2. Mantenimiento	3
1.2.1. Mantenimiento preventivo.....	3
1.2.2. Mantenimiento correctivo.....	4
1.2.3. Mantenimiento predictivo	5
1.2.3.1. Análisis de aceite usado.	6
1.3. Características generales del GC-653 AZUMANCHE	16
1.3.1. Especificaciones generales del buque.....	16
1.3.2. Sistema de propulsión del GC-653 Azumanche	20
1.3.3. Sistema de lubricación de las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche.....	22
1.3.4. Fallas más frecuentes registradas en el diario de máquinas del GC-653 Azumanche	25

2.	MÉTODO DE ANÁLISIS APLICADO AL ACEITE DE LAS MÁQUINAS DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL GC-653 AZUMANCHE	31
2.1.	Método del análisis.....	31
2.1.1.	Procedimiento para la extracción de la muestra.....	31
2.2.	Resultados de los análisis de laboratorio efectuados a la máquina de estribor del Guardacostas 653 Azumanche.....	39
2.3.	Resultados de los análisis de laboratorio efectuados a la máquina de babor del Guardacostas 653 Azumanche.....	45
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL ESTADO DE LAS MÁQUINAS PROPULSORAS DEL GC-653 AZUMANCHE.....	51
3.1.	Tendencias de la máquina No. 1 estribor.....	51
3.2.	Tendencias de la máquina No. 2 babor.....	60
4.	PROPUESTA DE PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE USADO, PARA APLICAR A LAS MÁQUINAS PROPULSORAS DEL GC-653 AZUMANCHE.....	71
	CONCLUSIONES.....	83
	RECOMENDACIONES	85
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Evolución de tamaño de partículas en el proceso de desgaste.....	10
2.	Ejemplo de resultados de un análisis de laboratorio de aceite usado. ...	15
3.	Buque tipo guardacostas gc-653 azumanche.	19
4.	Planos generales del gc-653 azumanche	20
5.	Máquinas detroit diésel 8v92ta, que se encuentran a bordo del gc-653 azumanche.....	22
6.	Diagrama esquemático de sistema de lubricación típico de la serie 92, 6v y 8v.	24
7.	Equipo utilizado para la extracción de aceite usado por las máquinas propulsoras del gc-653 azumanche. bomba tipo vampiro.	32
8.	Partes por millón de metales de desgaste.....	35
9.	Partes por millón de metales contaminantes.....	36
10.	Partes por millón de varios metales.	36
11.	Partes por millón de metales aditivos.....	37
12.	Porcentaje de volumen de contaminantes.....	37
13.	Propiedades del líquido.	38
14.	Tendencia hierro y cromo.....	52
15.	Tendencia cobre y plomo	52
16.	Tendencia estaño.....	53
17.	Tendencias de sílice, sodio y potasio	54
18.	Tendencias del molibdeno y boro.....	55
19.	Metales aditivos.....	56
20.	Tendencia del volumen de combustible, hollín y agua	58
21.	Viscosidad a 100°C en cst, número básico total	59

22.	Tendencias de hierro y cromo.....	61
23.	Tendencias cobre y plomo.....	61
24.	Tendencia estaño.....	62
25.	Tendencias sílice, sodio y potasio	63
26.	Tendencia molibdeno y boro.....	64
27.	Metales aditivos	65
28.	Tendencia combustible, hollín y agua	67
29.	Tendencia de la viscosidad a 100°C en cst, número básico total	68
30.	Diagrama de flujo protocolo de mantenimiento basado en el análisis de aceite	72

TABLAS

I.	Metales de desgaste que pueden presentarse en el aceite usado por un motor de combustión interna	11
II.	Especificaciones generales del motor detroit diésel 8v92ta	21
III.	Especificaciones del aceite lubricante a utilizar en las máquinas detroit diésel 8v92ta	25
IV.	Historial de fallas, intervalos de drenaje de aceite y reparaciones asentadas en el diario de máquinas del gc-653 azumanche, de junio 2012 hasta mayo 2015.....	27
V.	Etiqueta utilizada para la identificación de las muestras de aceite usado enviadas al laboratorio.....	33
VI.	Especificaciones técnicas del aceite chevron sae 40 delo 400.....	34
VII.	Límites permisibles de desgaste en diferentes tipos de motores	39
VIII.	Resultados obtenidos, metales de desgaste y de contaminación, máquina de estribor.....	41
IX.	Resultados obtenidos, varios metales y contaminantes.....	42
X.	Resultados obtenidos, metales aditivos	43
XI.	Resultados obtenidos, volumen contaminantes y propiedades del aceite.....	44
XII.	Resultados obtenidos, metales de desgaste y de contaminación	47
XIII.	Resultados obtenidos, varios metales y contaminantes.....	48
XIV.	Resultados obtenidos, metales aditivos	49
XV.	Resultados obtenidos. volumen de contaminantes y propiedades del aceite.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS

API	Instituto Americano de Petróleo
GC-653	Guardacostas de 65 pies de eslora
MN	Milla náutica
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
TA	Turboalimentado.
TAN	Número de acidez total
TBN	Número básico total
VOSO	Ver, oír, sentir y oler

GLOSARIO

Aguas jurisdiccionales	Mar territorial, zona contigua y zona económica exclusiva, donde un país ejerce su soberanía.
Arrejerar	Atracar un buque por la parte de popa.
Atracar	Colocar un buque pegado a un muelle por alguno de sus costados.
Babor	Costado izquierdo de una embarcación, viéndolo de popa a proa.
Eslora	Longitud de una embarcación.
Estribor	Costado derecho de una embarcación, viéndolo de popa a proa.
Guardacostas	Buque de menor envergadura, utilizado para patrullajes cercanos a la costa.
Manga	Ancho de una embarcación.
Mantenimiento	Acciones realizadas para que la condición operativa de los equipos continúe sin presentar fallas.
Mar territorial	Distancia en el mar que abarca 12 millas náuticas, a partir de la línea de costa hacia mar adentro.
Milla náutica	Equivalente a 1,852 metros.
Popa	Parte trasera de una embarcación.
Proa	Parte delantera de una embarcación.
Zona contigua	Distancia en el mar que abarca 24 millas náuticas, a partir de la línea de costa hacia mar adentro.
Zona económica exclusiva	Distancia en el mar que abarca 200 millas náuticas, a partir de la línea de costa hacia mar adentro.

RESUMEN

El arte de conducirse de un punto a otro sobre el nivel del mar se denomina navegación; término muy importante a nivel internacional pues la economía de la mayoría de los países depende de las importaciones y exportaciones que se realizan, las cuales en su mayoría son por vía marítima. Guatemala es un país que también basa su economía en las importaciones y exportaciones de productos a través de la vía marítima; para esto cuenta con cuatro puertos de altura, siendo Puerto Quetzal y Puerto San José en el Pacífico y Puerto Barrios y Santo Tomás de Castilla en el Caribe. Para garantizar la seguridad de las embarcaciones tanto mercantes, pesqueras, de recreación y artesanales, se hace necesaria la presencia de la Marina de la Defensa Nacional, mediante el uso de sus embarcaciones, para ello se hace necesario el perfecto estado de las mismas.

Las principales capacidades que debe tener una embarcación para hacerse a la mar sin problema alguno son la velocidad, el gobierno, la maniobrabilidad, la flotabilidad y la propulsión. El presente trabajo de graduación se enfoca principalmente en la propulsión; la cual se realiza mediante el trabajo de máquinas térmicas que permiten el desplazamiento de un buque. Para garantizar la continuidad de la propulsión, se hace imprescindible la aplicación un mantenimiento adecuado a las máquinas que realizan dicha labor.

Brindar mantenimiento a las máquinas se considera una herramienta muy importante en todas las industrias, ya que sin él, rápidamente se presentan fallas mecánicas, las cuales si no se les presta la debida atención pueden

llegar a convertirse en catastróficas; conllevando desde grandes pérdidas económicas hasta la pérdida de vidas humanas.

En los últimos años han existido varios tipos de mantenimiento, siendo los más comunes el preventivo y correctivo; sin embargo estos tipos de mantenimiento no permiten determinar las condiciones en que trabajan los equipos; las cuales definitivamente pueden variar de un momento a otro. Para determinar estas condiciones existe la nueva tendencia de mantenimiento que es basado en la condición del equipo o mantenimiento predictivo; este tipo de mantenimiento ofrece una serie de técnicas especializadas que permiten detectar anomalías con anterioridad a las fallas catastróficas, pudiendo realizar paros programados a los equipos, evitando con ello tanto accidentes materiales como grandes pérdidas económicas; y en el caso de la Marina de la Defensa Nacional, permite mantener un constante patrullaje en las costas guatemaltecas.

El alcance del presente trabajo de graduación se considera descriptivo, correlacional y explicativo. Descriptivo porque se dan las especificaciones y características de las máquinas propulsoras de un guardacostas, así como se explica en qué consiste el método del análisis de aceite usado; correlacional, porque se refleja la relación entre el mantenimiento, el estado de los equipos y las probable fallas, ya que existe un vínculo directo entre estos tres factores, y explicativo porque se explica el estado actual en que se encuentran las máquinas en base a la interpretación de cinco análisis realizados a cada una basado en las tendencias reflejadas por cada una.

El tipo de estudio del presente trabajo de graduación se considera descriptivo-analítico, longitudinal-prospectivo. Descriptivo-analítico porque se describe lo relacionado al análisis de aceite y se evalúa conforme los resultados

de los análisis realizados, el estado actual de las máquinas para proponer un protocolo de mantenimiento. Longitudinal-prospectivo porque las muestras se tomaron durante un período de siete meses y el estudio se realiza paralelo a esta toma de análisis de aceite usado.

La línea de investigación en la que se basa el presente trabajo de graduación es la de Gestión del Mantenimiento, enfocados principalmente en la tribología y lubricación; mediante la gestión se pudo realizar un protocolo de mantenimiento donde se busca incrementar la responsabilidad y el control a todo el personal involucrado en el mantenimiento de los equipos.

El método utilizado para realizar el presente trabajo de graduación es el análisis de aceite usado, técnica que se clasifica como parte del mantenimiento predictivo, mediante el análisis del aceite usado por los equipos se puede determinar el estado general en el que se encuentran, así como la programación de paros que no afecten la operatividad de los guardacostas en el mar. Se realizaron cinco análisis a cada máquina propulsora en diferentes intervalos de tiempo, durante un periodo total de 7 meses; debido a que regularmente los guardacostas no tienen programación para salir a navegar.

El resultado obtenido de la aplicación de los análisis de aceite usado a las máquinas propulsoras, indica que es oportuno realizar un paro programado y verificación de cada una de sus partes internas siendo necesario al mismo tiempo reducir el tiempo de horas de cambio de aceite, actualmente es de 150 horas.

Con todo el análisis realizado en el presente trabajo de graduación, se puede concluir que el estado actual de las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche es crítico; se necesita la implementación de protocolos de

mantenimiento específicos; al mismo tiempo, se recomienda que esta técnica sea implementada en todos los guardacostas de la Marina de la Defensa Nacional.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Entre los guardacostas que se ubican en el Comando Naval del Pacifico, se encuentra el GC-653 Azumanche, buque que igual que los otros se utiliza para realizar patrullajes en alta mar, permitiendo con esto la seguridad en las costas para las embarcaciones que transitan, así como la manutención de la soberanía nacional en las aguas nacionales. Al encontrarse en el mar, el GC-653 Azumanche ha presentado diversas fallas, las cuales no permiten completar la misión que el Comando Naval del Pacifico tiene, la cual es “Ejercer comando, supervisión, control y coordinación en el mar territorial, en la zona contigua y zona económica exclusiva del océano pacifico y en las aguas lacustres y fluviales, así como coadyuvar al ejercicio de la autoridad marítima en la misma, proporcionando apoyo administrativo y logístico de base a las unidades de la flota naval”.

Las fallas son debidas principalmente a que el tipo de mantenimiento que desde 1990 hasta la actualidad se brinda a los guardacostas es el mantenimiento preventivo sencillo e inspecciones VOSO, y en su defecto algún mantenimiento correctivo, después de haberse producido una falla catastrófica.

Basado en lo expuesto surge la siguiente pregunta:

PREGUNTA GENERAL

¿La implementación de la técnica de análisis de aceite usado aplicado a las máquinas principales del GC-653 Azumanche, podrá utilizarse como herramienta de mantenimiento predictivo que ayude a disminuir las fallas imprevistas que dichas máquinas pueden presentar durante su operación?

PREGUNTAS ESPECÍFICAS

1. ¿La obtención del historial de las máquinas propulsoras que se maneja a bordo del GC-653 Azumanche, podrá brindar un panorama general de los mantenimientos preventivos y correctivos que se le han realizado a éstas?
2. ¿La realización periódica de análisis de laboratorio al aceite usado por las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, podrá brindar información acerca del estado actual en que se encuentran las máquinas?
3. ¿La elaboración de un protocolo de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite usado, podrá disminuir un porcentaje de las fallas inesperadas que presentan las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche?
4. ¿La interpretación de los análisis de aceite usado, aplicado al sistema de propulsión del GC-653 Azumanche, podrá dar resultados beneficiosos como herramienta de mantenimiento predictivo?

OBJETIVOS

General

Implementar la técnica de análisis de aceite usado como herramienta de mantenimiento predictivo, para ser aplicado en las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche; buque del Comando Naval del Pacífico.

Específicos

1. Obtener el historial y fichas técnicas de las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, a partir de su última reparación mayor.
2. Durante siete meses consecutivos, realizar análisis de laboratorio al aceite usado por las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, en diversos intervalos de tiempo de operación, para determinar el estado actual en que se encuentran referidas máquinas.
3. Elaborar un protocolo de mantenimiento predictivo basado en la interpretación de los resultados obtenidos de los análisis, para disminuir un porcentaje de las fallas inesperadas que presentan las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche.
4. Determinar los beneficios que tiene la implementación del análisis de aceite usado como herramienta de mantenimiento predictivo, aplicado a las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La metodología que se utilizó para realizar el presente trabajo de investigación estuvo conformada en dos etapas principales; la primera consistió en recabar la información referente al historial de las máquinas del GC-653 Azumanche y fichas técnicas de las máquinas propulsoras; la segunda consistió en la aplicación, interpretación y análisis de la información obtenida mediante los análisis de aceite usado.

Para la completa realización de la investigación, cada etapa se subdividió en dos fases, siendo las siguientes:

Etapas

Primera fase

Durante la primera fase se tuvo acceso al cuarto de máquinas del GC-653 Azumanche, haciendo una recopilación de la información que refleja el diario de máquinas, referente a las horas de servicio y mantenimiento que actualmente se le brinda a las máquinas. Para la realización de esta fase, se utilizó la técnica de obtención de información mediante documentos escritos.

Segunda fase

La segunda fase consistió en la obtención del manual técnico que corresponde a las máquinas y el cotejo con el diario de máquinas en lo referente a los mantenimientos que indica el fabricante; al mismo tiempo el Comando Naval del Pacífico autorizó una entrevista hablada con el maquinista del GC-653 Azumanche; la principal información que se buscó obtener fue acerca de las fallas más comunes que han presentado las máquinas, el tipo de mantenimiento que se les brinda actualmente y el conocimiento que pudieran

tener acerca del análisis de aceite usado. La técnica utilizada en esta fase fue información mediante documentos escritos y entrevista.

Etapas

Tercera fase

En la tercera fase se realizaron cinco análisis de aceite usado a cada una de las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, durante un período de 7 meses, con diferentes intervalos de tiempo entre cada análisis, a partir de diciembre 2014 hasta junio 2015. Un factor muy determinante para realizar los análisis dependió directamente de la frecuencia con que el buque salió a navegar, para así cumplir cierto tiempo de horas de servicio; esta fase se realizó paralelamente con las demás fases, debido que fue la que más tiempo necesitó. La técnica que se utilizó fue la de observación asistida técnicamente mediante análisis de laboratorio.

Cuarta fase

Se interpretaron los resultados obtenidos en cada uno de los análisis de aceite realizados a las máquinas, obteniendo las tendencias que estas presentan referente a desgaste, contaminación y estado del aceite, dependiendo del tiempo de uso; con esta información, se realizó un protocolo de mantenimiento predictivo que se recomienda aplicar a mencionados equipos. La técnica que se utilizó en esta fase fue la interpretación de resultados obtenidos.

INTRODUCCIÓN

El Comando Naval del Pacífico es la entidad del estado encargada de brindar seguridad en el pacífico guatemalteco, contando para ello con buques tipo guardacostas, que permiten el desplazamiento del personal hacia cualquier punto vía acuática; por lo que es de suma importancia que la condición de todos los equipos sea la óptima.

A partir del año 2000, el mantenimiento se ha convertido en uno de los principales pilares del éxito en la industria, pues permite que los equipos puedan mantenerse operativos sin presentar anomalías en su funcionamiento. Al igual que en la industria, en la seguridad marítima, el mantenimiento constituye una base muy importante para alcanzar el éxito en las operaciones que se realizan en alta mar; ya que la falla de un equipo al encontrarse mar adentro, pone en riesgo tanto a la embarcación, como a su tripulación.

Franco (2013) dijo que: “El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.” (p.1)

El presente trabajo de graduación trata acerca de una técnica de mantenimiento predictivo aplicada a las máquinas propulsoras de un guardacostas del Comando Naval del Pacífico, siendo esta, la técnica del análisis de aceite usado, la cual permite que mediante la interpretación de resultados, el personal de mantenimiento pueda tomar decisiones previsoras

antes que ocurra alguna falla catastrófica, así como determinar las tendencias que presenta un equipo para brindarle un mantenimiento específico.

El buque seleccionado para realizar el estudio del presente trabajo de graduación fue el guardacostas GC-653 Azumanche; el cual cuenta con dos máquinas propulsoras principales marca Detroit Diésel 8V92 TA; cuyo funcionamiento sin lugar a dudas debe ser el óptimo para disminuir los riesgos que se pueden correr mar adentro.

En el capítulo I, se hace referencia de la importancia que tiene el mantenimiento en un buque, así como de los parámetros informativos que brinda la técnica de análisis de aceite usado, presentando un ejemplo físico de los resultados de un análisis; al mismo tiempo se describió todo el equipamiento que tiene el GC-653 Azumanche, tanto en el área de cubierta como en el cuarto de máquinas, detallando las características del sistema de lubricación de las máquinas; también se indican las fallas más comunes que estas presentan, reflejadas en un análisis al diario de máquinas.

En el capítulo II, se colocan tabulados los valores obtenidos en los resultados de los análisis, lo cual permite observar los incrementos o deficiencias de materiales presentes en el aceite usado.

En el capítulo III, se grafican en conjunto los cinco análisis de aceite aplicados a cada una de las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, reflejando las tendencias que estas tienen, pudiendo así determinar el estado actual de cada una de las máquinas.

En el capítulo IV, se realiza la propuesta de un protocolo de mantenimiento para las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, basado

en el análisis del aceite usado; se adjuntan formatos y un diagrama de flujo a seguir para llevar un mejor control del mantenimiento brindado a las máquinas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Importancia de la operatividad de los Guardacostas de la Marina de la Defensa Nacional

Guatemala es un país bioceánico, debido a que cuenta con salida al mar tanto por el Océano Pacífico, como por el Mar Caribe; contando a su vez con cuatro puertos principales, siendo: Puerto Barrios y Puerto de Santo Tomás de Castilla en Izabal, Puerto Quetzal y Puerto San José en Escuintla; lugares por donde se realiza el mayor movimiento de importaciones y exportaciones de mercancías. A su vez en todo el litoral Pacífico y mar Caribe se realiza trabajo de pesca, tanto artesanal como industrial, siendo dicha labor parte de la economía de Guatemala.

Para el buen desarrollo de las actividades mercantes y pesqueras, es esencial la salvaguarda de la vida humana en el mar, así como la seguridad de todas las embarcaciones que navegan desde el mar territorial guatemalteco (0 a 12 millas náuticas) hasta la zona económica exclusiva (0 a 200 millas náuticas). La Marina de la Defensa Nacional de Guatemala es el ente del Estado encargado de la salvaguarda y seguridad de todas las embarcaciones que naveguen en aguas jurisdiccionales guatemaltecas, realizando dichas actividades mediante el Comando Naval del Caribe en el litoral del caribe y Comando Naval del Pacífico en el litoral pacífico.

El Comando Naval del Pacífico, para el cumplimiento de su misión cuenta con cinco buques tipo guardacostas, los cuales realizan patrullajes generales y específicos acorde a las órdenes de operaciones emitidas por el mando, para lo cual deben de encontrarse en condiciones aceptables para hacerse a la mar.

Todo buque para su buen funcionamiento en el mar, cuenta con varios sistemas que permiten su desplazamiento eficaz durante la navegación, pudiendo mencionar entre los principales sistemas, los siguientes:

1. Sistema de Gobierno, es el encargado de permitir la maniobrabilidad del buque, conformado de palas y timones.
2. Sistema de contra incendios, encargado de activarse o ser activado al momento de detectar humo o temperaturas excesivas.
3. Sistema de agua dulce, encargado de almacenamiento y distribución de mencionado líquido para todos los servicios del buque.
4. Sistema de propulsión, encargado del desplazamiento del buque de un lugar a otro, pudiendo variar la velocidad en la navegación.

Para garantizar el correcto funcionamiento de estos sistemas, se hace de vital importancia el mantenimiento que se le brinda a los mismos, el cual permite el funcionamiento continuo de los equipos sin que estos presenten fallas, garantizando con ello la seguridad de la tripulación en el mar.

A partir de la década de los ochentas hasta los años 2015, 2016 y 2017, los sistemas que conforman los buques tipo guardacostas del Comando Naval del Pacífico reciben únicamente mantenimiento preventivo sencillo, basado en cambio de aceite, cambio de filtros e inspecciones VOSO (ver, oír, sentir y oler); y al momento de presentar fallas catastróficas reciben la aplicación de mantenimiento correctivo, lo cual origina que un buque se encuentre fuera de servicio por el tiempo en que se realiza la reparación, afectando con ello el cumplimiento de la misión.

El estudio del presente trabajo de graduación se enfoca en la técnica de mantenimiento predictivo denominada análisis de aceite usado, aplicado a las máquinas principales del sistema de propulsión de un buque tipo guardacostas perteneciente al Comando Naval del Pacífico.

1.2. Mantenimiento

El mantenimiento consiste en un conjunto de técnicas aplicadas en los equipos con el objeto que permanezcan el mayor tiempo en servicio, con el máximo rendimiento posible. (García, 2003)

En los cuartos de máquinas de todo tipo de buques, las actividades de mantenimiento se hacen imprescindibles, porque las máquinas principales del sistema de propulsión, se encuentran en servicio todo el tiempo de la navegación, sin importar si es de día o de noche, siendo esencial el buen funcionamiento de las mismas, evitando con ello poner en riesgo la vida humana en el mar.

Existen diferentes tipos de mantenimiento que son utilizados en la industria, entre los que se puede mencionar, el mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo, sin embargo una de las nuevas tendencias de mantenimiento es el mantenimiento basado en la condición del equipo, denominado mantenimiento predictivo.

1.2.1. Mantenimiento preventivo

Mantenimiento que consiste principalmente en realizar la serie de actividades que indica el fabricante de la máquina para mantener su perfecto estado; se refiere principalmente a inspecciones VOSO, recomendaciones de tiempo o distancia recorrida para el relleno de aceite, cambio de filtros, empaques y piezas.

García Garrido (2010) indica que: “el mantenimiento preventivo tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerable en el momento más oportuno”(p.17).

A bordo de los buques tanto de la flota nacional como internacional, se lleva a cabo este tipo de mantenimiento, cumpliendo en la mayoría de veces con las especificaciones del fabricante, sin embargo, no garantiza la condición actual de los equipos en un momento determinado.

A través de la historia de la Marina de la Defensa Nacional, desde su fundación en el año 1959 hasta el 2016; este es el principal mantenimiento que se ha practicado en las máquinas de sus buques, acompañado del mantenimiento correctivo al momento de ocurrir una falla catastrófica.

1.2.2. Mantenimiento correctivo

Mantenimiento que consiste en la reparación que se realiza en el momento que ocurre una falla; ocasionando que los equipos queden fuera de servicio. Entre las principales desventajas de este tipo de mantenimiento se encuentran la ejecución de paros no programados y altos costos en la reparación.

En el 2010, García Garrido manifestó que el mantenimiento correctivo es el que se va realizando a los activos conforme se van presentando las fallas.

Del 2010 a la fecha, una de las nuevas tendencias en mantenimiento es lo que se denomina “Mantenimiento predictivo”, el cual posee la ventaja de mostrar en cualquier instante el estado de cada una de las máquinas donde se aplica. (Olarde y William, 2010).

1.2.3. Mantenimiento predictivo

Es una serie de técnicas y ensayos no destructivos que se realizan sobre los equipos para determinar el estado actual en el que se encuentran, y de esa forma poder determinar el procedimiento a efectuar para renovar su estado.

Olarte y William (2010), nombran al mantenimiento predictivo como, la serie de ensayos de carácter no destructivo, orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que algunas de sus partes no están trabajando de manera correcta; pudiendo después de detectar alguna falla, realizar un mantenimiento programado para realizar las reparaciones correspondientes, no afectando el proceso de producción de la planta, prolongando a la vez la vida útil de las máquinas.

Conde, Arnaiz, Terradillos y Alarcon (2010) dijeron que “una herramienta adecuada de mantenimiento predictivo orienta su labor a incrementar la disponibilidad y fiabilidad de los equipos, así como a determinar el estado en el que se encuentra un equipo en un momento determinado de uso” (p.32).

La práctica del mantenimiento predictivo a bordo de los buques, incrementa la seguridad durante la navegación, pues reduce las probabilidades que un equipo falle estando en el mar.

Entre las técnicas de mantenimiento predictivo existentes se encuentra la radiografía, termografía, ultrasonido, análisis de vibraciones y análisis de aceite usado.

El presente trabajo se enfocará directamente en lo que es el análisis de aceite usado, como herramienta de mantenimiento predictivo, aplicado a las maquinas principales del sistema de propulsión de un buque tipo guardacostas.

1.2.3.1. Análisis de aceite usado.

El diagnóstico técnico de las partes internas de los motores de combustión interna ha evolucionado, existiendo una variedad de métodos de análisis que identifican lo que está sucediendo dentro del motor, permitiendo el monitoreo por condición.

El método de análisis de aceite usado permite mediante la extracción de muestras de aceite usado por las máquinas, determinar la condición interna actual en que se encuentran las piezas de las mismas, evitando con ello llegar al punto de falla catastrófica, mediante la planeación de un paro programado.

Este método consiste en una serie de análisis fisicoquímicos realizados al aceite que se encuentra en uso dentro de las máquinas, pudiendo determinar en dicha prueba, las propiedades que ha perdido el aceite en uso o degradación del mismo, así como la cantidad de materiales de desgaste de las partes internas de la máquina que se encuentran diluidas en él.

Los resultados que se obtienen del análisis de aceite de laboratorio pueden llegar a ser erróneos, si las muestras no se manipulan correctamente, desde su toma hasta su transporte al laboratorio seleccionado.

Según Fygueroa (2009) indica que la degradación del aceite puede determinarse midiendo los parámetros de viscosidad, número básico total, número de acidez total y detergencia; mientras que la contaminación se determina midiendo la cantidad de partículas de metales de desgaste que están

presentes en el aceite, cantidad de agua, combustible, materias carbonosas e insolubles.

Es importante destacar que la degradación y contaminación del aceite, no son independientes entre ellas, mientras el aceite presente más contaminación, su degradación irá en aumento, y al mismo tiempo esta última permitirá que la contaminación siga incrementándose, Fygueroa (2009).

Arellano y Helguero (2009) dijeron que: “Al estudiar los resultados del análisis se obtiene la información suficiente que permite tomar decisiones en cuanto a la necesidad de cambiar el lubricante o de someterlo a un proceso de filtración o de diálisis. Con este análisis también se puede elaborar un diagnóstico sobre la condición de desgaste del equipo y sus componentes.” (p. 3)

Saldivia (2013) indica que: “El análisis de aceite en uso evalúa la condición de los aceites que están en servicio y evalúa la condición de las máquinas que son lubricadas, a través de un número de pruebas para soportar decisiones importantes acerca de la máquina y el lubricante.” (p. 2)

Olarte y William (2010) indicaron que: “La técnica de análisis de aceites permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite por medio de una serie de pruebas que se llevan a cabo en laboratorios especializados sobre una muestra tomada de la máquina cuando está operando o cuando acaba de detenerse.” (p. 225)

De acuerdo a los autores mencionados anteriormente, la técnica de análisis de aceite usado refleja el estado en que se encuentra el lubricante utilizado en un equipo, lo que permite deducir la información acerca de las fallas

internas que pueden estar afectándolo y que aún no son catastróficas, permitiendo que el personal de mantenimiento planifique los mantenimientos que el equipo necesita, así como la reducción o extensión de tiempos de cambio de aceite lubricante a los mismos.

1.2.3.1.1. Parámetros de control del análisis de aceite usado

La obtención de parámetros de control del aceite usado, es de suma importancia para el personal de mantenimiento, en virtud que nos indicarán la condición y el nivel de criticidad en que se encuentran los equipos.

Cada fabricante tiene sus parámetros de control para determinar si el lubricante usado todavía cumple con sus características normales, o se debe realizar un cambio; por lo que es necesario siempre que se efectúe un análisis de aceite usado, contar con la ficha técnica del lubricante.

Navarrete (2009) explica que: “Una vez obtenidas la muestras de aceite usado, estas deben ser enviadas al laboratorio para poder determinar los parámetros que pueden decirnos el estado de las máquinas; estos parámetros brindan información acerca de la contaminación y degradación del lubricante, pudiendo deducir los patrones y el comportamiento del desgaste a que están sometidos los equipos.”

Los parámetros principales a medir son los siguientes:

- De contaminación del aceite:
 - Partículas de desgaste
 - Dilución por agua

- Dilución por combustible

- De degradación del aceite:
 - Viscosidad
 - Número básico total (TBN)
 - Número de acidez total (TAN)

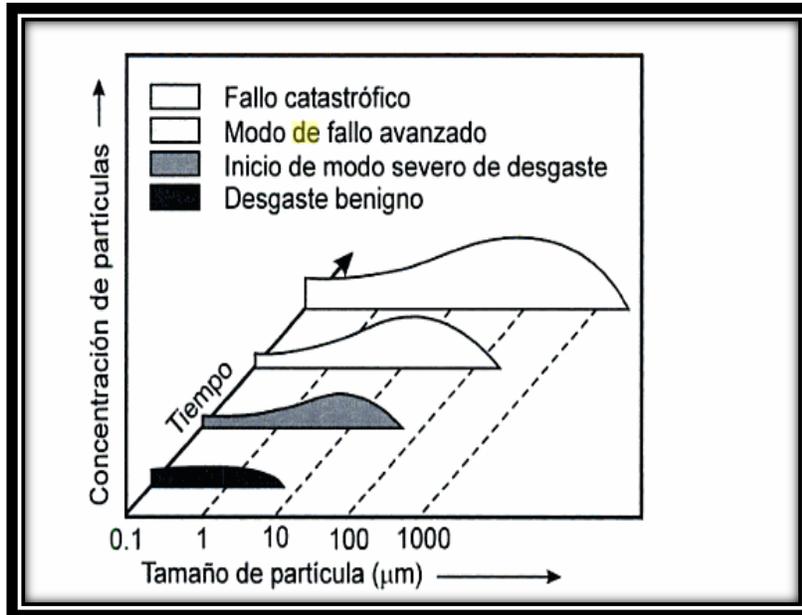
- Parámetros de contaminación del aceite usado
 - Partículas de desgaste.

A través de la espectrometría, la ferrografía y técnicas complementarias (Figueroa Salgado, 2009) se puede determinar la cantidad de partículas producto del desgaste de las piezas que se encuentra disuelta en el aceite; este parámetro ayudará a determinar qué piezas presentan mayor desgaste y al compararlo con el rango permisible del fabricante, podremos saber en qué condición se encuentran las piezas de las máquinas.

La figura 1 muestra el incremento del tamaño de las partículas de desgaste que puede sufrir una maquinaria con respecto al tiempo que permanece con el mismo lubricante, lo cual podrá convertirse en una falla catastrófica.

La obtención de la cantidad de desgaste es una de las principales técnicas para determinar con anticipación una posible falla catastrófica. (Espinoza, 2008)

Figura 1. Evolución de tamaño de partículas en el proceso de desgaste



Fuente: TORMOS MARTINEZ, Bernardo. *Diagnóstico de Motores Diésel mediante el análisis del aceite usado*. (p.285)

La tabla I muestra los metales de desgaste que pueden presentarse diluidos en el aceite usado por un motor de combustión interna; conociendo los parámetros permisibles por el fabricante del lubricante, se puede hacer un análisis comparativo del incremento de estos metales, determinando así el estado de las piezas internas de los motores.

Tabla I. **Metales de desgaste que pueden presentarse en el aceite usado por un motor de combustión interna**

METAL	ORIGEN
HIERRO (Fe)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Camisas de cilindros. 2. Anillos. 3. Engranaje cigüeñal. 4. Eje de levas. 5. Tren de válvulas. 6. Engranaje bomba de aceite. 7. Pasador del pistón.
CROMO (Cr)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Anillos. 2. Camisas de cilindros. 3. Válvulas de escape. 4. Revestimiento del eje. 5. Aleación de acero Inoxidable.
ALUMINIO (Al)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pistones. 2. Cojinetes de empuje. 3. Cojinetes del turbo. 4. Cojinetes principales y de biela en motores Caterpillar.
NIQUEL (Ni)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aleación de válvulas. 2. Cigüeñal. 3. Eje de levas. 4. Contaminante en combustibles marinos. (bunker)
COBRE (Cu)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cojinetes principales y de biela. (también buscar plomo) 2. Bujes de bronce/latón. (también buscar estaño y/o zinc) 3. Cojinetes del turbo. 4. Tubería principal de enfriadores de aceite.
PLOMO (Pb)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cojinetes principales y de biela. 2. Algunas soldaduras. 3. Aditivos post-venta.
ESTAÑO (Sn)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cojinetes, (babbitt) (también buscar plomo, antimonio y cobre) 2. Tapajuntas de bujes de bronce de los pistones. 3. Soldadura de plomo-estaño.
CADMIO (Cd)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contaminante Ambiental.
PLATA (Ag)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Plata del pasador del pistón en motores EMD 567 & 745. 2. Algunas soldaduras de las juntas de enfriadores de aceite.

TITANIO (Ti)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Válvulas. 2. Pasadores de pistón. 3. Cojinetes. 4. Ejes.
VANADIO (V)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metal de aleación. 2. Contaminante en combustibles marinos. (bunker)

Fuente: Laboratorio Polaris, Guatemala. (2015).

- Dilución por agua

La presencia de agua en el aceite usado es un indicativo de corrosión en las piezas del motor; esta ingresa ya sea por condensación o goteo del sistema de enfriamiento, o en su defecto por alguna falla directa que presente el motor; el agua diluida en el aceite de un motor, afectará las propiedades del mismo, principalmente la viscosidad; por tal motivo, al detectar anomalías en este parámetro, es importante programar un paro de la maquinaria y efectuar el mantenimiento correspondiente.

El objetivo primordial de la prueba que se realiza en el laboratorio, es determinar la cantidad de agua que se encuentra disuelta en el aceite usado; existen varios tipos de prueba, sin embargo, la que comúnmente se realiza es la crepitación, indicando la presencia de agua en un 0.05% en una gota de aceite usado.

- Dilución por combustible.

El sistema de combustible de un motor es el encargado de transportar el combustible de los tanques de servicio hasta la cámara de combustión. Este sistema se encuentra formado por bombas, tuberías, filtros y dispositivos que permiten el ingreso y la pulverización del combustible; sin embargo en algunas ocasiones este sistema presenta algún tipo de fuga o mala pulverización en la

cámara de combustión, ocasionando con ello que en el aceite del motor se diluya una cantidad de combustible, lo cual afecta completamente las propiedades del aceite, pudiendo ocasionar fallas catastróficas si no se remedia a tiempo.

La presencia de combustible en el aceite usado por el motor puede determinarse mediante un análisis de aceite efectuado en un laboratorio, tomando como base el punto de inflamación del aceite, en virtud que el combustible disminuye mencionada propiedad del aceite.

- Parámetros de degradación del aceite
 - Viscosidad.

Mott (1996) indicó que la viscosidad es la propiedad que tiene un fluido de presentar cierta resistencia al movimiento relativo de sus moléculas. (p.23)

En un motor de combustión interna es sumamente importante la determinación de la viscosidad del aceite que se encuentra en uso, según Navarrete (2009) este parámetro constituye el principal indicador del desempeño del lubricante.

Dentro del análisis de aceite usado se considera la prueba de viscosidad, en virtud que en muchas ocasiones ésta disminuye o aumenta, evitando que el lubricante cumpla sus funciones dentro del motor. La prueba que se realiza al aceite usado de los motores de combustión interna consiste en verificar la viscosidad a una temperatura de 100°C, en virtud que esta es la temperatura más cercana a la que se encuentra el cárter de un motor; esta debe de encontrarse en un rango entre 12.0 y 18.0 centistokes (Navarrete, 2009).

- Número básico total (TBN)

El TBN constituye un indicador de la capacidad alcalina que tiene el lubricante para contrarrestar los ácidos sulfúricos que están presentes en la combustión, los cuales pueden atacar las piezas lubricadas de un motor; su medida indica el grado de reserva alcalina que se encuentra presente en el aceite usado, reflejando el comportamiento en función de los ácidos acumulados (Navarrete, 2009).

Fygueroa (2009) dijo que: “La pérdida de reserva alcalina es uno de los síntomas más utilizados para determinar la degradación del aceite y el período de cambio óptimo; en ningún caso el TBN de un aceite usado puede ser menor del 50% del correspondiente al aceite nuevo”. (p.5)

- Número de acidez total (TAN)

Parámetro que indica la calidad del aceite con respecto a la oxidación que puede presentar debido al uso. Es importante la comparación del TAN obtenido del aceite usado con respecto a la indicada por el fabricante, poniendo mucha atención en los límites aceptables.

La figura 2 muestra un resultado de laboratorio realizado al aceite usado por una máquina de un buque tipo guardacostas; reflejando los parámetros que determinan la condición actual en que se presenta la máquina. La constante aplicación de este tipo de análisis y la interpretación acertada del mismo, brindan indiscutiblemente un monitoreo general de la condición actual en que se encuentran los equipos, permitiendo la programación de paros programados, que en el caso de los buques, no pondrán en riesgo la vida de la tripulación en el mar.

Tavares *et al.* (2012) definen las principales ventajas que presenta la realización de este método, siendo que constituye una herramienta de mantenimiento predictivo, evita paradas no programadas, ayuda a prevenir fallas, aumenta la vida útil del motor diésel, reduce los costos de inventario, mejora la disponibilidad de los motores, revela el estado de degradación del aceite lubricante y contribuye al control de emisiones de los gases expulsados al medio ambiente, reduciendo la contaminación del aire atmosférico.

Figura 2. **Ejemplo de resultados de un análisis de laboratorio de aceite usado**

Comments		Check for source of FUEL LEAK (injectors, lines etc.). Fuel is at a SEVERE LEVEL; Water is at a MODERATE LEVEL. Viscosity result is invalid due to water contamination. Lubricant and filter change acknowledged; Resample at half interval;																						
Sample #	Wear Metals (ppm)										Contaminant Metals (ppm)		Multi-Source Metals (ppm)				Additive Metals (ppm)							
	Iron	Chromium	Nickel	Aluminum	Copper	Lead	Tin	Cadmium	Silver	Vanadium	Silicon	Sodium	Potassium	Titanium	Molybdenum	Antimony	Manganese	Lithium	Boron	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorous	Zinc
NL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	50	0	0	0	469	11	3738	0	1137	1206
1	36	1	0	0	30	1	4	0	0	0	6	4	0	0	25	0	1	0	210	23	2548	0	899	947
Sample #	Sample Information							Contaminants			Fluid Properties													
	Date Sampled	Date Received	Lube Time	Unit Time	Lube Change	Lube Added	Filter Change	Fuel Dilution	Soot	Water	Viscosity 40°C	Viscosity 100 °C	Acid Number	Base Number	Oxidation	Nitration								
NL	02-Mar-2014	05-Mar-2014	0	0	Unk	0	Unk	% Vol	% Vol	% Vol	cSt	cSt	mg KOH/g	mg KOH/g	abs/cm	abs/0.1 mm								
1	02-Mar-2014	05-Mar-2014	150	3500	Yes	2	Yes	>10 - GC	0.2 - FTIR	0.2 - Hotplate		14.4	5.50											
Sample #	Particle Count (particles/mL)									Additional Testing														
	ISO Code	Based On	> 4 μm	> 6 μm	> 10 μm	> 14 μm	> 21 μm	> 38 μm	> 70 μm	> 100 μm	Test Method													
NL	//																							
1	//																							

Comments are advisory only and are based on the assumption that the sample and data submitted are valid. Missing fluid or component information limits the evaluation. No warranty is expressed or implied.

Fuente: Laboratorio Polaris, Guatemala. (2015)

1.3. Características generales del GC-653 AZUMANCHE

A continuación se especifican las características específicas generales del buque; las medidas se encuentran en sistema inglés en virtud que es de origen estadounidense.

1.3.1. Especificaciones generales del buque

- Compañía constructora: HALTER MARINE SERVICES, INC.
- Lugar de construcción: New Orleans, Louisiana U.S.A.
- Año de entrega a Guatemala: 1971.
- Dimensiones
 - Eslora: 65'
 - Manga: 17'.5
 - Calado: 4', 1"
 - Puntal: 8', 3"
- Desplazamiento: 45 toneladas.
- Lugar de repotenciación: Netwok Marine Inc. Pierre Part, Louisiana, U.S.A.
- Fecha de repotenciación: octubre de 1993.
- Capacidad de combustible: 1300 galones.
- Capacidad de agua: 500 galones
- Velocidad de emergencia: 15 nudos.
- Velocidad de crucero: 10 nudos.
- Autonomía: 700 Millas náuticas.
- Tripulación: 2 Oficiales 7 Marineros.
- Casco:
 - Diseño: semiplaneo.
 - Material de construcción: Aleación de aluminio 5086 y 6051.
 - Espesor de la lámina: 1/4 de pulgada.
- Departamento de cubierta:

- Equipo Electrónico:
 - Radar Furuno modelo FR-1941 de 42 Millas Nauticas de alcance máximo.
 - Sistema de posicionamiento global (GPS) marca RAYTHEON, modelo RAYSTAR 390.
 - Ecosonda marina DATAMARINE modelo 3000.
 - Un radio SSB RAYTHEON marine modelo RAY 152.
 - Sistema de altoparlantes marca RAYTHEON modelo 430.
 - Radio VHF Standard HORIZON modelo GX23415.
 - Dos radios portátiles VHF ICON IC M-7 (banda marina).

- Equipo de cubierta y navegación:
 - Una lámpara para mesa de ploteo.
 - Un reloj marino marca Chelsea Maritime.
 - Pistola de señales marca ORION.
 - Compás magnético marca RITCHIE de 6 pulgadas.
 - Dos reflectores para luces de búsqueda marca PERKO de 10 pulgadas de diámetro.
 - Dos binoculares marca BINOLUX de 7 X 50 de alcance.
 - Un código internacional de banderas.

- Equipo de rescate:
 - Un bote inflable marca AVON para cuatro personas con sus accesorios.
 - Un motor fuera de borda MARINER de 25 H.P.
 - Ocho chalecos salvavidas con luz y silbato.
 - Cuatro anillos salvavidas de 30 pulgadas marca JIM BUOY.
 - Una balsa salvavidas con capacidad para doce personas.

- Equipo contra incendios:
 - Un sistema fijo de CO2 de 100 libras.
 - Ocho extintores portátiles para incendios clase A, B y C.
 - Una manguera de lona de 02 pulgadas y 50 pies de longitud.

- Equipo de aire acondicionado:
 - Una planta de aire acondicionado de cuatro toneladas de refrigeración, marca TECUMSEH.

- Departamento de máquinas:
 - Dos motores propulsores marca DETROIT DIESEL modelo 8V92TA de 650 H.P. a 2300 RPM., con caja reductora TWIN DISK modelo MG-5111, relación reducción 2:1.
 - Dos generadores marca DETROIT DIESEL/PERKINS modelo 4.236 de 35 KVA., 220 voltios.
 - Un sistema hidráulico tipo SKIPPER compuesto por dos bombas hidráulicas marca VICKERS y sus accesorios.
 - Sistema de mandos electrónicos para los motores propulsores marca MATHERS microcomander de 12VCD.
 - Dos hélices de bronce de 33" X 31" de rotación hacia afuera.
 - Sistema de achique compuesto por dos bombas marca BARNERS modelo 5CCE.
 - Sistema de agua potable consistente en una bomba marca COVER PUMP modelo 5500.
 - Dos compresores marca QUINCY modelo 310 para el sistema de arranque de los motores y generador.

- Un generador portátil marca WACKER de 110 VCA, 2.5 KW, modelo G 2.5.
 - Bomba de achique portátil marca WAYNE modelo GP 300.
 - Un panel de distribución eléctrica marca POWER PANELS.
-
- Departamento de armamento:
 - Dos ametralladoras OerliKon calibre 20 milímetros, modelo GAM BO1.
 - Dos ametralladoras BROWNING calibre .50 pulgadas.

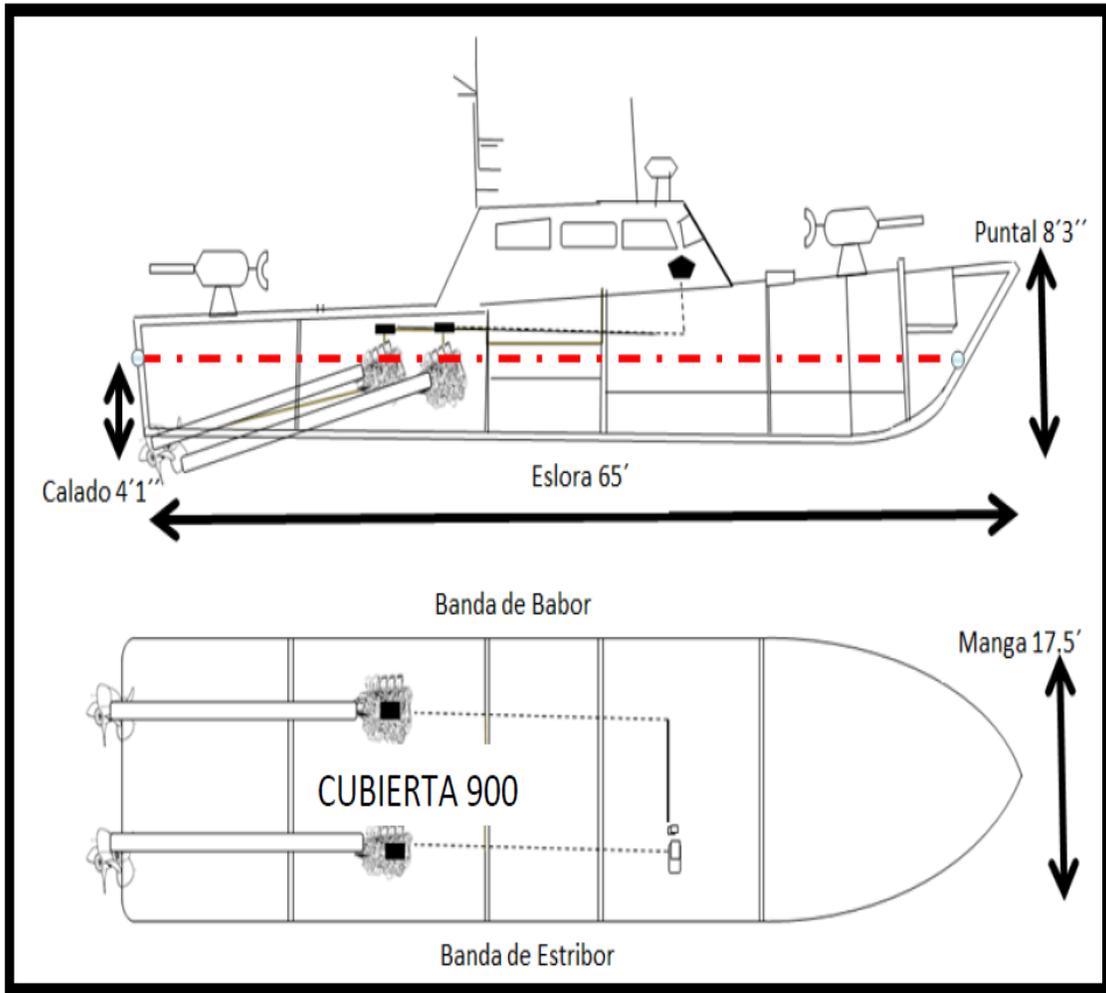
La figura 3 es una fotografía del GC-653 Azumanche, arrojado en el muelle del Comando Naval del Pacífico; y en la figura No. 4 se pueden observar los planos generales del buque, indicando características principales y ubicación de las máquinas propulsoras.

Figura 3. Buque tipo guardacostas GC-653 Azumanche



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Planos generales del GC-653 Azumanche



Fuente: ALAY MCDONALD, Oscar. *Diagramas Guardacostas de la Marina de la Defensa Nacional de Guatemala*. (2015)

1.3.2. Sistema de propulsión del GC-653 Azumanche

El sistema de propulsión de GC-653 Azumanche, está conformado por dos máquinas propulsoras marca DETROIT DIESEL modelo 8V92TA de 650 H.P. a 2300RPM.

El manual de servicio de las máquinas serie 92 de Detroit Diésel (General Motors Corp., 1988), indica las características específicas de mencionadas máquinas, las cuales se muestran en la tabla II.

Tabla II. **Especificaciones generales del motor Detroit Diésel 8V92TA**

Tipo	2 tiempos
Número de Cilindros	8
Diámetro interior (pulgadas)	4.84
Diámetro interior (mm)	123
Carrera (pulgadas)	5
Carrera (mm)	127
Relación de Compresión (nominal)	17 a 1
Cilindrada total (pulgadas cúbicas)	736
Cilindrada total (litros)	12.07
Número de cojinetes de bancada	5

Fuente: Detroit Diésel, manual de servicio. (1978)

Cada máquina está equipada con los sistemas correspondientes que permiten su correcto funcionamiento, encontrándose entre ellos el sistema de arranque, sistema de combustible, sistema de agua de enfriamiento y sistema de lubricación.

En la figura. 5 se pueden observar las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, de las cuales se obtuvo muestras de aceite usado.

Figura 5. **Máquinas Detroit Diésel 8V92TA, que se encuentran a bordo del GC-653 Azumanche**

MÁQUINA BABOR



MÁQUINA ESTRIBOR



Fuente: elaboración propia.

En virtud que el presente trabajo de graduación se basa en el análisis de aceite usado por las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche; el sistema en que se enfocara principalmente será en el de lubricación.

1.3.3. Sistema de lubricación de las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche

El sistema de lubricación es de suma importancia en cualquier tipo de máquina que esté conformada de piezas móviles, principalmente si existe algún tipo de rozamiento entre ellas. En los motores de combustión interna la presencia de aceite lubricante es esencial, cumpliendo dos funciones primordiales, lubricar y enfriar.

La función de lubricación que realiza el aceite en un motor de combustión interna, consiste en disminuir la fricción y el desgaste que se pueda presentar al existir movimiento continuo entre las piezas móviles, en virtud que si estas estuvieran en contacto directo, rápidamente sufrirían un desgaste excesivo que

diera como resultado una falla catastrófica inesperada, lo cual en la industria se reflejaría en una pérdida económica, tanto por el costo de la reparación así como por el costo del paro no programado de la maquinaria; y en la Marina de la Defensa Nacional, se refleja en el no cumplimiento su misión, que consiste en brindar seguridad en el mar y soberanía nacional.

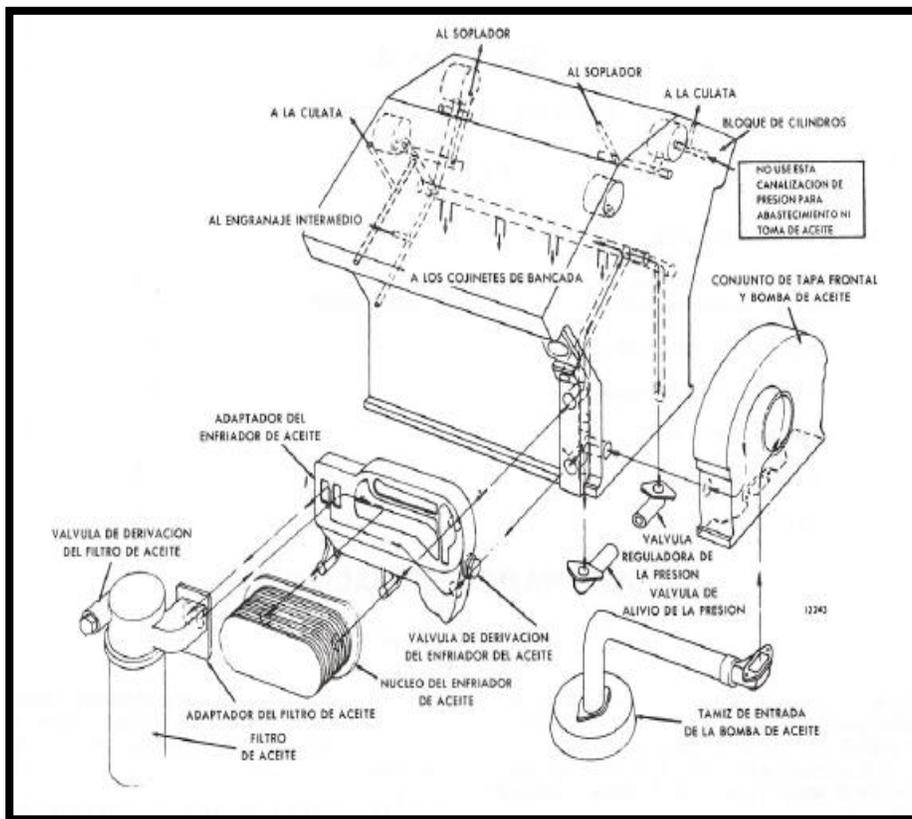
El aceite lubricante como se mencionó anteriormente, además de cumplir la función de lubricación, también enfría las partes donde la transferencia de calor del refrigerante es mínima, permitiendo de esta forma un óptimo funcionamiento de la maquinaria.

El sistema de lubricación de las máquinas Detroit Diésel 8V92TA, está conformado de una bomba de aceite, filtro de aceite de flujo pleno, enfriador de aceite, regulador de la presión y válvula de derivación (General Motors, Corp., 1988). La Ilustración 6 muestra un diagrama del sistema de lubricación de las máquinas Detroit Diésel 8V92TA; pudiendo notar que el aceite al ser aspirado del cárter, por la presión negativa de la bomba de aceite, pasa por el tamiz de succión, posteriormente ingresa a la bomba de aceite, donde se le eleva la presión; posteriormente, el aceite pasa hacia una corta canalización en el bloque de cilindros y a la placa del adaptador del enfriador de aceite. Paralelamente si la presión de la bomba es superior a 724 kPa (105 psi), parte del aceite es retornado al cárter a través de una válvula de alivio de presión a resorte, montada en el bloque de cilindros (General Motors, Corp., 1988).

Después del paso del aceite por el enfriador, se dirige hacia el filtro y regresa posteriormente al bloque de cilindros, donde lubrica todas las partes móviles del motor (cigüeñal, pistones, bielas, camisas, cojinetes de biela, cojinetes de bancada, etc). En el filtro de aceite y en el enfriador, también se encuentran válvulas derivadoras en caso que estos se encuentren obstruidos.

La presión de aceite lubricante se mantiene constante dentro de la máquina, en virtud de una válvula reguladora de presión que se encuentra calibrada a 345 kPa (50 psi), la cual al exceder mencionada presión, abre y envía el aceite al cárter (General Motors, Corp., 1988).

Figura 6. **Diagrama esquemático de sistema de lubricación típico de la serie 92, 6V y 8V.**



Fuente: Detroit Diésel, manual de servicio. (1978)

Como se puede observar en la figura 6, la presencia del aceite lubricante en todas las partes móviles de los motores de combustión interna, principalmente en las máquinas del GC-653 Azumanche que son el objeto principal de este trabajo de graduación; es de vital importancia, debido que

circula a través de todas las parte móviles del motor disminuyendo la fricción, evitando el desgaste y reduciendo las posibilidades de una falla catastrófica, por tal motivo es esencial que los maquinistas que trabajan a bordo de mencionado buque, tengan la plena seguridad que las máquinas se encuentran perfectamente lubricadas.

Basado en lo expuesto anteriormente, se deduce que la técnica de análisis del aceite usado permite determinar las cantidades de partículas de desgaste en suspensión de todas las partes del motor por donde circula el aceite, o de otros componentes como agua y combustible, lo cual ayuda definitivamente a programar un paro y realizar reparaciones antes que ocurra una falla.

En la tabla III se pueden observar las especificaciones y requerimientos del aceite lubricante que se debe utilizar en las máquinas 8V92TA.

Tabla III. Especificaciones del aceite lubricante a utilizar en las máquinas Detroit Diésel 8V92TA

Grado de viscosidad SAE	040
Clasificación API	CD-II, actualmente sustituido por CF-2
Ceniza sulfatada	Menos de 1%
Intervalo de drenaje	150 horas
Capacidad del Carter	28.4 litros

Fuente: DETROIT DIÉSEL MANUAL DE SERVICIO (1978)

1.3.4. Fallas más frecuentes registradas en el diario de máquinas del GC-653 Azumanche

El guardacostas GC-653 Azumanche es un buque que actualmente se encuentra operativo en el Comando Naval del Pacífico, en el cual se desarrollan

algunos de los patrullajes marítimos dentro de las aguas jurisdiccionales del Estado de Guatemala.

En las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, a través de la historia, únicamente se han realizado inspecciones VOSO y mantenimiento preventivo, consistente en el cambio de aceite lubricante, cambio de filtros y verificación del nivel de agua de enfriamiento; debiendo sacarlas completamente de servicio cuando presentan alguna falla catastrófica. Estas fallas se presentan debido a que no se les aplica ninguna técnica que permita el monitoreo constante de condición.

La tabla IV indica las principales fallas que se han presentado en las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche de junio del año 2012 hasta mayo del año 2015, las cantidades de aceite que se ha tenido que rellenar entre cada cambio de aceite, los intervalos entre cada cambio de aceite y las acciones que se han tomado con respecto a las fallas.

La información se obtuvo del historial del Diario de máquinas de mencionado guardacostas; es importante recalcar que estas fallas son las que se detectan por inspección VOSO, en virtud que la condición interna de las máquinas se desconoce; para lo cual en los próximos capítulos se tendrá un detalle de diversos análisis de aceite aplicados a las máquinas, con el fin de determinar el estado en que se encuentran internamente.

Tabla IV. **Historial de fallas, intervalos de drenaje de aceite y reparaciones asentadas en el diario de máquinas del GC-653 Azumanche, de junio 2012 hasta mayo 2015.**

FECHA DE REFERENCIA	HORAS DE SERVICIO	CAMBIOS DE ACEITE	RELLENO DURANTE HORAS DE SERVICIO (galones)		FALLAS PRESENTADAS DURANTE LA OPERACIÓN, DETECTABLES POR VOSO	ACCION REALIZADA
			Estribor	Babor		
10/06/2012	1881		0.5	0.5		
12/06/2012	1904				Daño en el retenedor de aceite, maquina Er	
08/08/2012	1960			0.25		
27/08/2012	1983		1	0.5		
06/09/2012	2023		0.25	0.25		
07/09/2012	2044		0.25	0.25		
24/10/2012	2044	CAMBIO DE ACEITE AMBAS				
HORAS TRABAJADAS		163	2	1.75		
20/01/2013	2048					Se realizo manto ambas maquinas, no se especifica que se hizo.
03/02/2013	2102		0.5	0.5	Se detecto fuga de aceite en el blower.	
04/02/2013	2102					Se desmonto el blower para cambio de empaque y abrazadera, en espera de
15/02/2013	2102				Picadura en el escape maq B	Se procedio a efectuar soldadura
19/02/2013	2145		1	1	Maq Br evacuando excesiva cantidad de	
02/03/2013	2180		1	1		Cambio de filtros primarios de combustibles.
04/03/2013	2205		0.25	0.25		

Continúa

A pesar de contar con la información del diario de máquinas, se puede constatar que no existen detalles específicos de cada situación referente al mantenimiento, y haciendo un conteo exacto de las horas de servicio de cada máquina, basados en mencionado documento, en varias ocasiones se pasó el tiempo de drenaje del aceite recomendado por el fabricante, sin quedar claro su realización o no. La información que brinda el diario de máquinas confirma que en la actualidad no se tiene conocimiento ni documentos que indiquen el estado interno de las máquinas, sino que únicamente se realizan cambios de piezas externos, pudiendo definir que hasta que ocurra una falla catastrófica se tendrá información del estado interno.

2. MÉTODO DE ANÁLISIS APLICADO AL ACEITE DE LAS MÁQUINAS DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL GC-653 AZUMANCHE

2.1. Método del análisis

El objeto de estudio del presente trabajo de graduación es la aplicación del mantenimiento predictivo a las máquinas principales del sistema de propulsión del GC-653 Azumanche, mediante la aplicación de la técnica de análisis de aceite usado, por lo que a partir de diciembre 2014 hasta junio 2015, se realizaron tomas de muestra de aceite usado por mencionadas máquinas, de forma esporádica, siendo enviadas al laboratorio, para la obtención de resultados que reflejen los parámetros generales del estado actual en que se encuentran dichos equipos.

El aceite corre el riesgo de contaminarse y oxidarse, desde el momento en que se destapa el recipiente del fabricante, de igual forma es vulnerable a contaminarse dependiendo del método utilizado para la extracción de la muestra.

2.1.1. Procedimiento para la extracción de la muestra

Las muestras fueron extraídas utilizando una bomba manual tipo vampiro, una manguera de plástico específica para cada muestra y un recipiente de plástico que va enroscado a dicha bomba, para evitar la contaminación. En la figura 7, se puede observar el equipo utilizado para la extracción de muestras.

Figura 7. Equipo utilizado para la extracción de aceite usado por las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche. Bomba tipo Vampiro.



Fuente: elaboración propia.

Antes de extraer el aceite usado, se verifica que las máquinas se mantengan en servicio durante un lapso mínimo de 45 minutos, no dejando pasar más de 5 minutos para realizar el procedimiento después de sacarlas de servicio; esto se realiza con el objetivo que las partículas de desgaste y demás contaminantes que pudieran presentarse en el aceite se encuentren en suspensión, favoreciendo los resultados del análisis de laboratorio.

En cada toma de muestra se coordina con el maquinista del guardacostas, y en compañía de él se ingresa al cuarto de máquinas a realizar el procedimiento de extracción en cada una de las máquinas.

Una vez obtenida cada muestra, se procede a etiquetar el recipiente antes de ser enviado al laboratorio, con la información pertinente para su identificación, así como se muestra en la tabla V.

Tabla V. **Etiqueta utilizada para la identificación de las muestras de aceite usado enviadas al laboratorio**

EQUIPO	FECHA DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	MARCA	MODELO	HORAS TOTAL TRABAJADAS
MÁQUINA 1	05-JUNIO- 2015.	DETROIT DIESEL	8V 92TA	3328
HORAS TRABAJADAS DESPUÉS DE SU ÚLTIMO CAMBIO DE ACEITE		LUBRICATE	CAPACIDAD DEL CARTER	FILTRO UTILIZADO
80		SAE 40 CF-2 DELO 400	7 GAL.	WIX 51970

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Especificaciones técnicas del aceite Chevron SAE 40 Delo 400.**

Grado SAE	10W	20	30	40	50
Número de producto	235109	235117	235125	235133	235119
Número MSDS	6711	6711	6711	6711	6711
Gravedad API	30,6	30,7	29,0	28,9	28,0
Viscosidad, Cinemática cSt a 40°C cSt a 100°C	55 7,0	68 8,9	105 12,1	146 14,9	225 18,4
Viscosidad, Arranque en Frío, °C/Poise	-25/64,4	—	—	—	—
Índice de Viscosidad	109	104	104	102	98
Punto Inflamación, °C(°F)	221(430)	238(460)	242(466)	250(482)	254(489)
Punto de Fluidez, °C(°F)	-32(-26)	-30(-22)	-31(-24)	-33(-28)	-31(-24)
Ceniza Sulfatadas, p %	1,18	1,18	1,35	1,35	1,35
Número de Base, ASTM D 2896	9,2	9,2	10,2	10,2	10,2
Fósforo, p %	0,114	0,114	0,116	0,116	0,116
Cinc, p %	0,127	0,127	0,127	0,127	0,127

Los datos de prueba típicos son sólo valores promedio. Durante la fabricación normal, son de esperarse variaciones menores que no afectan el rendimiento del producto.

Fuente: CHEVRON DELO® 400 (2015)

Las especificaciones técnicas referente a las características físico-químicas del aceite SAE 40 Delo 400, que es el aceite que actualmente usan las máquinas, se muestran en la tabla VI; sin embargo, se consideró realizar un análisis a una muestra de aceite nuevo, extrayéndola momentos antes de ser rellenadas las máquinas, para establecer límites más reales que ayuden en la interpretación de los resultados del análisis de aceite usado.

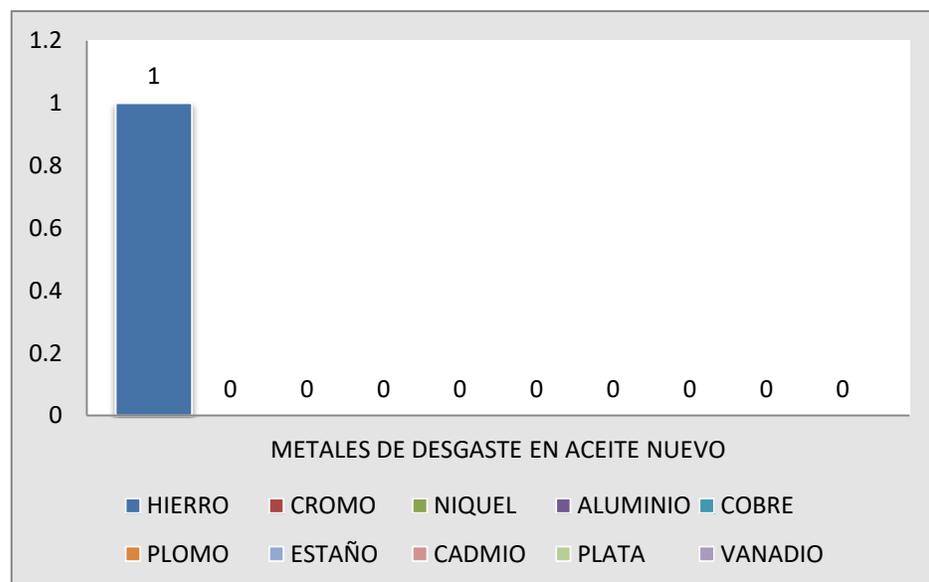
Entre los parámetros principales del aceite SAE 40 DELLO 400, que se describen en la tabla anterior, se encuentra la viscosidad, la cual debe estar en el rango de los 14.9 Cts; también se muestran ciertos metales que tiene el aceite nuevo, los cuales definitivamente si aumentan indicarán la presencia de algún desgaste en las piezas del motor, y si disminuyen, indicarán degradación del aceite lubricante.

A continuación se muestran los resultados graficados de un análisis de aceite realizado a aceite nuevo, el cual sin duda alguna saldrá sin contaminación ni degradación. El objetivo de hacer este análisis es de comparar con los análisis de aceite ya en uso, y poder darse cuenta de la degradación y contaminación que este va sufriendo conforme las horas de uso.

Las ilustraciones del análisis de aceite usado se colocaron en el siguiente orden: Metales de desgaste, metales contaminantes, fuente de varios metales, metales aditivos, contaminantes y propiedades del líquido.

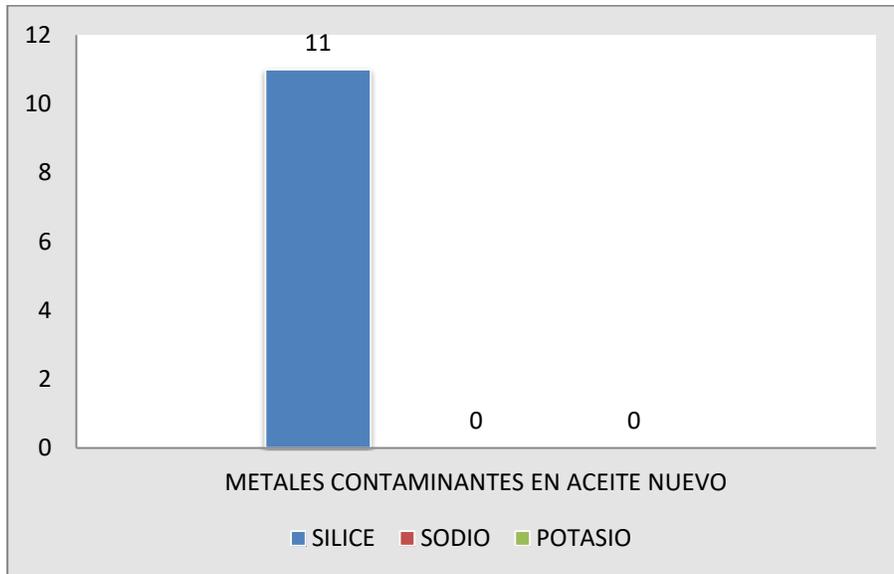
RESULTADO DE ANÁLISIS DE ACEITE NUEVO

Figura 8. **Partes por millón de metales de desgaste**



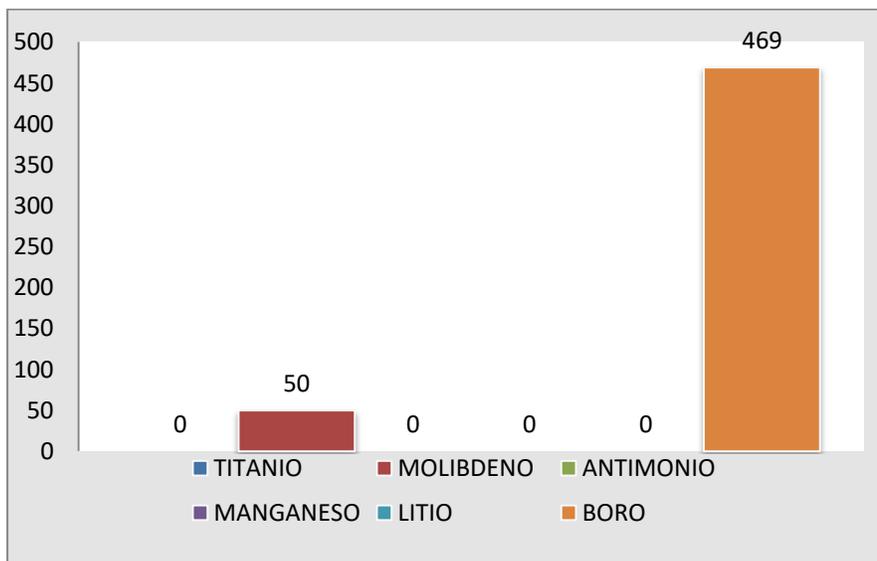
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Figura 9. **Partes por millón de metales contaminantes**



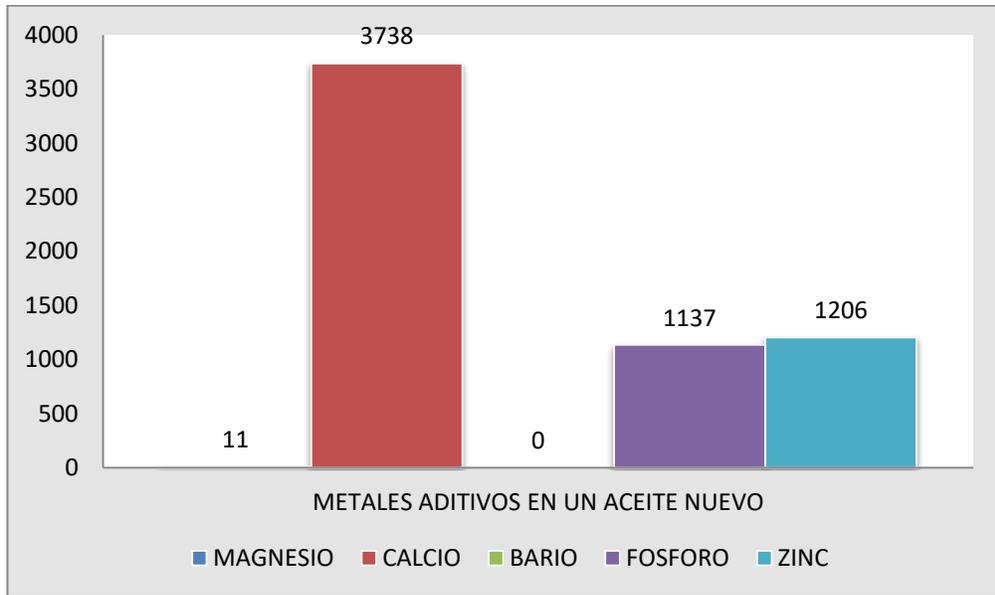
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Figura 10. **Partes por millón de varios metales**



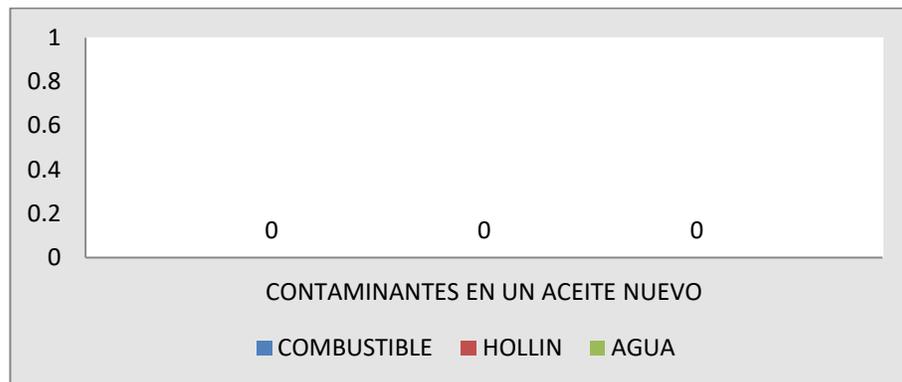
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Figura 11. Partes por millón de metales aditivos



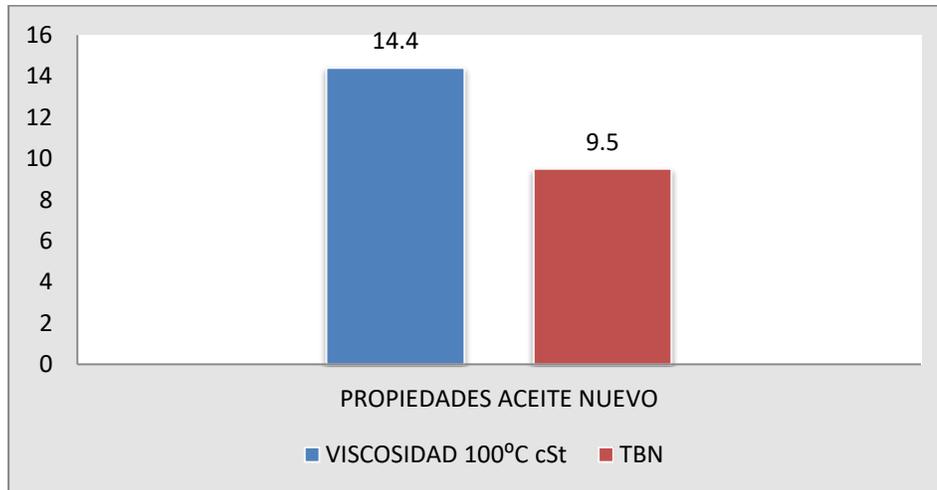
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Figura 12. Porcentaje de volumen de contaminantes



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Figura 13. **Propiedades del líquido**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

En la figura 8 no se tienen metales de desgaste, pues el aceite no se ha introducido dentro de ninguna máquina de combustión interna, sin embargo en la figura 9 se puede observar la presencia de sílice, esto es debido principalmente al manejo del aceite por parte del personal de mecánicos, ya que puede contaminarse con polvo. Las figuras 10 y 11 reflejan la presencia de metales aditivos que son utilizados por el aceite nuevo, los cuales le dan propiedades específicas al estar dentro de la máquina. En la ilustración 12 se observa que no hay presencia de algún contaminante como puede ser combustible, hollín y agua, esto confirma que el aceite no ha sido usado, y en la ilustración 13 se muestra que la viscosidad y el TBN están en parámetros aceptables para un aceite nuevo, no se ha perdido ninguna de las propiedades.

El manual del fabricante del motor indica ciertos parámetros permisibles de contaminación del lubricante, sin embargo por la antigüedad que tienen las máquinas, no incluye todos los parámetros que actualmente un análisis de laboratorio brinda.

La tabla VII indica los parámetros que un motor Detroit Diésel, puede tener con respecto a los límites máximos de contaminación, haciendo una comparación con motores Cummins y motores Caterpillar; se puede observar que los rangos varían considerablemente de un motor a otro.

Tabla VII. Límites permisibles de desgaste en diferentes tipos de motores

METALES	CUMMINS/ppm	CATERPILLAR/ppm	DETROIT/ppm
HIERRO	100	84	150
COBRE	45	20	90
PLOMO	100	100	No especifica
ALUMINIO	15	15	No especifica
CROMO	15	15	No especifica
ESTAÑO	20	20	No especifica
SODIO	40	20	50
BORO	20	25	20
SILICIO	10	15	No especifica
AD VISCOSID	+20% a - 10%	+1grad SAE o 4cSt del nuevo a 100°C	+40% a - 15%
AGUA	0.25% max	0.20%max	0.30%max
TBN	1.0 KOH/g min	2.0KOH/gmin. 50% del original o igual al TAN	1.0KOH/g min
COMBUST IBLE	5%max	5%max	2.5%max
GLICOL	0.1%max	0.1%max	0.1%max

Fuente: WIDMAN, Richard. http://widman.biz/boletines_informativos.

Consulta: Marzo 2016

2.2. Resultados de los análisis de laboratorio efectuados a la máquina de estribor del Guardacostas 653 Azumanche

Intervalos de muestras

La muestra de aceite usado para la realización del primer análisis de laboratorio fue extraída el 04 de diciembre 2014, contando la máquina con 2970 horas trabajadas después de su última repotenciación y 138 horas después de su último cambio de aceite.

La muestra de aceite usado para la realización del segundo análisis de laboratorio fue extraída el 19 de febrero 2015, contando la máquina con 3082 horas trabajadas después de su última repotenciación y 82 horas después de su último cambio de aceite.

La muestra de aceite usado para la realización del tercer análisis de laboratorio fue extraída el 20 de marzo 2015, contando la máquina con 3130 horas trabajadas después de su última repotenciación y 130 horas después de su último cambio de aceite; fue realizada 48 horas después del segundo análisis de laboratorio, antes del relleno correspondiente a las 150 horas.

La muestra de aceite usado para la realización del cuarto análisis de laboratorio fue extraída el 08 de mayo 2015, contando la máquina con 3288 horas trabajadas después de su última repotenciación y 46 horas después de su último cambio de aceite; es importante hacer notar que el último cambio de aceite que debió haber sido en la hora 3150 trabajada después de su última repotenciación, no se realizó en ese período, sino hasta la hora 3242, extendiendo el cambio 92 horas.

La muestra de aceite usado para la realización del quinto análisis de laboratorio fue extraída el 05 de junio 2015, contando la máquina con 3368 horas trabajadas después de su última repotenciación y 80 horas después de su último cambio de aceite.

Las tablas correspondientes a los cinco análisis de aceite, se encuentran divididas en cuatro grupos: Metales de desgaste y de contaminación; fuente de varios metales; metales aditivos; contaminantes y propiedades del líquido.

Tabla VIII. **Resultados obtenidos, metales de desgaste y de contaminación, máquina de estribor**

PARTES POR MILLÓN, METALES DE DESGASTE					
METAL	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4	ANÁLISIS 5
HIERRO	46	23	39	34	35
CROMO	7	2	4	4	4
NIQUEL	0	0	0	0	0
ALUMINIO	1	0	0	0	0
COBRE	8	3	7	3	3
PLOMO	1	1	0	0	1
ESTAÑO	6	6	4	10	8
CADMIO	0	0	0	0	0
PLATA	0	0	0	0	0
VANADIO	0	0	0	0	0
SILICE	6	7	8	7	6
SODIO	5	2	2	1	1
POTASIO	0	0	0	1	1

Fuente: elaboración propia.

La tabla VIII muestra la presencia de metales de desgaste y contaminantes en los cinco análisis realizados al aceite de la máquina de estribor del guardacostas 653 Azumanche; se observa la presencia de hierro, cromo y bronce, lo que nos indica que existe un ligero desgaste en el bloque de cilindros, engranajes, anillos y cojinetes; la presencia de sílice es debido al polvo que puede ingresar por el sistema de admisión; el estaño se encuentra levemente elevado lo que indica posible desgaste en anillos y pistones, sin embargo los resultados de la tabla VIII no son condenatorios para el funcionamiento del lubricante dentro de la máquina.

Tabla IX. **Resultados obtenidos, varios metales y contaminantes**

PARTES POR MILLÓN, METALES CONTAMINANTES					
METAL	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4	ANÁLISIS 5
TITANIO	0	0	0	0	0
MOLIBDENO	34	36	34	21	21
ANTIMONIO	0	0	0	0	0
MANGANESO	0	0	0	0	0
LITIO	0	0	0	0	0
BORO	0	302	259	164	159

Fuente: elaboración propia.

La tabla IX indica la presencia de los diferentes metales que pueden encontrarse diluidos en el aceite lubricante; indicando únicamente la presencia de molibdeno y boro, los cuales son utilizados como aditivos antifricción y anti desgaste; en el análisis de aceite nuevo la cantidad de molibdeno y boro era mayor; después de las horas de uso del aceite, se observa que ha disminuido su cantidad, pero aún se encuentra presente; esta tabla representa límites normales de varios metales; sin embargo, su disminución puede ser debida a la presencia de agua y combustible en el aceite lubricante.

En caso que en el análisis de aceite nuevo no hubiera existido la presencia de molibdeno ni de boro; en esta ilustración su procedencia sería por desgaste en los anillos de pistones, y por alguna fuga de líquido refrigerante.

Tabla X. **Resultados obtenidos, metales aditivos**

PARTES POR MILLON, METALES ADITIVOS					
METAL	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4	ANÁLISIS 5
MAGNESIO	180	293	58	908	809
CALCIO	2718	3209	2735	2015	2057
BARIO	0	0	0	0	0
FOSFORO	848	1031	762	799	796
ZINC	946	1130	899	933	899

Fuente: elaboración propia.

El calcio y el magnesio son aditivos detergentes y dispersantes utilizados por el aceite, el fosforo y zinc son aditivos anti desgaste ya que forman el dialquildiofosfato, que es una capa anti desgaste que evita el excesivo roce de metal con metal. En la Tabla X se observa que la presencia de todos los metales aditivos disminuye con respecto a la de la ilustración 12, donde el aceite se encuentra nuevo. Estos metales permiten mantener limpio el motor, y llevar los grumos de hollín hacia los filtros correspondientes, por eso es necesario mantener estos controles.

El resultado del cuarto análisis de laboratorio, llama la atención, este se realizó 48 horas de trabajo después de un cambio de aceite, y la disminución del calcio es poco alarmante, porque se puede presumir que el aceite no está haciendo correctamente la limpieza en el interior del motor; el incremento del magnesio en comparación con las 11ppm que se indican en el aceite nuevo puede ser el resultado de uso de agua de río como líquido refrigerante.

Tabla XI. **Resultados obtenidos, volumen contaminantes y propiedades del aceite**

PORCENTAJE DE VOLUMEN DE CONTAMINANTES					
METAL	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4	ANÁLISIS 5
COMBUSTIBLE	15	0.9	15	0.9	0.9
HOLLIN	1.5	1.4	1.9	1.9	1.4
AGUA	0.3	2	0.9	0.9	0.9
PROPIEDADES DEL ACEITE					
VISCOCIDAD A 100°C	10.1	15.3	10.2	16.4	16
TBN	5.5	7.23	5.39	5.7	6

Fuente: elaboración propia.

La presencia de combustible se debe principalmente a fugas en líneas de combustible, anillos desgastados, fugas de inyectores, sellos y bomba de combustible; la presencia de agua es debida a fugas en el sistema de refrigeración de la máquina y condensación del aire de admisión, y el hollín a que la función detergente y dispersante del aceite ya no la está cumpliendo a cabalidad. La viscosidad es inversamente proporcional a la presencia de otros líquidos en el aceite, dígame aceite y combustible, sin embargo con la presencia de grumos esta puede incrementarse; el número básico total es directamente proporcional a la presencia de aditivos detergentes y dispersantes en el aceite

A pesar que la viscosidad todavía se mantiene, seguramente esta disminuirá considerablemente, debido al excesivo porcentaje de combustible y agua que se encuentran diluidos en el aceite; el número básico total se encuentra bajo, lo que indica que los aditivos detergentes y dispersantes no se encuentran realizando su labor correctamente. Al observar esta contaminación, se deberá prever el desgaste que existirá en las piezas móviles del motor, que representadas en la tabla VIII, todavía no es crítico.

En el análisis 1 y 3 de la tabla XI, referente al combustible, se puede observar que está en un 15%, lo cual es altamente crítico pues lo permisible para un motor Detroit Diésel, según la tabla VII, es de 2.5%.

En el análisis 2, se puede observar que el porcentaje de agua aumenta, esto produce la oxidación los lubricantes, así como la corrosión de ciertas partes de la máquina y la formulación de lodos y barnices, lo que se observa con el aumento de la viscosidad. Al mismo tiempo la gráfica presenta un TBN abajo del parámetro que indicaba el aceite nuevo, esto es debido a la misma oxidación que se está presentando en el interior de la máquina. Con este resultado se recomendó una pronta programación para sacar de servicio la máquina y revisar cuidadosamente la posible entrada de agua y al mismo tiempo realizarle su cambio de aceite lubricante. Se considera verificar líneas de combustible, inyectores, sistema de refrigeración y calidad del combustible.

2.3. Resultados de los análisis de laboratorio efectuados a la máquina de babor del Guardacostas 653 Azumanche

Intervalos de tiempo

La muestra de aceite usado para la realización de este análisis de laboratorio fue extraída el 04 de diciembre 2014, contando la máquina con 2970 horas trabajadas después de su última repotenciación y 138 horas después de su último cambio de aceite.

La muestra de aceite usado para la realización de este análisis de laboratorio fue extraída el 19 de febrero 2015, contando la máquina con 3082 horas trabajadas después de su última repotenciación y 82 horas después de su último cambio de aceite.

La muestra de aceite usado para la realización de este análisis de laboratorio fue extraída el 20 de marzo 2015, contando la máquina con 3130 horas trabajadas después de su última repotenciación y 130 horas después de su último cambio de aceite; fue realizada 48 horas después del segundo análisis de laboratorio, antes del relleno correspondiente a las 150 horas; se considera como dato importante que se utilizaron 3 galones de aceite para rellenar las pérdidas que presentó la máquina, antes de la toma de muestra.

La muestra de aceite usado para la realización de este análisis de laboratorio fue extraída el 08 de mayo 2015, contando la máquina con 3288 horas trabajadas después de su última repotenciación y 46 horas después de su último cambio de aceite; es importante hacer notar que el último cambio de aceite que debió haber sido en la hora 3150 trabajada después de su última repotenciación, no se realizó en ese período, sino hasta la hora 3242, extendiendo el cambio 92 horas.

La muestra de aceite usado para la realización de este análisis de laboratorio fue extraída el 05 de junio 2015, contando la máquina con 3368 horas trabajadas después de su última repotenciación y 80 horas después de su último cambio de aceite.

Las tablas correspondientes a los cinco análisis de aceite, se encuentran divididas en cuatro grupos: Metales de desgaste y de contaminación; fuente de varios metales; metales aditivos; contaminantes y propiedades del líquido.

Tabla XII. **Resultados obtenidos, metales de desgaste y de contaminación**

PARTES POR MILLÓN, METALES DE DESGASTE					
METAL	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4	ANÁLISIS 5
HIERRO	29	28	24	44	45
CROMO	3	3	2	6	5
NIQUEL	0	0	0	0	0
ALUMINIO	4	0	0	0	0
COBRE	3	5	3	5	5
PLOMO	0	1	0	0	2
ESTAÑO	6	4	5	4	4
CADMIO	0	0	0	0	0
PLATA	0	0	0	0	0
VANADIO	0	0	0	0	0
SILICE	7	7	10	6	5
SODIO	2	3	3	2	1
POTASIO	0	0	0	1	1

Fuente: elaboración propia.

La tabla XII indica la presencia de ciertos metales de desgaste de las piezas internas de la máquina; sin embargo, los límites en los que se encuentran son aceptables, no generando ninguna alarma para realizar un paro programado; el estaño se encuentra en pistones y anillos, utilizado para recubrir ciertas piezas, el control de este metal es importante seguirlo monitoreando. Se observa en el cuarto y quinto análisis incremento en hierro, lo cual hace necesario observar otros parámetros de mencionados análisis, ya que se puede suponer presencia de agua y disminución de viscosidad.

Tabla XIII. **Tabla XIII Resultados obtenidos, varios metales y contaminantes**

PARTES POR MILLÓN, METALES CONTAMINANTES					
METAL	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4	ANÁLISIS 5
TITANIO	0	0	0	0	0
MOLIBDENO	36	36	35	14	12
ANTIMONIO	0	0	0	0	0
MANGANESO	0	0	0	0	0
LITIO	0	0	0	0	0
BORO	0	306	265	92	76

Fuente: elaboración propia.

La tabla XIII indica la presencia de los diferentes metales que pueden encontrarse diluidos en el aceite lubricante, los cuales en el presente caso son el molibdeno y el boro; en el análisis 1 el molibdeno en relación a las cantidades del aceite nuevo que se muestra en la ilustración 10 disminuyó un 28%, pero el boro disminuyó un 100%; en el cuarto y quinto análisis el molibdeno disminuyó un 72% y un 76%, mientras que el boro disminuyó 80.3% y 83.7% respectivamente. El molibdeno se utiliza como aditivo antifricción y antioxidante en algunos lubricantes; y el boro como aditivo inhibidor, esto confirma el incremento de hierro como metal contaminante en los análisis 4 y 5 de la tabla XIII.

Tabla XIV. **Resultados obtenidos, metales aditivos**

PARTES POR MILLÓN, METALES ADITIVOS					
METAL	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4	ANÁLISIS 5
MAGNESIO	352	68	366	762	809
CALCIO	2898	3147	2848	1346	1232
BARIO	0	0	0	0	0
FOSFORO	955	957	875	540	505
ZINC	1058	1048	1028	657	584

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIV, se muestra una reducción en las cantidades de los metales aditivos presentes en el aceite lubricante con respecto a la ilustración 11 referente al aceite nuevo; el calcio y magnesio son aditivos detergentes y dispersantes cuya función principal es mantener limpio los ductos del sistema de lubricación, llevando hasta los filtros las suciedades que pudieran encontrar. El fósforo y zinc forman el dialquilditiofosfato, que es una capa anti desgaste, la cual al momento de encontrar el material, se adhiere a este, evitando así que exista roce de metal con metal.

En el análisis 4 y 5 se observa la disminución del calcio en un 63% y 67%, el fósforo 52% y 55% y el zinc en un 46% y 51%, con respecto a la ilustración 11 del aceite nuevo; esto puede ser el resultado de una dilución por agua o por combustible; se puede generar una alarma, porque los detergentes, dispersantes y antifricción, están por debajo del 50% de su cantidad original; lo que seguramente conllevará a una posible falla catastrófica.

Tabla XV. **Resultados obtenidos. Volumen de contaminantes y propiedades del aceite**

PORCENTAJE DE VOLUMEN DE CONTAMINANTES					
METAL	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4	ANÁLISIS 5
COMBUSTIBLE	0.9	15	0.9	15	15
HOLLIN	1.1	1.3	1.4	1.4	1.3
AGUA	0.09	0.9	0.09	0.09	0.09
PROPIEDADES DEL ACEITE					
VISCOSIDAD A 100°C	14.4	10.7	15.4	7.5	7.4
TBN	6.48	6.59	6.4	4.33	4.19

Fuente: elaboración propia.

La tabla XV muestra la presencia de contaminantes y propiedades específicas del aceite, entre los contaminantes que se miden en el análisis está el combustible, hollín y agua, los cuales se observan en la ilustración 12 del aceite nuevo y no hay presencia. Para los motores Detroit Diésel el 2.5% de combustible es el máximo permitido, sin embargo en el análisis 2, 4 y 5 se observa que sobrepasa ese límite en un 750%, lo cual trabaja indirectamente proporcional con la viscosidad, afectando definitivamente el funcionamiento interno de las piezas móviles y confirmando la información de las tablas XII, XIII y XIV referente al incremento del hierro y disminución de aditivos del lubricante.

La presencia excesiva de combustible genera la formación de hollín, esto se debe a la falta de una combustión adecuada en el bloque de cilindros. El hollín a su vez genera lodos y barnices que se ven reflejados en el aumento de la viscosidad del aceite lubricante; el TBN disminuye debido a un alto contenido de azufre en el combustible, algún posible sobrecalentamiento, o el uso de un aceite inadecuado. Se recomienda evaluar el sistema de combustible principalmente los inyectores para verificar que la atomización se está realizando adecuadamente y no existe goteo de combustible en alguno de los cilindros.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL ESTADO DE LAS MÁQUINAS PROPULSORAS DEL GC-653 AZUMANCHE

A partir de diciembre del 2014 hasta junio del 2015, se obtuvieron 5 muestras de aceite usado por cada una de las dos máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, las cuales fueron enviadas a un laboratorio para realizar el respectivo análisis acerca de la presencia de metales de desgaste, metales contaminantes, metales aditivos, contaminantes y propiedades del aceite, para poder crear un patrón del estado en que dichas máquinas se encuentran, basado en indicadores reales que brinda el análisis de aceite usado.

En el presente capítulo se interpretan los cinco resultados del análisis de cada máquina, reflejando un patrón de las tendencias de cada una, demostrando de esta forma las bondades que brinda el mantenimiento predictivo, mediante el uso de la técnica de análisis de aceite usado. Las gráficas que se presentan en este capítulo se refieren a todos los análisis de aceite que fueron realizados en los siguientes periodos de tiempo:

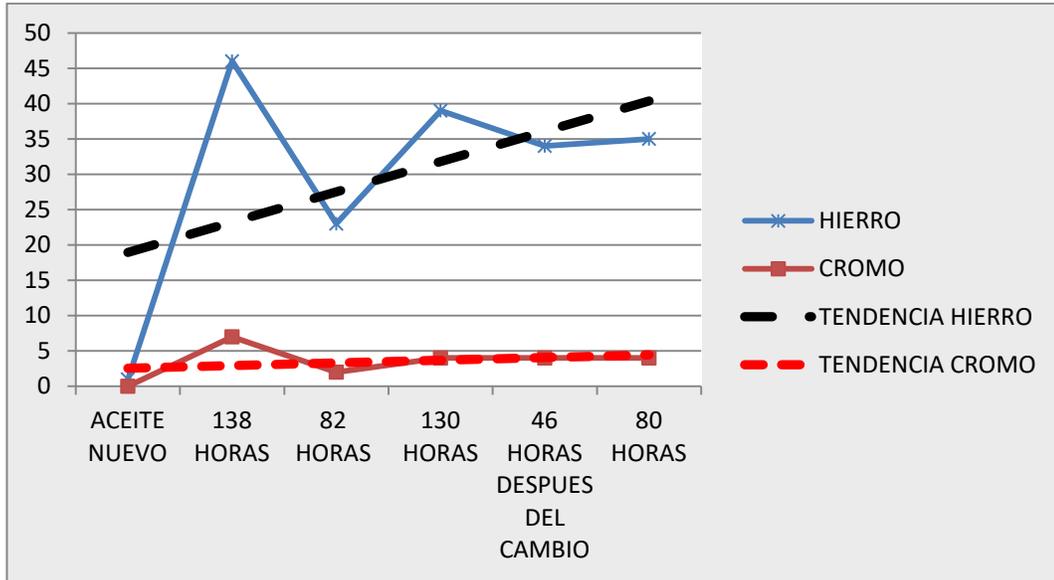
- 138 horas después de un cambio de aceite.
- 82 horas después de un cambio de aceite.
- 130 horas después de un cambio de aceite, y 48 horas después del anterior.
- 46 horas después de un cambio de aceite.
- 80 horas después de un cambio de aceite, y 34 horas después del anterior.

3.1. Tendencias de la máquina No. 1 estribor

Los resultados de cada análisis se agruparon para poder determinar las tendencias específicas referentes al comportamiento de cada uno de los parámetros, incluyendo el resultado del análisis del aceite nuevo.

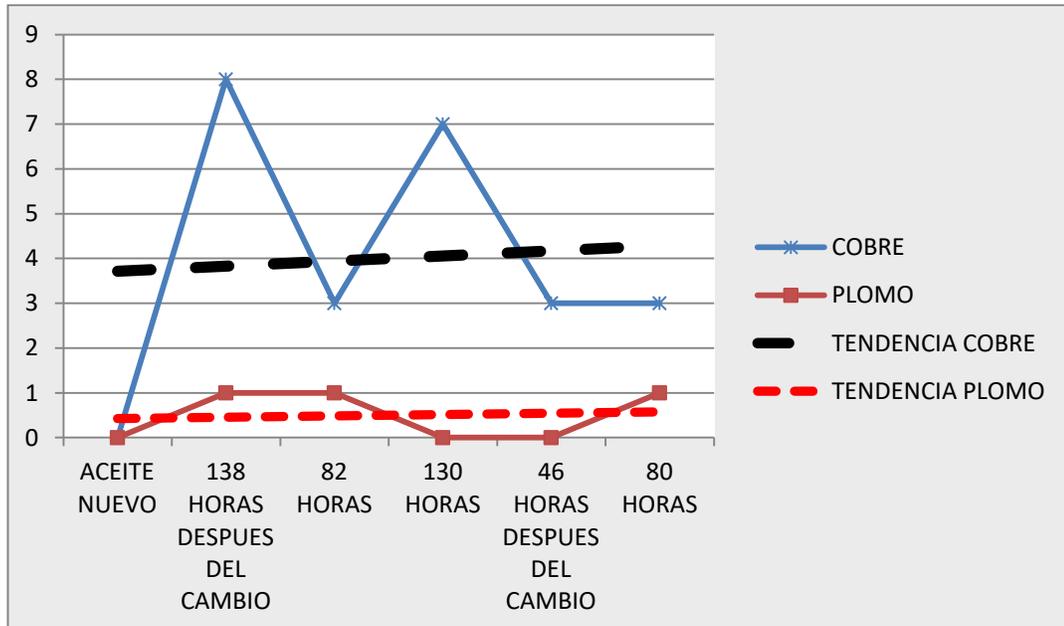
MÁQUINA DE ESTRIBOR, METALES DE DESGASTE

Figura 14. **Tendencia hierro y cromo**



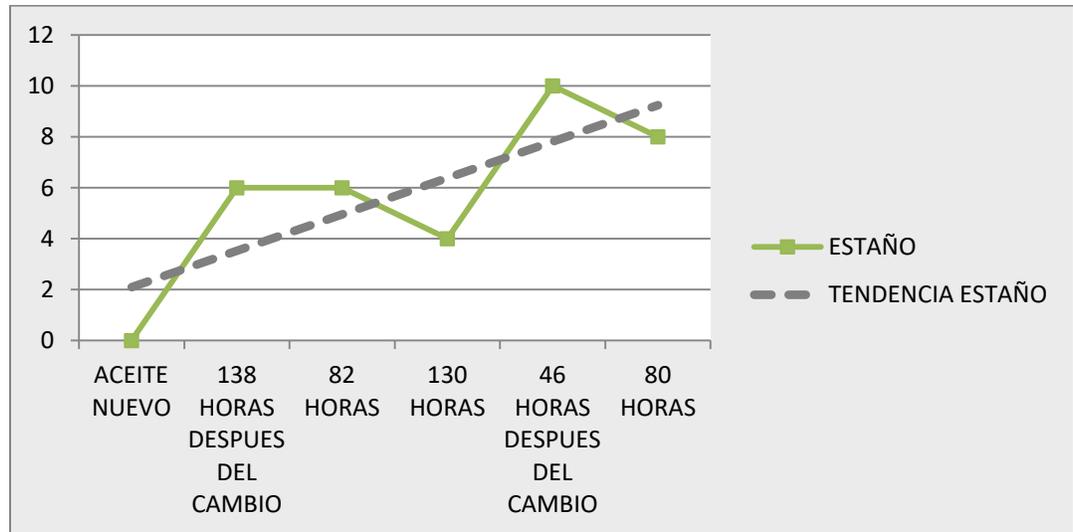
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Figura 15. **Tendencia cobre y plomo**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Figura 16. **Tendencia estaño**



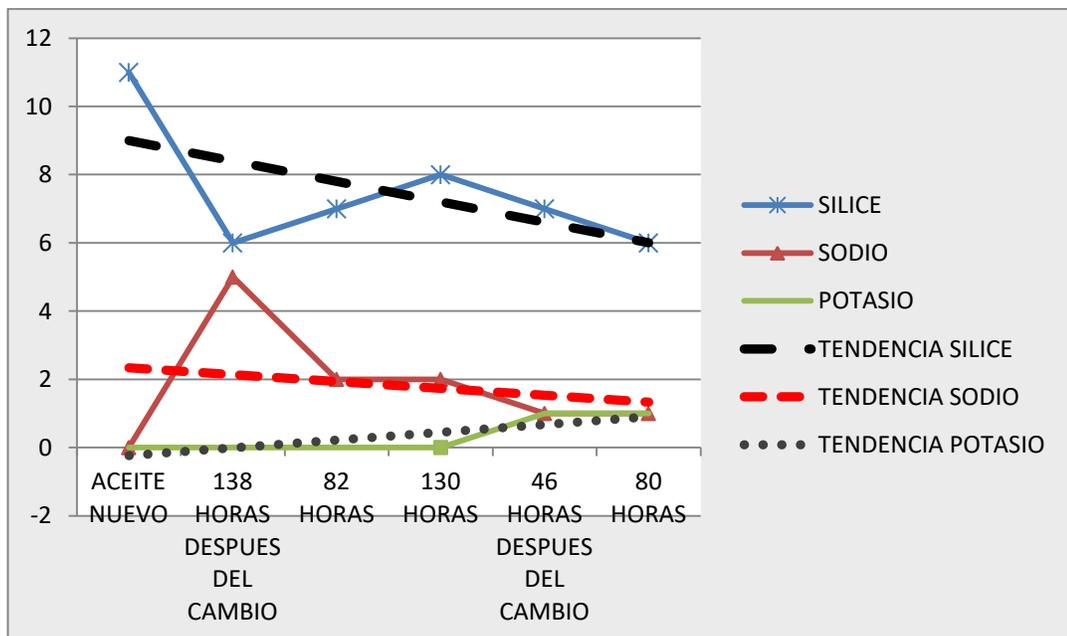
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

La figura 14 refleja que la tendencia del hierro en el aceite lubricante es de irse incrementando conforme las horas de servicio; este puede provenir del bloque de cilindros, anillos, engranaje del cigüeñal, eje de levas, tren de válvulas, engranaje bomba de aceite y pasador del pistón; por lo que es importante poner atención a la presencia de dicho metal; la tendencia del cromo se mantiene estable a pesar que en el primer análisis de aceite usado se ve un nivel anormal, esto puede indicar desgaste en los anillos del pistón; la figura 15 indica que la tendencia del cobre y plomo se mantiene estable, sin embargo si se incrementara es necesario revisar cojinetes principales, de biela y la tubería principal del sistema de enfriamiento. A pesar que el fabricante no indica límites condinatorios acerca del estaño, la figura 16 muestra que la presencia de este es alarmante, debido que los fabricantes de motores Cummins y Caterpillar manejan un límite permisible de 0 a 2 ppm, la presencia del estaño se debe al uso de las máquinas a bajas revoluciones y con elevada carga, ocasionando desgaste en cojinetes; la tendencia del estaño es a irse incrementando constantemente

Se observa claramente que la tendencia de los metales de desgaste es en general de irse incrementando conforme pasan las horas de servicio de la máquina, situación a la que hay que poner atención pues esto reduce la capacidad de los aditivos del lubricante e incrementa el desgaste.

MÁQUINA DE ESTRIBOR, METALES CONTAMINANTES

Figura 17. Tendencias de sílice, sodio y potasio



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

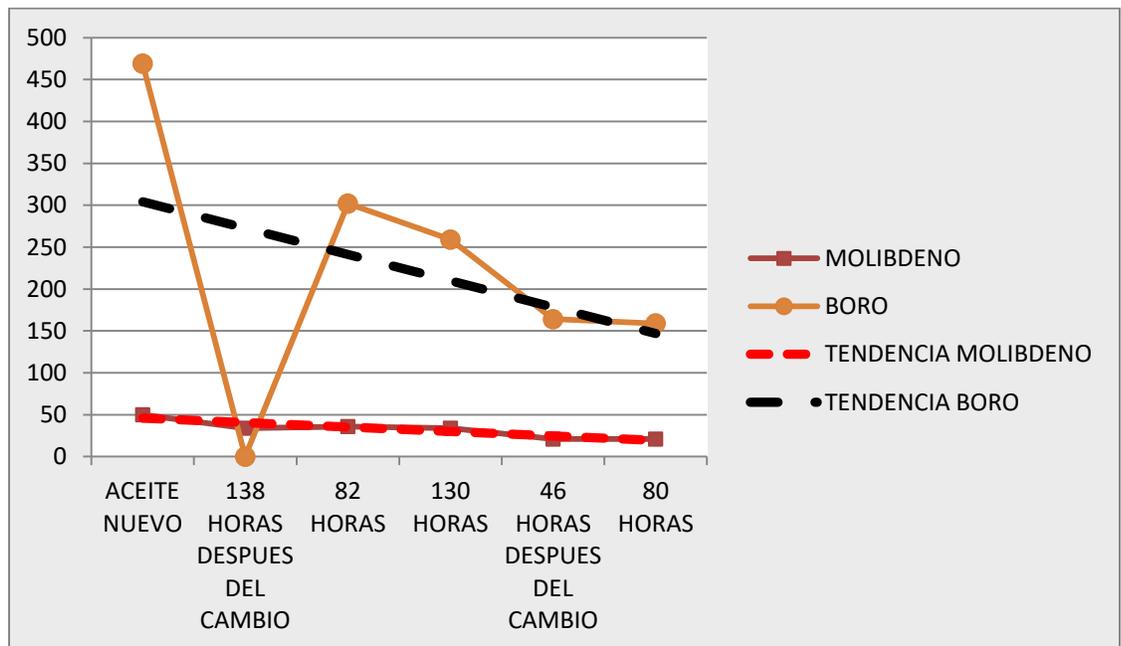
En la figura 17, se puede observar que la presencia de Silicio en la muestra del aceite nuevo es mayor a las demás, esto seguramente se debió a que la forma en que se obtuvo esta muestra sufrió mucha contaminación, sin embargo el comportamiento de este contaminante se encuentra en parámetros aceptables, pudiendo determinar que los filtros de aire están cumpliendo adecuadamente su función. La existencia de sodio y potasio en el aceite se debe principalmente al medio ambiente donde trabajan los equipos, o debido a la filtración de agua en el sistema de lubricación; se puede notar el incremento del sodio en el primer análisis de aceite usado; hay que verificar los niveles de

dilución con agua, en caso contrario se debe a que este equipo trabaja en todo momento en un ambiente salino.

La tendencia de los metales contaminantes es a disminuir, dependiendo principalmente del cuidado que se le dé al aceite nuevo y el método utilizado para el relleno de cada una de las máquinas.

MÁQUINA DE ESTRIBOR, FUENTE DE VARIOS METALES

Figura 18. **Tendencias del Molibdeno y Boro**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

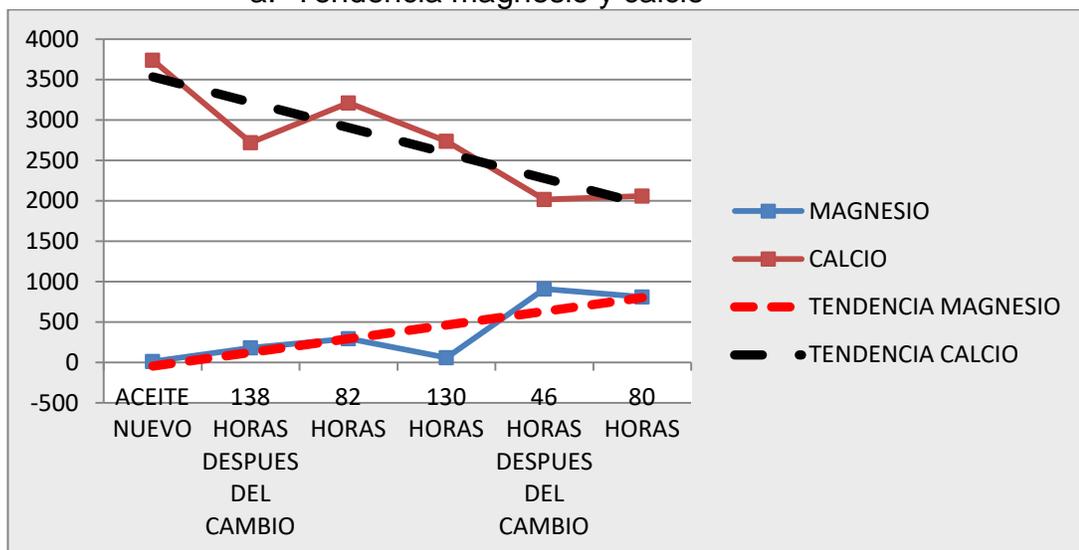
El Boro es un inhibidor de la corrosión, el cual según la figura 18 tiene una tendencia a disminuir conforme las horas de servicio de la máquina, esto se puede observar a partir del segundo análisis de aceite, en virtud que en el primero, 138 horas después del cambio de aceite, no se realizó el conteo de partículas de este metal. El molibdeno trabaja como un aditivo del lubricante, el cual se puede observar al igual que el boro, disminuye conforme las horas de servicio de la máquina. El análisis comparativo mediante esta ilustración brinda

al personal de mantenimiento las tendencias de los metales aditivos como lo son el boro y molibdeno, conforme las horas de servicio de la máquina tienden a bajar, lo cual es importante prestarle atención para determinar la causa, o tomar medidas correctivas para evitar posibles fallas.

MÁQUINA DE ESTRIBOR, METALES ADITIVOS

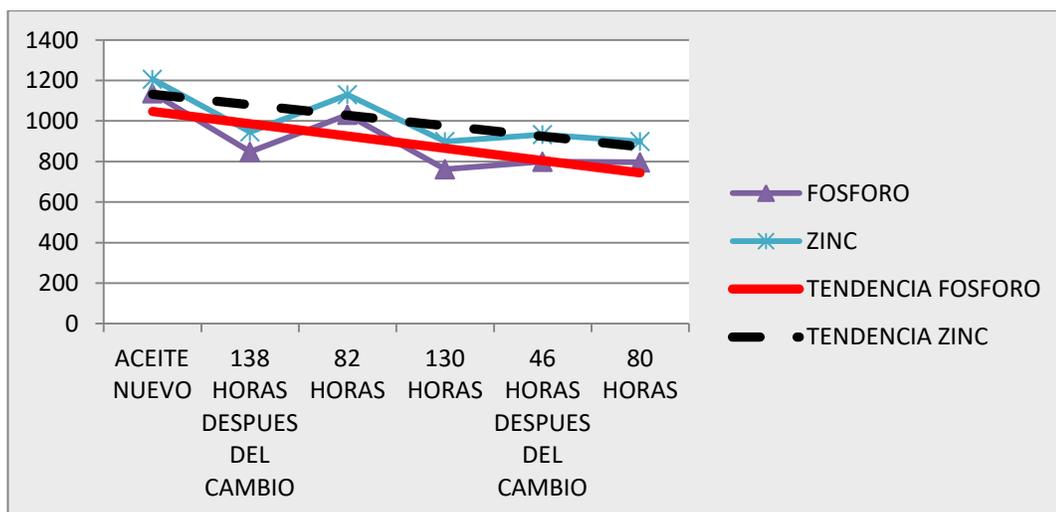
Figura 19. Metales aditivos

a. Tendencia magnesio y calcio



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

b. Tendencia de fosforo y zinc

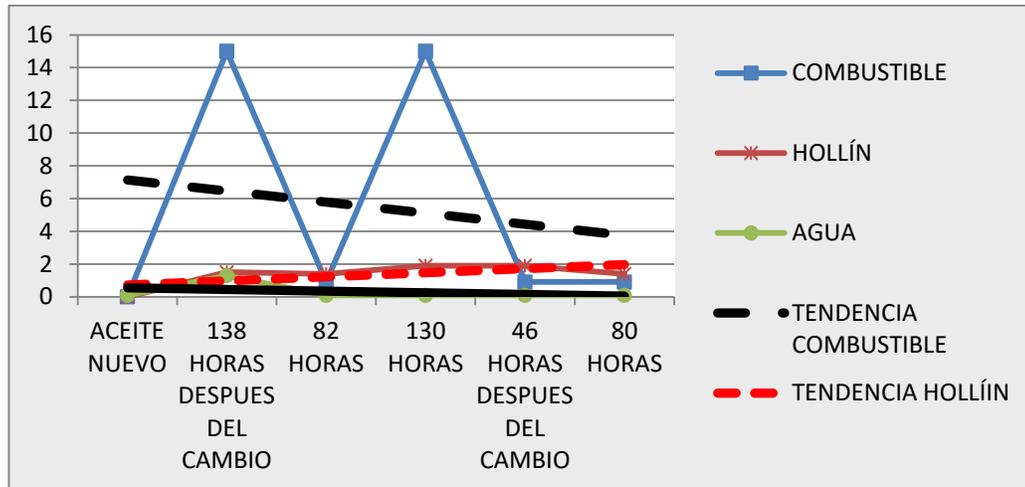


Fuente: Elaboración propia, empleando Power Point.

El manual del fabricante no indica los parámetros aceptables con respecto a los metales aditivos a que hace referencia las figuras 19 a y b, a partir del análisis de aceite nuevo, se pueden observar las tendencias que estos presentan. El magnesio y el calcio funcionan como aditivos detergentes y dispersantes; el bario como detergente y el fósforo y zinc como aditivos anti desgaste; se puede observar que el aceite lubricante utilizado por la máquina no tiene en su composición química la presencia del bario. Conforme se incrementan las horas de servicio de la máquina, disminuye la presencia de los aditivos una cantidad arriba del 20%; lo que indica que el aceite está perdiendo sus propiedades y no cumple con la protección correspondiente a la máquina, permitiendo la presencia de hollín y lodos de la combustión. El incremento del magnesio se debe probablemente a una fuga de agua, ya que en el aceite nuevo no existía presencia de dicho elemento. La tendencia de los metales aditivos es de disminuir conforme pasan las horas de servicio de la máquina, esta disminución se observa claramente, y para el personal de mantenimiento debe de generar alertas; no se puede permitir que la máquina no tenga detergentes y dispersantes; esto seguramente podrá conllevar a una falla catastrófica.

MÁQUINA DE ESTRIBOR, FUENTE DE CONTAMINANTES

Figura 20. **Tendencia del volumen de combustible, hollín y agua**



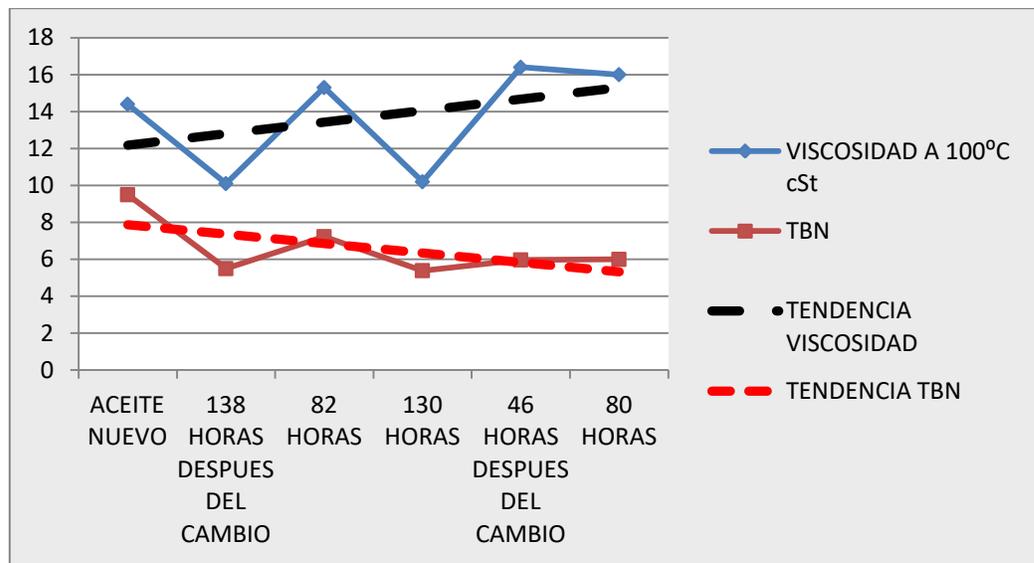
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

El fabricante indica los parámetros permitidos para la contaminación por agua, combustible y hollín, siendo para el agua <0.3%, combustible <2.5% y hollín <0.8%. Basado en las recomendaciones del fabricante, se puede observar en la figura 20 que la presencia de hollín se mantiene por arriba de 1% en todos los análisis realizados; el contenido del combustible en el primer y tercer análisis de aceite usado, se encuentra un 600% por arriba de lo permisible, y el contenido de agua en el primer análisis, 138 horas después de un cambio de aceite, se encuentra un 433% por arriba del límite establecido. Esta figura es muy determinante, pues definitivamente la presencia de estos contaminantes reduce tanto la viscosidad como el TBN, el alto contenido de hollín es la razón por la cual los aditivos detergentes y dispersantes se encuentran en disminución con el tiempo de servicio de la máquina; es necesario verificar el sistema de combustible debido que al pasar cierto periodo de tiempo el contenido de combustible es exagerado; la presencia de agua favorece la corrosión y herrumbre en las partes internas de la máquina, permitiendo junto al combustible, la presencia del desgaste entre las piezas.

La tendencia de los contaminantes es a irse incrementando conforme las horas de servicio de la máquina; esta condición es comprometedor, ya que afecta directamente las propiedades específicas del lubricante como lo son la viscosidad y el número básico total.

MÁQUINA DE ESTRIBOR, PROPIEDADES DEL ACEITE

Figura 21. **Viscosidad a 100°C en cSt, número básico total**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Los parámetros que indica el fabricante con respecto a la viscosidad y al número básico total, se encuentran en la tabla VI; siendo viscosidad a 100°C 14.9 cSt, y TBN 10.2. Se observa en la figura 21 que la viscosidad del aceite y el TBN, al cotejarlos con el contenido de combustible de la figura 20 son indirectamente proporcional, mientras el contenido de combustible aumenta, la viscosidad y el TBN disminuyen, permitiendo a su vez desgaste excesivo en las piezas, y degradación del aceite lubricante. La tendencia de la viscosidad y el TBN es a disminuir conforme incrementan los contaminantes, sin embargo si aumenta la presencia de grumos y hollín la viscosidad puede aumentar, pero esto produce más desgaste en las piezas móviles.

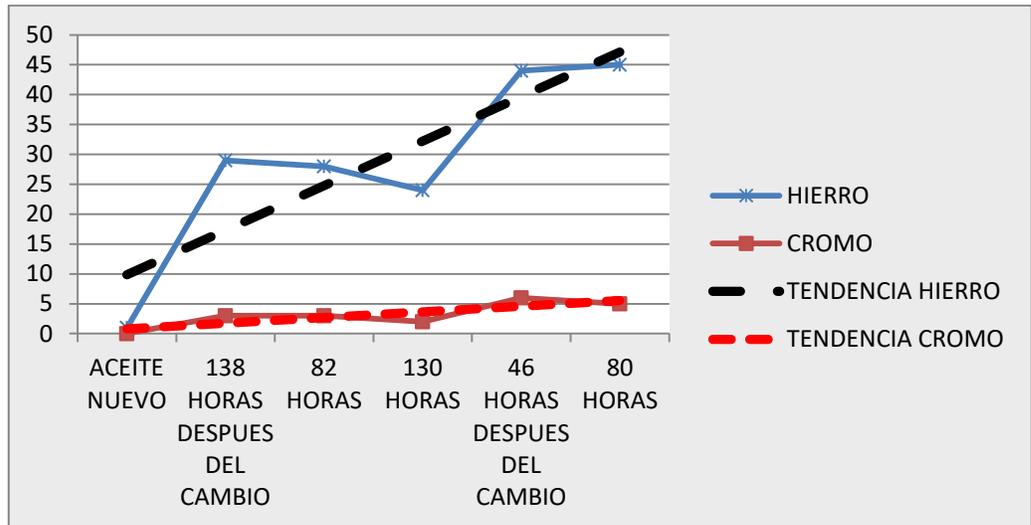
Como resultado del estado general de la máquina de Estribor, se determina que es necesario efectuar un paro programado, revisar todo el sistema de combustible, debido que en cierto periodo de tiempo el contenido de este aumenta, permitiendo a su vez la generación de hollín, la disminución del contenido de aditivos del lubricante, y el desgaste de las piezas. Debido al contenido de cromo, hierro, cobre y estaño, se hace necesario revisar el bloque de cilindros, los anillos del pistón, los cojinetes principales y de biela. Un factor común que presentan todas las ilustraciones referentes a esta máquina es que al llegar aproximadamente a las 120 horas de servicio, los niveles de contaminantes y degradación del aceite, se ponen más críticos; también se recomienda una revisión del sistema de refrigeración así como una reducción en el período de cambio de aceite, bajándolo a 100 horas; esto evitará notablemente la criticidad que puede llegar a presentar la máquina, evitara alguna falla catastrófica próxima, y permitirá implementar una planificación de paros programados que evitara que el buque quede inoperativo.

3.2. Tendencias de la máquina No. 2 babor

Los resultados de cada análisis se agruparon para determinar las tendencias específicas referentes al comportamiento de cada uno de los parámetros, incluyendo el resultado del análisis del aceite nuevo, para así realizar un análisis más completo de las tendencias del lubricante usado y determinar las tendencias correspondientes.

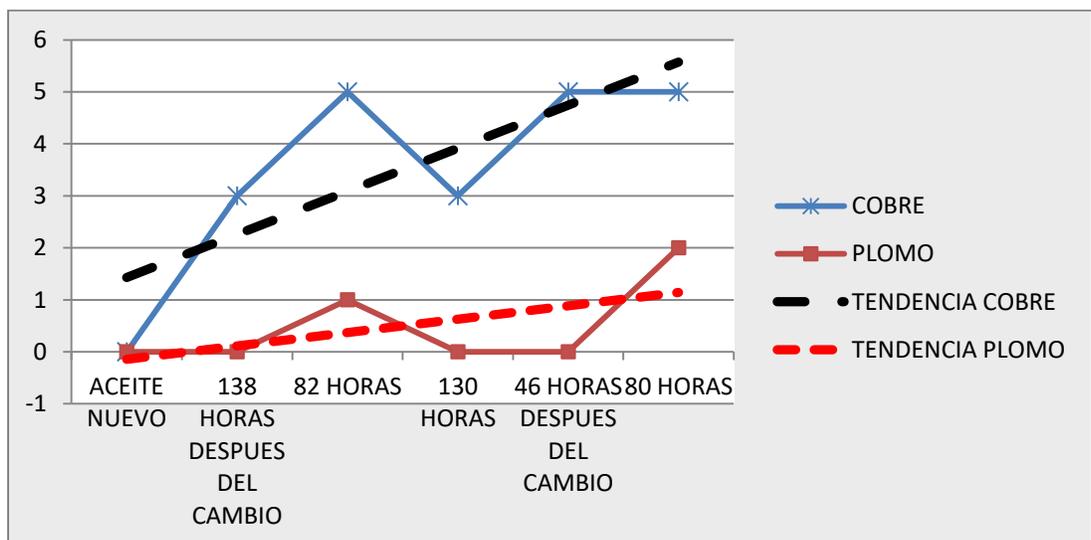
MÁQUINA DE BABOR, METALES DE DESGASTE

Figura 22. Tendencias de hierro y cromo



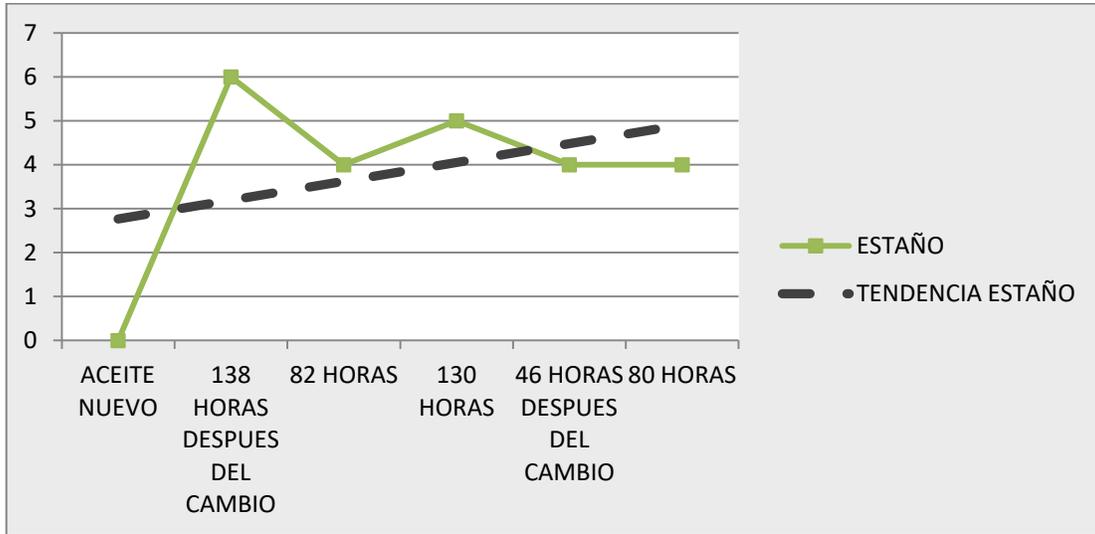
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Figura 23. Tendencias cobre y plomo



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Figura 24. **Tendencia estaño**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

El comportamiento de la mayoría de los metales de desgaste se encuentra dentro de los parámetros aceptados por el fabricante, sin embargo, se puede observar que la tendencia es del incremento de partículas diluidas en el aceite, lo cual debe de poner en alerta al personal de mantenimiento, porque sin duda alguna existe desgaste en las partes donde se encuentran dichos metales, y el lubricante no cumple con su función correctamente. La figura 22 indica la presencia de hierro, esto puede indicar desgaste en bloque de cilindros, anillos, engranaje del cigüeñal, eje de levas, tren de válvulas, engranaje bomba de aceite y pasador del pistón; los niveles de cromo se encuentran en cantidades normales, sin embargo incrementan llegando a su límite; por lo que no se descarta posible desgaste en los anillos del pistón.

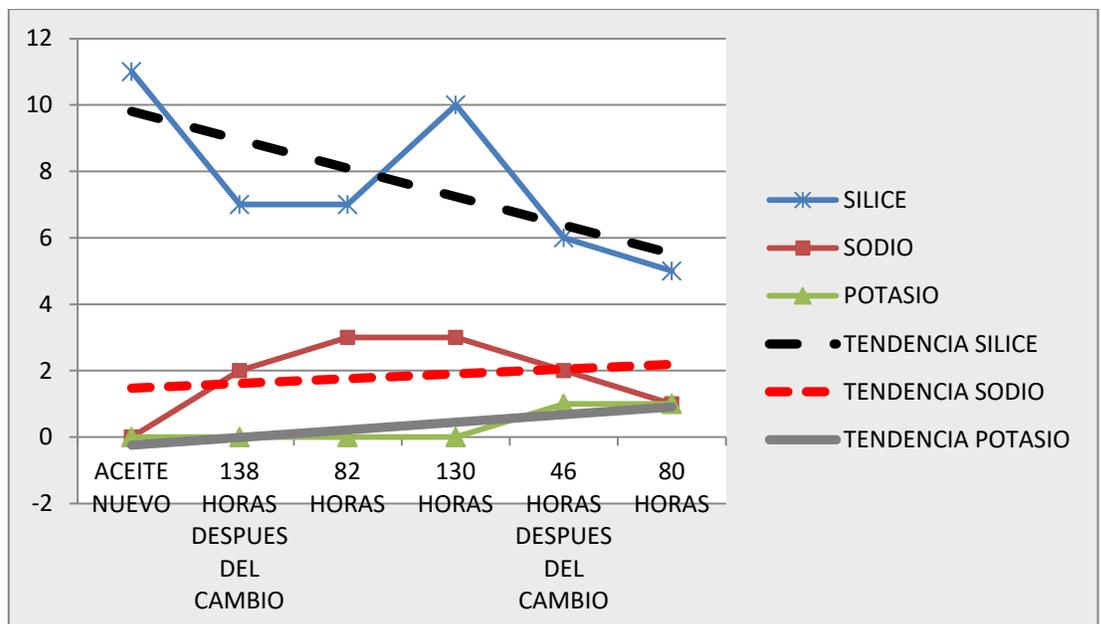
La figura 23 indica que la presencia de cobre se encuentra en parámetros normales, sin embargo puede presentar una alarma de desgaste en cojinetes principales y de biela, así como en la tubería principal del sistema de enfriamiento de la máquina, ya que su tendencia es de incremento, el plomo se

encuentra en cantidades menores, podría decirse despreciable; a pesar de eso en el último análisis se incrementa a 2ppm, situación que se encuentra en rangos normales.

A pesar que el fabricante no indica límites condinatorios acerca del Estaño, en la figura 24 se observa que su tendencia es de incremento, esto se debe principalmente al uso de las máquinas a bajas revoluciones y con elevada carga, ocasionando desgaste en cojinetes; la presencia del cadmio, plata y vanadio es nula durante todos los análisis realizados, tanto al aceite nuevo como al aceite en uso; lo que refleja que no existe desgaste de piezas que puedan contener esos metales.

MÁQUINA DE BABOR, METALES CONTAMINANTES

Figura 25. Tendencias sílice, sodio y potasio



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

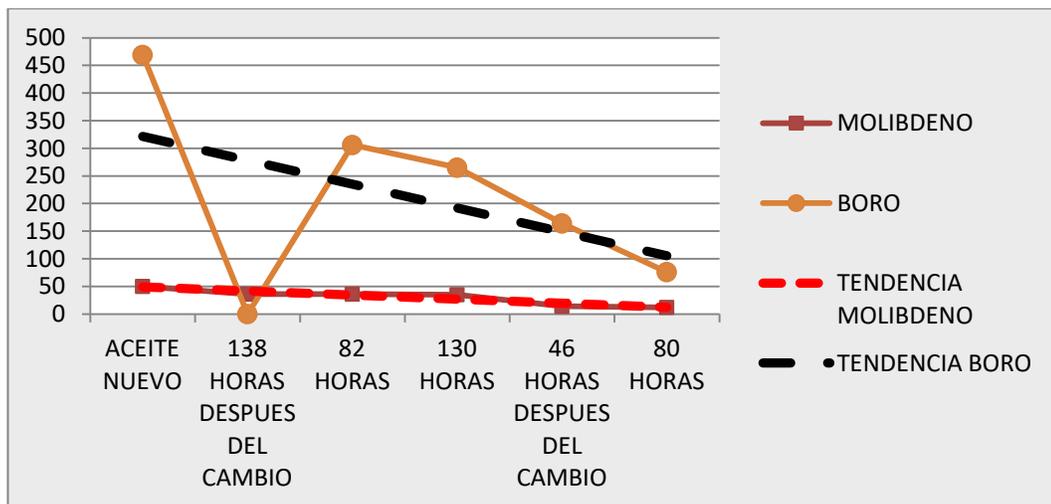
La figura 25 indica que el contenido de sílice presente en la muestra de aceite nuevo, se encuentra alto con respecto a las otras pruebas de laboratorio,

y es debido al proceso contaminado que se utilizó para su obtención; sin embargo el contenido de este metal en las otras muestras se mantuvo en niveles aceptables, lo que indica que el sistema de aire de admisión se encuentra trabajando en condiciones aceptables; el sodio se encuentra en parámetros normales, este puede estar presente debido a la filtración con agua, o al medio ambiente donde se encuentra el equipo en virtud que las máquinas objeto del presente estudio operan en un ambiente con alto porcentaje de salinidad. El potasio al igual que el sodio puede presentarse, debido a la filtración con agua, sin embargo se encuentra en niveles aceptables, que no indican condiciones alarmantes. La tendencia de los metales contaminantes es de mantenerse estables, ya que los incrementos que tuvieron durante los análisis del lubricante son aceptables.

Es de importancia hacer conciencia con el personal de mantenimiento que el procedimiento de cambio de aceite debe de intentar hacerse lo más limpio posible, para evitar presencia de sílice, ya que el incremento de este puede llegar a producir diferentes tipos de desgaste.

MÁQUINA DE BABOR, FUENTE DE VARIOS METALES

Figura 26. Tendencia molibdeno y boro



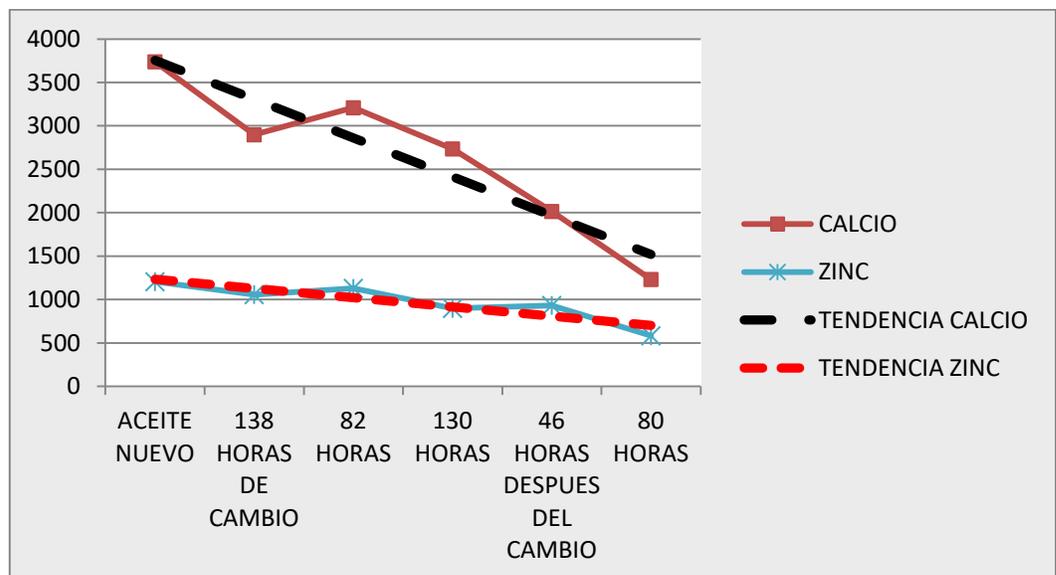
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

El manual del fabricante no indica niveles condenatorios con respecto a los metales indicados en la figura 26, sin embargo es importante notar la presencia del boro y del molibdeno en el aceite nuevo, indicando que forman parte de aditivos del lubricante, siendo el boro un inhibidor a la herrumbre, y el molibdeno un aditivo anti fricción. En el primer análisis de aceite usado realizado, no se obtuvo conteo del contenido del boro, por lo que no se tomó en cuenta para la interpretación, pero se puede observar que conforme incrementan las horas de servicio de la máquina, este disminuye. El molibdeno al igual que el boro está en disminución conforme el tiempo de servicio de la máquina, lo que indica que hay que poner atención al intervalo de tiempo con el que actualmente se realiza el cambio de aceite. La tendencia de estos metales es a ir disminuyendo su presencia en el aceite, conforme el paso de las horas de servicio de la máquina.

MÁQUINA DE BABOR, METALES ADITIVOS

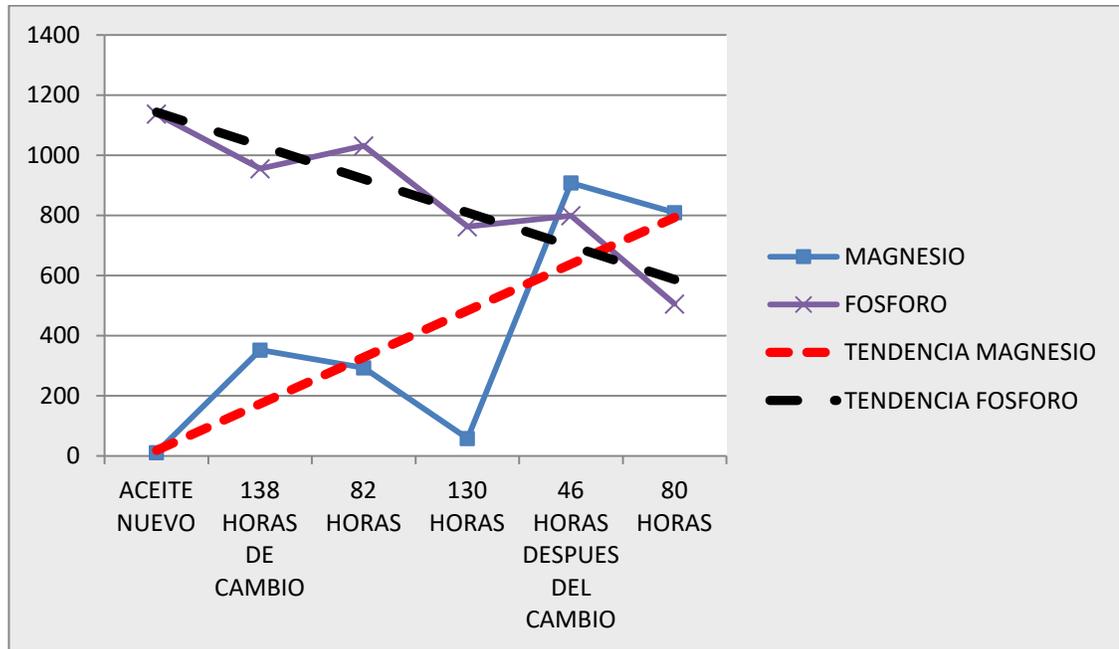
Figura 27. **Metales aditivos**

a. Tendencia calcio y zinc



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

b. Tendencia magnesio y fosforo.



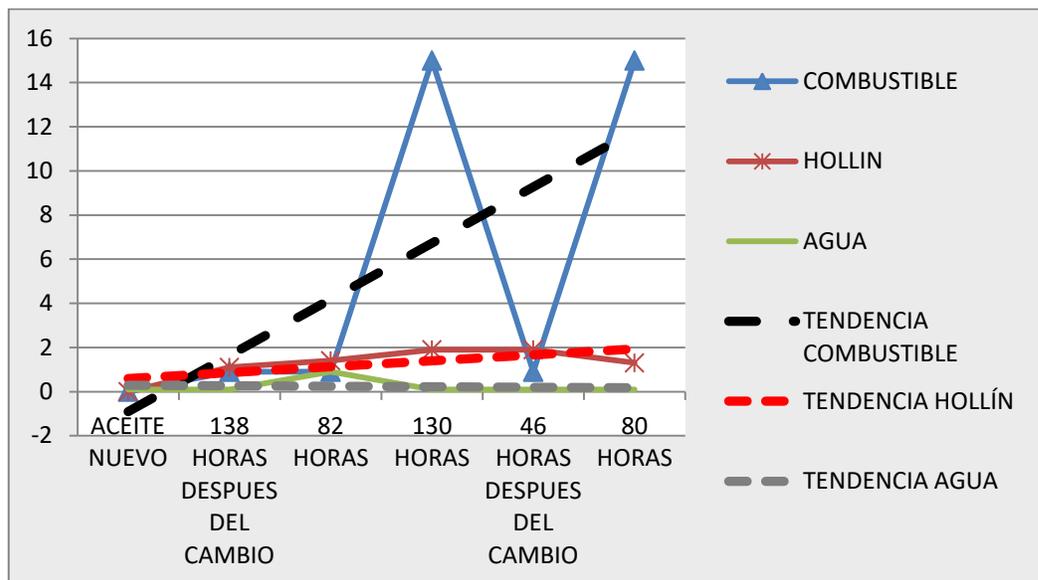
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Las tendencias que tienen los metales aditivos son de significativa importancia para el estado del aceite que se encuentra en uso en la máquina, las figuras 27 a y b presentan las variaciones que reflejan los metales aditivos en función del tiempo de servicio. El magnesio y calcio son aditivos detergentes y dispersantes, el fosforo y zinc son anti desgaste; y el bario es un aditivo detergente, pudiendo observar que no hay presencia del último mencionado en el aceite que se encuentra en uso. La tendencia que se observa indica una disminución de aditivos conforme al tiempo de servicio de la máquina, el calcio disminuyó arriba de un 20% después de 138 horas de servicio de la máquina, el fosforo y zinc disminuyeron alrededor de 13% y el magnesio se puede observar que en el tercer análisis de aceite después de 130 horas de servicio, ya no se encuentra presente en el aceite usado. Todas estas variaciones en los aditivos afectan el estado de la máquina, porque al reducirse el calcio y magnesio, el hollín y los demás solidos podrán incrementarse y dañar el sistema de

lubricación. Si el fósforo y zinc reduce más, no habrá película anti desgaste que proteja las partes internas de la máquina, lo que definitivamente puede provocar una falla catastrófica.

MÁQUINA DE BABOR, FUENTE DE CONTAMINANTES

Figura 28. **Tendencia combustible, hollín y agua**



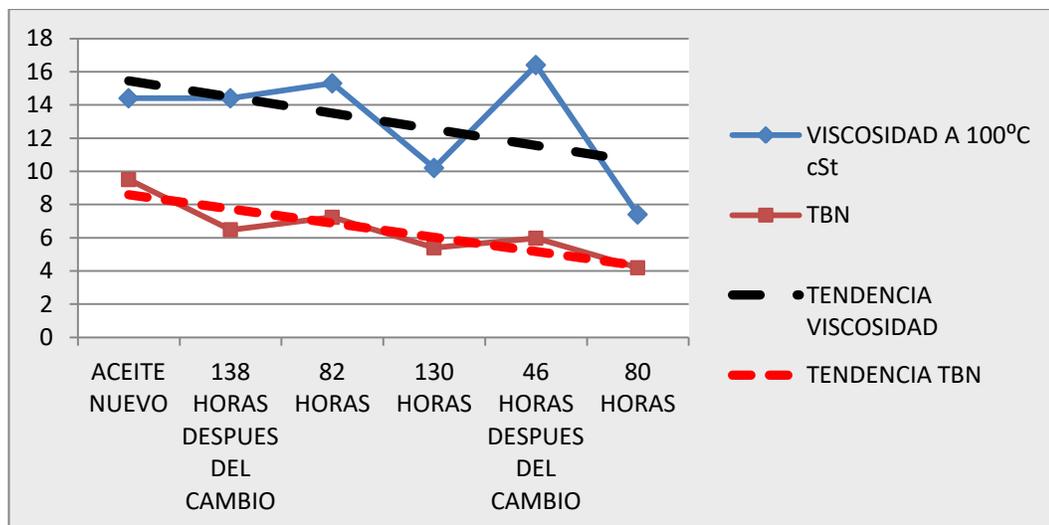
Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

La contaminación del aceite es un punto muy importante que se debe tener en cuenta para realizar un cambio de aceite, o para tomar decisiones con respecto a un equipo. La presencia de combustible en el aceite tiende a disminuir la viscosidad y el TBN del mismo, generando con ello que el desgaste pueda incrementarse. La figura 28 muestra que en el tercer y quinto análisis de aceite usado, el contenido de combustible en el aceite se encuentra por arriba de los parámetros permisibles por el fabricante, que debe de ser un porcentaje máximo de 2.5%. El hollín en todos los análisis se encuentra arriba de 0.8% que es lo permitido por el fabricante, esto se debe principalmente al exceso de combustible en el aceite, y a la degradación de los aditivos detergentes y

dispersantes que muestran las figuras 27 a y b. El agua es una fuente de corrosión y herrumbre para las partes internas de la máquina, pudiéndose observar que en todos los análisis realizados, su valor se encuentra por debajo de 0.3% que es lo establecido por el fabricante, excepto en el segundo análisis, donde su valor se incrementó a 0.9%; a pesar de ello en los demás análisis no se encontró con esos valores. El agua produce oxidación, herrumbre, lodos y barnices, lo que puede conllevar a un incremento de la viscosidad si no se controla. Se recomienda una revisión del sistema de enfriamiento de la maquinaria, y una reducción en su intervalo de cambio de aceite. La tendencia de los contaminantes del lubricante es irse incrementando conforme pasan las horas de servicio de la máquina, esto refleja la necesidad de realizar un paro programado para determinar los puntos donde está siendo contaminado el lubricante.

MÁQUINA DE BABOR, PROPIEDADES DEL ACEITE

Figura 29. **Tendencia de la viscosidad a 100°C en cSt, número básico total**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

Los parámetros que indica el fabricante con respecto a la viscosidad y al número básico total, se encuentran en la tabla VI; siendo viscosidad a 100°C 14.9 cSt, y TBN 10.2. Se puede observar en la figura 29, que en el tercer y quinto análisis de aceite usado, la viscosidad y el TBN disminuyen considerablemente, esto es debido al exceso de combustible diluido en el aceite; en el cuarto análisis se encuentra una viscosidad mayor que la del aceite nuevo, esta es el resultado de la presencia arriba de lo normal de hollín y la disminución de los aditivos detergentes y dispersantes. El TBN bajo indica que la capacidad alcalina del aceite no está normal, lo que definitivamente podrá causar daños internos en la máquina. La tendencia de la viscosidad y del TBN es a disminuir conforme incrementan los contaminantes y disminuyen los aditivos.

Como interpretación general, la máquina de babor presenta tendencias de desgaste en el bloque de cilindros, anillos y cojinetes, después de las 100 horas de servicio posterior a los cambios de aceite; al mismo tiempo presenta dilución por combustible, lo cual disminuye la viscosidad y el TBN, generando el desgaste mencionado. Es importante dar una revisión general a todo el sistema de combustible, verificar si los inyectores están pulverizando correctamente y no existe goteo en alguna cámara de combustión, debido que la cantidad de combustible se encuentra muy elevada. Se recomienda efectuar el cambio de aceite cada 100 horas, para evitar llegar a los niveles alarmantes de viscosidad y TBN, así como evitar la disminución de los aditivos del lubricante. Disminuyendo este tiempo de relleno de aceite, se tendrá una mayor protección para la máquina y permitirá planificar un paro programado para reparación, disminuyendo costos y evitando que el buque quede inoperativo.

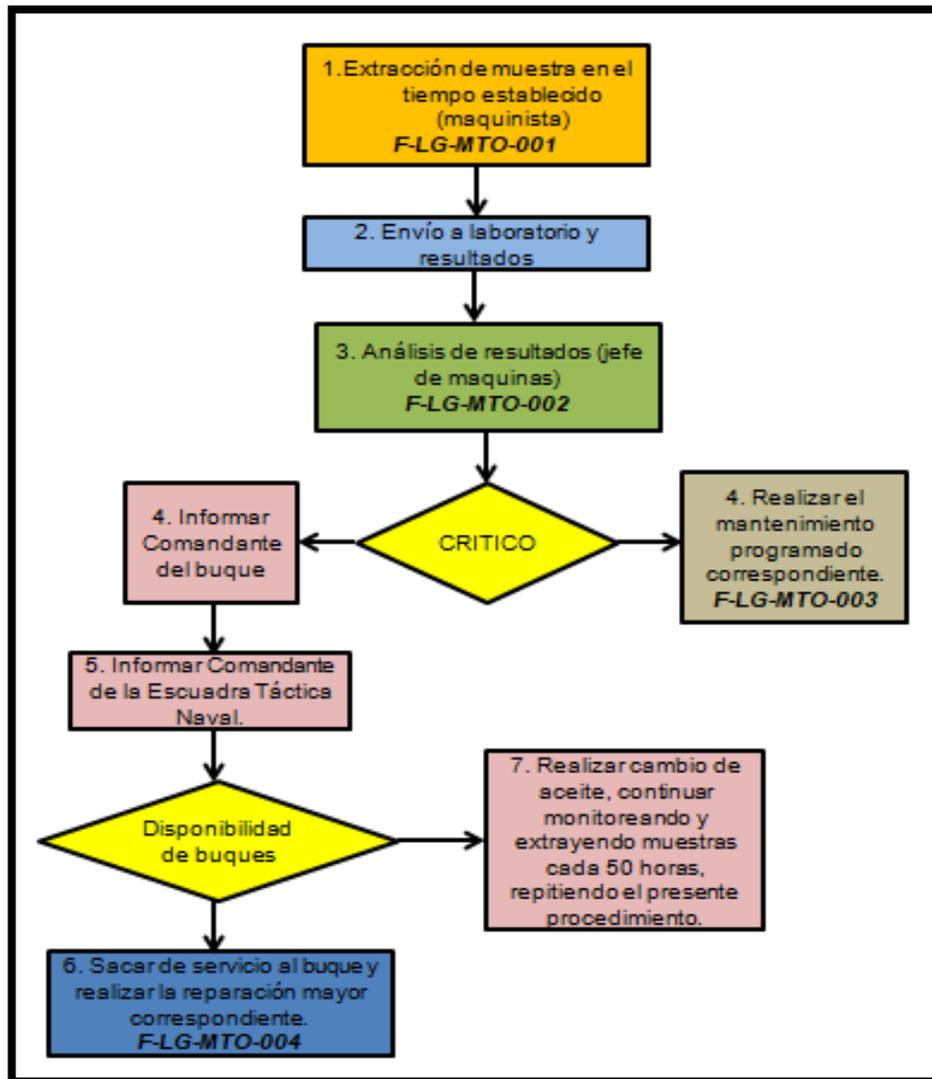
4. PROPUESTA DE PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE USADO, PARA APLICAR A LAS MÁQUINAS PROPULSORAS DEL GC-653 AZUMANCHE

El protocolo de mantenimiento basado en el análisis de aceite usado que se encuentra en el presente capítulo, tiene como finalidad primordial involucrar a todo el personal que tiene que ver con el mantenimiento de las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche; desde el maquinista de a bordo, hasta el comandante de la Escuadra Táctica Naval, ya que es de gran importancia que todos estén enterados del estado de las maquinas, para poder tomar las mejores decisiones oportunas que tengan mejor conveniencia al buque.

Antes de iniciar con la aplicación de la presente propuesta, se recomienda la capacitación e instrucción de todo el personal de oficiales y maquinistas de la Marina de la Defensa Nacional de Guatemala, con el objeto que conozcan y se familiaricen con la técnica del análisis de aceite usado para conocer las bondades y beneficios que esta técnica brinda.

La figura 30 muestra el diagrama de flujo que se propone para indicar el procedimiento a seguir para la ejecución del protocolo de mantenimiento basado en el análisis de aceite usado; se contempla paso a paso los eventos a realizar por cada uno de los involucrados, al mismo tiempo dentro de los cuadros se hace mención a los formatos que se deben llenar conforme el paso que se encuentre realizando. Un punto muy importante y que también se contempla en el diagrama de flujo es la disponibilidad de los guardacostas, ya que con el fin de cumplir la misión del Comando Naval del Pacífico, es importante siempre tener disponible por lo mínimo dos buques para efectuar cualquier patrullaje de salvaguarda naval y seguridad nacional.

Figura 30. Diagrama de flujo protocolo de mantenimiento basado en el análisis de aceite



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

El paso uno contempla la extracción y toma de muestra, esto lo realizará el maquinista de a bordo del buque, el cual con sus herramientas adecuadas extraerá la muestra y la rotulará correctamente, para lo cual deberá de llenar el

formato F-LG-MTO-001, donde quedara asentado datos importantes del proceso de extracción.

El paso dos comprende el envío de las muestras al laboratorio correspondiente, este paso de debe realizar el maquinista con autorización del jefe de máquinas.

El paso tres comprende el análisis de los resultados de laboratorio, esto lo debe realizar el Jefe de máquinas, este punto es muy importante ya que el análisis indicara si el estado de la máquina es crítico o no; para la realización de este paso se deberá de llenar el formato F-LG-MTO-002 donde se contemplan los principales parámetros que puedan determinar el estado de la máquina; dependiendo si el estado es crítico, se pasará al paso cuatro y cinco, que consisten en informar al Comandante del buque y este a su vez al Comandante de la Escuadra Táctica, quien dependiendo de la disponibilidad de buques, tomara la decisión de sacar de servicio el guardacostas. Si el estado de la maquina no es crítico, se realizará el mantenimiento programado cuando corresponda, no informando al Comandante del buque ni al Comandante de la Escuadra Táctica, llenando únicamente el formato F-LG-MTO-003, el cual permite conocer los mantenimientos programados que se le han realizado a la máquina.

El paso seis comprende la realización de un mantenimiento no programado a la máquina; esto es cuando al análisis de resultados del aceite usado indica que la máquina se encuentra en estado crítico y el Comandante de la Escuadra Táctica decidió sacar de servicio al Guardacostas. Para la realización del mantenimiento no programado se deberá de llenar el formato F-LG-MTO-004, donde quedará asentado tanto las fallas que se presentan como los procedimientos que se le realicen a la máquina.

El paso siete comprende el procedimiento de cambio de aceite y su monitoreo cada 50 horas, esto será cuando no exista disponibilidad de buques y el análisis de aceite indique que la máquina está en estado crítico. Para este proceso todo el personal, desde el Comandante de la Escuadra Táctica hasta los maquinistas de a bordo, deben de estar enterados del estado de la máquina y evitar su uso, únicamente en caso que sea muy necesario, debiendo sacar el guardacostas de servicio cuando ya exista disponibilidad de otros buques; iniciando el proceso de mantenimiento en el paso uno del diagrama de flujo.

Es importante a parte del seguimiento de los pasos para llevar un monitoreo y mantenimiento de las máquinas propulsoras, contemplar los siguientes puntos, los cuales se proponen para evitar el deterioro de las máquinas y extender a su vez su vida útil:

Brindar capacitación al personal de maquinistas y jefe de máquinas del guardacostas GC-653 Azumanche, con el objeto que comprendan los beneficios que se pueden obtener de realizar análisis de aceite periódicamente a las máquinas propulsoras, realicen el proceso de extracción de las muestras y puedan determinar tendencias de las máquinas con base a resultados.

Reducir el tiempo de cambio de aceite a 100 horas de trabajo, ya que como se comprobó en el capítulo anterior, después de las 100 horas de trabajo el lubricante pierde más propiedades de sus aditivos y se incrementa la contaminación.

Verificar el traslado de combustible, evitando en todo momento que tenga contacto con la atmosfera exterior, lo cual puede contaminarlo.

Al momento de efectuar el relleno con aceite lubricante nuevo, evitar la contaminación, pegando directamente el recipiente al punto donde se abastece.

En cada cambio de aceite, efectuar cambio de filtro de aceite y limpieza de filtro de aire, para evitar que partículas ajenas contaminen el aceite nuevo.

Evitar navegar debajo de 600 RPM, esto evita que se desgasten los cojinetes que están hechos de estaño.

Durante los primeros dos cambios de aceite, extraer una muestra de aceite usado en la hora 80, y enviarla a laboratorio para obtener un análisis que refleje el estado de las máquinas, dependiendo de este resultado se puede reducir más los períodos de cambio de aceite.

Adquirir el equipo necesario para la extracción de muestras de aceite usado, siendo este: bomba manual tipo vampiro, mangueras plásticas desechables, recipientes plásticos con rosca y etiquetas para los recipientes.

Después de obtener las tendencias, efectuar un análisis de aceite usado cada 3 cambios de aceite, en la hora 90 de trabajo.

Antes de iniciar a regirse por el presente protocolo, y por única ocasión a no ser que los análisis de aceite indiquen lo contrario, efectuar paro programado e inspeccionar: sistema de combustible, sistema de enfriamiento, partes móviles y fijas del motor.

A continuación se muestran los cuatro formatos que deben utilizarse durante el proceso de mantenimiento que se propone en el presente capítulo:

 GUARDACOSTAS 653 AZUMANCHE	EXTRACCIÓN DE ACEITE USADO	F-LG-MTO-001
	MARINA DE LA DEFENSA NACIONAL - COMANDO NAVAL DEL PACÍFICO	Página 1 de 1

1. Datos Generales			
Grado: _____			
Nombre: _____			
Máquina: _____			
Horas de servicio después del último cambio de aceite: _____			
Fecha y hora: _____			
2. Herramientas utilizadas			
	SI	NO	OBSERVACIONES
- MANGUERA NUEVA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
- BOMBA TIPO VAMPIRO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
- LLAVES ADECUADAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
- WAIPE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
- RECIPIENTE NUEVO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
- ETIQUETA PARA RECIPIENTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
3. Procedimiento			
	SI	NO	
- MAQUINA EN SERVICIO ANTES DEL PROCEDIMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- MUESTRA TOMADA DEL FONDO DEL CARTER	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- MUESTRA TOMADA A NIVEL MEDIO DEL SIS. LUBRICACION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- SE ENVIARA INMEDIATAMENTE AL LABORATORIO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4. Observaciones generales del procedimiento			

FIRMA MAQUINISTA			

 GUARDACOSTAS 653 AZUMANCHE	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO	F-LG-MTO-002
	MARINA DE LA DEFENSA NACIONAL - COMANDO NAVAL DEL PACÍFICO	Página 1 de 1

1. Datos Generales

Grado: _____

Nombre: _____

Máquina: _____

Horas de servicio después del último cambio de aceite: _____

Fecha y hora: _____

3. Parámetros a evaluar

	ARRIBA DE LOS PARAMETROS		PERMISIBLE
	SÍ	NO	
- HIERRO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	150 PPM MÁX
- COBRE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	90 PPM MÁX
- AGUA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.30% MÁX
- COMBUSTIBLE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.5% MÁX
- VISCOSIDAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14.9 MÁX

4. Presencia considerable de otros elementos, o ausencia considerable de aditivos

5. Observaciones generales, indicar las posibles consecuencias.

FIRMA JEFE DE MÁQUINAS

 GUARDACOSTAS 653 AZUMANCHE	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	F-LG-MTO-003
	MARINA DE LA DEFENSA NACIONAL - COMANDO NAVAL DEL PACÍFICO	Página 1 de 2

1. Datos Generales de la persona de mayor grado.		
Grado: _____		
Nombre: _____		
Maquina: _____		
Horas de servicio después del último cambio de aceite: _____		
Fecha	y	hora de inicio del mantenimiento:

Fecha y hora de término del mantenimiento: _____		
2. Herramientas utilizadas		
	SI	NO
- Repuestos requeridos para efectuar el mantenimiento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Manual técnico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Llaves, copas e instrumentos necesarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES		

3. Mantenimiento que se realizó		

4. Recomendaciones, cuando se considera necesario repetir este mantenimiento (fecha)		

5. Personal que participó en el mantenimiento
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
6. Recomendaciones del Comandante del Buque
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
Firma Jefe de Máquinas
Firma Comandante del Buque
Firma Comandante Escuadra Táctica Naval

 GUARDACOSTAS 653 AZUMANCHE	MANTENIMIENTO NO PROGRAMADO	F-LG-MTO-004
	MARINA DE LA DEFENSA NACIONAL - COMANDO NAVAL DEL PACÍFICO	Página 1 de 2

1. Datos Generales de la persona de mayor grado.		
Grado: _____		
Nombre: _____		
Máquina: _____		
Horas de servicio después del último cambio de aceite: _____		
Fecha y hora de inicio del mantenimiento: _____		
Fecha y hora de término del mantenimiento: _____		
2. Herramientas utilizadas		
	SI	NO
- Repuestos requeridos para efectuar el mantenimiento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Manual técnico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Llaves, copas e instrumentos necesarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES		

3. Fallas presentes en la máquina (motivo por el cual se sacó de servicio)		

4. Mantenimiento que se realizó.		

5. Pruebas realizadas después del mantenimiento
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
6. Personal que participo en el mantenimiento.
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
7. Recomendaciones del Comandante del Buque
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
Firma Jefe de Maquinas
Firma Comandante del Buque
Firma Comandante Escuadra Táctica Naval

CONCLUSIONES

1. La implementación del análisis de aceite usado aplicado a las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche como técnica de mantenimiento predictivo permite llevar mayor control del estado de las máquinas, y a la vez coordinar paros programados sin que esto afecte la operatividad del Comando Naval del Pacífico con respecto a sus patrullajes.
2. El historial y fichas técnicas de las máquinas del GC-653 Azumanche, refleja que los únicos tipos de mantenimiento que han llevado las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche son mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo e inspecciones VOSO, incluyendo cambio de aceite generalmente cada 150 horas; sin embargo, se determinó que hubieron espacios de tiempo donde pasaron más de 240 horas sin realizar el cambio del lubricante.
3. Los resultados de análisis de laboratorio aplicados al aceite usado de las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, por un período de siete meses, refleja que el estado actual en que se encuentran es crítico, ya que las tendencias del desgaste y contaminación existente en el aceite lubricante se incrementa conforme las horas de servicio; al mismo tiempo los aditivos disminuyen, ocasionando con esto la probabilidad de una falla catastrófica.
4. Para disminuir las fallas inesperadas que se presentan en las máquinas del GC-653 Azumanche, se hace necesario la implementación de un protocolo de mantenimiento basado en el análisis de aceite usado, como el propuesto en el capítulo IV, donde se establecen los pasos adecuados

para realizar desde la extracción del aceite usado hasta el análisis y documentación de los resultados de laboratorio, con la finalidad de poder tomar decisiones que permitan tanto extender la vida útil de las máquinas, así como mantener en todo momento operativo al buque.

5. Los beneficios obtenidos por la implementación del mantenimiento predictivo mediante la técnica de análisis de aceite usado aplicado a las máquinas del GC-653 Azumanche son concluyentes, debido que permite determinar el estado actual en que se encuentran las máquinas, establecer que sistemas son los que presentan más fallas, fijar los tiempos adecuados para el cambio de aceite y reflejar las tendencias de fallas que podrían llegar a suceder; la aplicación de todos estos beneficios, permitirán efectuar el mantenimiento adecuado en el momento exacto.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con la aplicación del mantenimiento predictivo, mediante el análisis de aceite usado en las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, porque permite realizar mantenimientos puntuales en el momento adecuado.
2. Asentar en el historial del diario de máquinas todo tipo de mantenimiento que se le realice a las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, incluyendo los formatos que se proponen en el capítulo IV observar tendencias generales de los sistemas que presentan fallas.
3. Continuar con la aplicación y análisis de los resultados de laboratorio con respecto al aceite usado en las máquinas propulsoras del GC-653 Azumanche, para llevar un mejor control de los parámetros que puedan llegar a afectar el funcionamiento de las máquinas, permitiendo al mismo tiempo evitar paros no programados que afecten la operatividad del buque.
4. Aplicar los pasos establecidos en el protocolo de mantenimiento realizado en el capítulo IV del presente trabajo de graduación, protocolo que facilitará tener un mejor control sobre el lubricante en relación a la contaminación, realizar cambios de aceite en tiempos ya analizados, según tendencias, llevar un mejor control de los contaminantes que se encuentran dentro de las máquinas, extender la vida útil de las máquinas y mantener informado a los altos mandos de la situación en que se encuentra la propulsión del buque.

5. Seguir haciendo uso de los beneficios del análisis de aceite usado, los cuales permiten en todo momento el monitoreo del estado de las máquinas, así como la determinación de posibles fallas críticas que se puedan presentar.

6. Que se implemente el mantenimiento predictivo mediante la técnica de análisis de aceite usado en los demás guardacostas de la Marina de la Defensa Nacional, para llevar un control más adecuado de los activos que se encuentran en los cuartos de máquinas de los buques, pudiendo aplicarla no solo en los equipos propulsores, sino también en moto generadores, cajas de engranajes, sistemas hidráulicos y compresores, lo cual definitivamente será de ayuda para permitir la operatividad completa de los buques que resguardan la soberanía en las aguas jurisdiccionales de Guatemala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Company, C. (21 de septiembre de 2015). *DELO 400 - Chevron*. Recuperado el 11 de noviembre de 2015, de <https://cglapps.chevron.com/msdspds/PDSDetailPage.aspx?docDataid=77118&docFormat=PDF>
- E. Conde, A. A. (2010). Modelo de Excelencia en Lubricacion y Mantenimiento Predictivo. *Ingenieria del Mantenimiento*, 32-38.
- Fygueroa Salgado. (2009). Mantenimiento Predictivo de Motores, mediante análisis de aceite. *Colombiana de Tecnologias de Avanzada*, 91-96.
- Gabriel Arellano, M. H. (2009). Implantación de análisis de aceite en motores de Combustión Interna de Ciclo Diesel. Guayaquil, Ecuador, Sudamerica.
- Garcia, S. (2003). *Organizacion y Gestion Integral de Mantenimiento*. Albasanz, Madrid: Diaz de Santos, S. A.
- Garrido, S. G. (2010). *Organizacion y Gestion Integral del Mantenimiento*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.
- General Motors, Corp. (1988). *Detroit Diesel, Manual de Servicio Serie 92*. Detroit, Michigan, USA.
- Jorge Felix Navarrete, C. C. (2009). Análisis de Aceite de los Motores Diesel de un Buque Pesquero para Mantenimiento Predictivo. *Escuela Superior Politecnica del Litoral*.
- Mott, R. L. (1996). *Mecánica de Fluidos Aplicada*. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.

Olarte, W. (2010). Tecnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la Industria. *Scientia et Technica Año XVI, No 45*, 223-226.

Polaris, L. (2015). *Análisis de aceite usado*. Guatemala.

Saldivia, F. (2013). Analisis de aceite usado de un Motor de Combustion Interna. *Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013)*, 1-10.

Tavares, R. H. (s.f.). *Análisis estadístico comparativo de propiedades de aceites lubricantes usados en motores de combustion interna de una planta de Generación Eléctrica*. Sociedad Cubana de Química.

Tormos, B. (2005). *Diagnóstico de Motores Diesel mediante el análisis del aceite usado*. España: Reverté, S. A.

Widman, R. (2015). El desgaste del motor, cuanto es normal.