



Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura

Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval

TRABAJO DE TÍTULACIÓN

Modalidad Proyecto Investigativo

TEMA:

**MUESTREO, ANÁLISIS Y MONITOREO DE LUBRICANTES DE
MAQUINARIA NAVAL EN BUQUES ATUNEROS DE LA CIUDAD
DE MANTA**

AUTOR:

RICKY ANDERS LÓPEZ CALLE

TUTORA: ING. MERCEDES ALEMÁN GARCÍA PH. D

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

AGOSTO 2024

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-01-F-010
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO	REVISIÓN: 2 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutora de la Facultad Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido y revisado el trabajo de investigación, bajo la autoría del estudiante López Calle Ricky Anders legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Mecánica Naval, período académico 2023(2)-2024(1), cumpliendo el total de 400 horas, bajo la opción de titulación de tesis, cuyo tema del proyecto “MUESTREO, ANÁLISIS Y MONITOREO DE LUBRICANTES DE MAQUINARIA NAVAL EN BUQUES ATUNEROS DE LA CIUDAD DE MANTA”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 26 de julio de 2024.

Lo certifico,



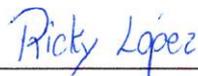
Firmado electrónicamente por:

**MERCEDES
ALEMAN
GARCIA**

**Ing. Mercedes Alemán García PhD
Docente Tutora**

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo **Ricky Anders López Calle** con CI: **1350730279**, estudiante de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí; con relación al informe final presentado para la obtención del título de Ingeniero en Mecánica Naval, declaro que asumo la originalidad de este trabajo entendiéndolo en el sentido que no he utilizado fuentes sin citarlas debidamente.



Ricky Anders López Calle

Autor



Ing. Mercedes Alemán García PhD

Tutora

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi Señor Jesucristo, quién en cada etapa de mi vida me ha guiado, dándome la sabiduría y la gracia para afrontar con éxito cada desafío, y este es una prueba de ello. Que toda gloria sea para Él.

También quiero dedicar este proyecto a mis padres, quienes me han brindado todo su apoyo incondicional en todo mi proceso de formación académica, además me han motivado a levantarme después de cada caída, sin lugar a duda ellos son protagonistas de cada logro que he obtenido, este proyecto es una muestra de su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar un especial agradecimiento a mis padres Jinmy y Regina, a mis hermanos, Jimmy George y Jiand David quienes cada día me alentaron a dar lo mejor en el trayecto de conseguir mi carrera profesional

A mi familia de Hay vida en Jesús, quienes me han moldeado el carácter de un hombre Dios, para ser excelente en todo lo que hago, este proyecto es fruto del tiempo y amor que ellos me han brindado.

A mis abuelos quienes desde muy niño me han inculcado el esfuerzo y la honradez en cada aspecto de mi vida.

A la empresa Ocean Oil S.A. por brindarme la oportunidad de adquirir experiencia en el sector industrial y creer en mi potencial para realizar este proyecto.

A todos aquellos que de cualquier manera han aportado a mi formación, tutora, profesores, personal administrativo y servicios generales.

SÍNTESIS

El campo del mantenimiento de equipos industriales está constantemente evolucionando, buscando integrar nuevas tecnologías o innovando las herramientas ya existentes. El presente proyecto propone la herramienta de análisis de aceite usado aplicado a equipos de embarcaciones industriales atuneros de la ciudad de Manta como método para el monitoreo de la condición y la prevención de fallas. Se diseñó un plan operativo de procedimientos, el cuál brindará las pautas necesarias para cada fase que conlleva el análisis de lubricantes, haciendo especial énfasis en las correctas prácticas de muestreo de lubricantes en equipos de buques atuneros que permitan obtener “muestras representativas” del estado del equipo. Luego las muestras son enviadas al laboratorio respectivo el cual cumple con la función de llevar a cabo los ensayos necesarios para conocer los parámetros más importantes del lubricante, medidas como contenido de agua, viscosidad, degradación química del lubricante, componentes de desgaste del equipo analizado, contaminación, entre otros. Inmediatamente, el resultado del análisis se plasma en una hoja de reporte. Finalmente, el técnico encargado receipta el informe detallado por equipo, y llevará un control del estado de cada equipo, de esta manera se logra garantizar el correcto funcionamiento del equipo y la prevención de fallas en los barcos atuneros en los que realiza el plan operativo de procedimientos.

PALABRAS CLAVE

Lubricante, análisis de lubricante usado, plan operativo de procedimientos, barco atunero industrial, monitoreo de condición.

ABSTRAC

The field of industrial equipment maintenance is constantly evolving, seeking to integrate new technologies or innovate existing tools. This project proposes the tool for the analysis of used oil applied to equipment of industrial tuna vessels in the city of Manta as a method for condition monitoring and failure prevention. An operational plan of procedures was designed, which will provide the necessary guidelines for each phase involved in the analysis of lubricants, with special emphasis on the correct practices of sampling lubricants in tuna vessel equipment that allow obtaining "representative samples" of the condition of the equipment. Then the samples are sent to the respective laboratory which fulfills the function of carrying out the necessary tests to know the most important parameters of the lubricant, measurements such as water content, viscosity, chemical degradation of the lubricant, wear components of the analyzed equipment, contamination, among others. Immediately, the result of the analysis is reflected in a report sheet. Finally, the technician in charge receives the detailed report by team and will keep track of the status of each equipment, in this way it is possible to guarantee the correct operation of the equipment and the prevention of failures in the tuna boats in which the operational plan of procedures is carried out.

KEYWORDS

Lubricant used lubricant analysis, operational plan of procedures, industrial tuna vessel, condition monitoring.

Índice General

SÍNTESIS.....	VI
ABSTRAC	VII
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
HIPÓTESIS.....	3
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	4
1 CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	5
1.1 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO EN EL ÁMBITO MARÍTIMO	5
1.1.1 Mantenimiento basado en condición	5
1.1.2 Mantenimiento predictivo.....	6
1.1.3 Mantenimiento correctivo	7
1.1.4 Mantenimiento preventivo	7
1.2 EQUIPOS Y SISTEMAS EN BUQUES ATUNEROS	8
1.2.1 Sistema de propulsión	8
1.2.2 Grupos electrógenos.....	8
1.2.3 Compresores frigoríficos	9
1.2.4 Sistemas hidráulicos	10
1.2.5 Caja reductora.....	11
1.3 TRIBOLOGÍA.....	11
1.3.1 Concepto.....	11
1.3.2 Lubricante	11
1.3.3 Clasificación de los lubricantes	12
1.3.4 Viscosidad.....	13
1.3.5 Aditivos.....	13
1.3.6 Función de los lubricantes.....	14
1.3.7 Elección de lubricante.....	15
1.3.8 Grado de viscosidad SAE	15
1.3.9 Grado de viscosidad ISO VG.....	16
1.4 ANÁLISIS DE ACEITE LUBRICANTE USADO	17
1.4.1 Conceptos básicos	17

1.4.2	Importancia en el ámbito marítimo.....	18
1.4.3	Pruebas realizadas a la muestra de aceite	18
1.4.4	Reporte de análisis de lubricantes.....	20
2	CAPÍTULO II: METODOLOGÍA PARA EL MUESTREO, ANÁLISIS Y MONITOREO DE LUBRICANTES EN BUQUES ATUNEROS	22
2.1	Muestreo de lubricantes.....	22
2.2	Disposiciones generales de la toma de muestras	22
2.3	Consideraciones previas al muestreo.....	23
2.4	Etiquetado e información de la muestra.....	24
2.5	Muestreo por tipo de equipo.....	25
2.5.1	Motores de combustión	25
2.5.2	Reductores-transmisión.....	26
2.5.3	Sistemas hidráulicos	26
2.5.4	Compresores frigoríficos	27
2.6	Muestreo a través de bomba de vacío	27
2.7	Equipo para el muestreo con bomba de vacío.....	28
2.8	Procedimiento general de muestreo con bomba de vacío	29
2.9	Muestreo por punto de drenaje.....	30
2.10	Otros métodos de muestreo de lubricantes.....	31
2.11	Análisis de lubricante usado.....	32
2.12	Pruebas de laboratorio.....	32
2.12.1	Viscosidad	32
2.12.2	BN o Número Base	33
2.12.3	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	33
2.12.4	Densidad férrica	33
2.12.5	Contaminantes microscópicos e identificación de partículas de desgaste	34
2.12.6	Detección de humedad por crepitación	34
2.13	Metodología SACODE	34
2.14	Reporte de análisis de lubricante usado	35
2.14.1	Estado de lubricante	36
2.14.2	Degradación química.....	36
2.14.3	Contaminación del lubricante	36
2.14.4	Desgaste del equipo	37
2.14.5	Presencia de aditivos.....	37
2.15	Monitorización de condición.....	37

2.16	Límites condenatorios de aceite.....	37
2.17	Interpretación de reportes de análisis.....	38
2.18	Código de colores en el reporte de análisis.....	39
2.19	Posibles diagnósticos.....	40
3	CAPÍTULO III: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE MUESTREO, ANÁLISIS Y MONITOREO EN BARCOS ATUNEROS DE MANTA	41
3.1	Evaluación de resultados.....	41
3.2	Barco atunero industrial n° 1.....	41
3.2.1	Máquina Principal del barco atunero n°1.....	41
3.2.2	Motor auxiliar n°1 del barco atunero n°1.....	43
3.2.3	Motor auxiliar n°2 del barco atunero n°1.....	47
3.2.4	Sistema hidráulico del barco atunero n°1.....	48
3.3	Barco atunero industrial n°2.....	51
3.3.1	Máquina principal del barco atunero n°2.....	51
3.3.2	Motor auxiliar n°2 del barco atunero n°2.....	51
3.3.3	Motor de panga del barco atunero n°2.....	52
3.4	Barco atunero industrial n°3.....	53
3.4.1	Máquina Principal del buque atunero n°3.....	53
3.4.2	Compresor frigorífico n°3 del barco atunero n° 3.....	54
3.5	Barco atunero industrial n°4.....	56
3.5.1	Reductor principal.....	56
3.6	Barco atunero industrial n°5.....	57
3.6.1	Máquina Principal del barco atunero n°5.....	57
3.6.2	Motor auxiliar n°3 del barco atunero n°5.....	58
4	CAPITULO IV: PROPUESTA DEL PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS PARA MUESTREO, ANÁLISIS Y MONITEREO DE LUBRIANTES DE MAQUINARIA NAVAL EN BUQUES ATUNEROS.....	59
4.1	Alcance de la propuesta.....	59
4.2	Beneficios Esperados.....	60
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES.....	94
	BIBLIOGRAFIA.....	95
	ANEXOS.....	104

Índice de Tablas

Tabla 1. Viscosidad SAE J300.....	16
Tabla 2. Clasificación de viscosidad, ISO 3448.....	17
Tabla 3. Clasificación de los parámetros más comunes en el análisis de lubricantes.	19
Tabla 4. Valores típicos de precaución y acciones obligatorias.....	38
Tabla 5. Tabla. Viscosidad y TBN.....	42
Tabla 6. Valores límites en motores.....	43
Tabla 7. Viscosidad y TBN.....	44
Tabla 8. Límites de elementos de contaminación	44
Tabla 9. Viscosidad y TBN motor auxiliar nº2 del barco atunero nº2.....	47
Tabla 10. Parámetros analizados en el sistema hidráulico.....	49
Tabla 11. Cantidad de sodio en el sistema	50

Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplo de etiqueta para muestra de aceite	24
Figura 2. Muestreo por bayoneta	25
Figura 3. Muestreo por línea viva	25
Figura 4. Muestreo en cajas reductoras	26
Figura 5. Muestreo del sistema hidráulico en línea de alta presión	26
Figura 6. Toma de muestra de compresor	27
Figura 7. Bomba de vacío manual	28
Figura 8. Manguera para muestreo	28
Figura 9. Envase de 120 ml	28
Figura 10. Puerto de toma de muestras por el drenaje	31
Figura 11. Puerto de muestreo minimess	31
Figura 12. Valores obtenidos en viscosidad	39
Figura 13. Tendencia entre viscosidad y TBN de máquina principal del barco atunero nº1	42
Figura 14. Tendencia, viscosidad y oxidación de motor auxiliar nº1 del barco atunero nº1	43
Figura 15: Tendencia, silicio y sodio de motor auxiliar, barco atunero nº1	45
Figura 16. Tendencia de desgaste hierro-cobre de motor auxiliar y barco atunero nº1	45
Figura 17. Tendencia de contaminación silicio-sodio de motor auxiliar y de barco atunero nº1.	46
Figura 18. Tendencia viscosidad-TBN de motor auxiliar nº2 del barco atunero nº1	48
Figura 19. Tendencia viscosidad-oxidación del sistema hidráulico del barco atunero nº1	49
Figura 20. Tendencia de nivel de sodio del sistema hidráulico de barco atunero nº1	50
Figura 21. Tendencia viscosidad-TBN de máquina principal del buque atunero nº2	51
Figura 22. Tendencia viscosidad-TBN de motor auxiliar y de barco atunero nº2	52
Figura 23. Tendencia viscosidad-TBN de motor de panga del barco atunero nº2	52
Figura 24. Tendencia viscosidad-TBN de máquina principal del barco atunero nº3	53
Figura 25. Tendencia nitración de máquina principal de barco atunero nº3	54
Figura 26. Tendencia viscosidad-oxidación de compresor frigorífico de barco atunero nº3	54
Figura 27. Tendencia viscosidad-hierro de compresor frigorífico del barco atunero nº3	55

- Figura 28.** Tendencia viscosidad-oxidación de reductor principal de barco atunero n°4 56
- Figura 29.** Tendencia desgaste por hierro de reductor principal del barco atunero n°4 57
- Figura 30.** Tendencias viscosidad-TBN de máquina principal del barco atunero n°5 57
- Figura 31.** Tendencia de viscosidad-TBN de motor auxiliar n°3 de barco atunero n°558

Índice de Anexos

Anexo 1. Muestra de aceite de motor de combustión.	104
Anexo 2. Muestra de aceite de compresor frigorífico	104
Anexo 3. Muestra de aceite provenientes de distintos compartimientos	105
Anexo 4. Apartado de desgaste de equipo en el formato de reporte de análisis de lubricante	105
Anexo 5. Proceso de muestreo de lubricante SAE 40 en máquina principal.....	106
Anexo 6. Muestras de lubricante usado en compresores frigoríficos en buque atunero	106
Anexo 7. Muestreo de lubricante de motor de panga de un barco atunero	107
Anexo 8. Muestreo de reductora principal de un buque atunero	107
Anexo 9. Preparación de envases para muestreo de lubricantes en barcos atunero	108
Anexo 10. Etiquetado de la muestra de lubricante.....	108
Anexo 11. Formato de hoja de reporte de análisis de lubricante (se omiten ciertos elementos para salvaguardar información confidencial del cliente)	109

INTRODUCCIÓN

El sector pesquero industrial en Ecuador juega un papel fundamental en las embarcaciones, siendo la industria atunera una de las actividades más importante en Manabí ya que no solo genera divisas y fuente de empleo, dicho de otro modo, contribuye a la seguridad alimentaria del país (Zambrano y Zambrano, 2020).

Además, Manta es una ciudad que crece considerablemente, se destaca el sector pesquero industrial que es aquel que involucra el uso de equipos mecanizados con sistema de lubricación, inclusive embarcaciones pesqueras o flotas dedicadas a capturar grandes volúmenes de pescado para el procesamiento en las empresas (Blacio, 2009).

Cada una de las fases que constituyen el procedo de pesca en un buque atunero industrial involucra el uso de equipo industriales, a su vez, para lograr obtener el mejor rendimiento de estos, es necesario regirse al plan de mantenimiento dado por el Fabricante Original del Equipo.

Seguir las recomendaciones de mantenimiento del fabricante es la mejor opción para mantener un excelente estado del equipo en cuestión, sin embargo, otra opción para garantizar el óptimo funcionamiento es el monitoreo de condición, que tiene como objetivo evaluar la salud y el rendimiento del equipo en cada fase de operación.

La lubricación, hace referencia a la aplicación de una sustancia para minimizar la fricción que se produce cuando distintos elementos entran en contacto (Pérez y Gardey, 2021).

El análisis de aceite usado juega un papel protagónico en la predicción y prevención de fallas de equipos industriales, pero para lograr este cometido es necesario regirse por muestras de grupos especializados. A su vez, las recomendaciones de expertos son fundamentales en un plan operativo de procedimientos, al mismo tiempo se garantiza la calidad del proceso del análisis de aceite usado en barcos atuneros, de esta manera se asegura el correcto funcionamiento de los equipos a bordo.

ANTECEDENTES

El monitoreo de la condición del lubricante (MCL) es una técnica de mantenimiento predictivo que se utiliza para evaluar el estado del aceite lubricante y del equipo al que sirve, identificar problemas potenciales antes de que causen fallas, esto a su vez, puede ayudar a reducir el tiempo de inactividad no planificado, los costos de mantenimiento y mejorar la confiabilidad general del equipo (Wakiru et al., 2019).

Sin embargo, Nagy, Knaup & Zsoldos, (2019), investigaron el comportamiento del aceite de motor usado a lo largo del tiempo, examinando la fricción y el desgaste en muestras de tres motores diésel similares, encontraron una fuerte relación entre la vida útil del aceite y el contenido de boro, así como los números de ácido y base. Además, identificaron una conexión entre los niveles de fricción en el aceite usado y el contenido de boro y hollín.

En efecto, Wakiru, Pintelon, Muchiri & Chemweno, (2019), realizaron una revisión sobre el uso del MCL para el soporte de decisiones de mantenimiento, analizaron patrones de falla dentro de los parámetros del lubricante utilizando datos de una central térmica como caso de estudio.

En 2022, Barriga presentó recomendaciones para mejorar la confiabilidad de las organizaciones mediante la gestión y operación adecuadas de la lubricación, encuestó a 27 empresas de diversos tamaños para identificar las mejores prácticas en esta área, en 10 dimensiones, que incluyen la selección de lubricante, los procedimientos, el muestreo, la contaminación, el personal, la seguridad y el medio ambiente.

Los estudios de, Ventikos, Sotiralis & Annetis, (2022), propusieron un modelo probabilístico dinámico para optimizar el análisis y el mantenimiento del aceite de motores marinos. El modelo, implementado en Matlab, considera factores como el deterioro de los componentes del motor, la degradación del aceite y el análisis de aceite fuera de línea. Los resultados del estudio sugieren que un análisis y mantenimiento del aceite más frecuentes pueden reducir la probabilidad de fallas y optimizar los intervalos de análisis.

Los proyectos de investigación revisados destacan la importancia del MCL como una herramienta valiosa para mejorar la confiabilidad del equipo y reducir los costos de mantenimiento. El MCL puede ayudar a identificar problemas potenciales antes de que causen

fallas, lo que puede conducir a un menor tiempo de inactividad no planificado, menores costos de reparación y una mayor eficiencia operativa.

Las organizaciones que implementan programas de MCL efectivos pueden experimentar una serie de beneficios, tales como menor tiempo de inactividad no planificado, menores costos de reparación, mayor eficiencia operativa y mejor confiabilidad del equipo.

JUSTIFICACIÓN

El procedimiento de toma de muestras de lubricantes para el análisis es una herramienta del mantenimiento basado en condición, que permite conocer el estado actual de los equipos usados en buques atuneros de la ciudad de Manta, pero el axioma principal es su papel en la prevención de fallas de cualquier naturaleza, pero esto resulta de un preciso procedimiento de muestreo de lubricación, recolección de información, procesamiento de información e interpretación del análisis.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La maquinaria en buques atuneros está sometida a un ambiente hostil mucho más extremo que en tierra, factores como el ambiente salino, el constante movimiento de las olas y el espacio reducido, dan paso a que se presenten fallas de manera frecuente, y que se no se lleva un control adecuado de los activos del buque, pueden resultar en fallas inesperadas, pérdidas económicas, e incluso, en casos extremos, pérdidas humanas.

HIPÓTESIS

El manejo adecuado del procedimiento de muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes de maquinaria naval en buques atuneros de la ciudad Manta promueve la entrega oportuna del estado de los equipos, control de la condición y la prevención de fallas en base al monitoreo de la condición.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar un plan operativo basado en procedimientos para muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes en buques atuneros para la empresa Ocean Oil S.A. de la ciudad de Manta.

Objetivos específicos

- Establecer los aspectos técnicos para el plan operativo de procedimientos para el muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes.
- Determinar las correctas prácticas de muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes para buques atuneros.
- Realizar el proceso de muestreo de los diferentes equipos de buques atuneros siguiendo las pautas establecidas en esta investigación.
- Proponer la aplicación del plan operativo de procedimientos a buques atuneros de la ciudad de Manta.

1 CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO EN EL ÁMBITO MARÍTIMO

El mantenimiento de los equipos en un buque es esencial por diversas razones. En primer lugar, garantiza la seguridad de la tripulación, la carga y el medio ambiente marino ya que reduce el riesgo de accidentes. Además, el mantenimiento regular asegura la operatividad de los equipos, evitando tiempos de inactividad costosos y retrasos en la navegación. La eficiencia también se ve beneficiada, ya que los equipos bien mantenidos tienden a funcionar mejor, a su vez se puede ahorrar combustible y reducir los costos operativos. Por último, prolonga la durabilidad de los equipos, permitiendo que los buques operen de manera efectiva durante más tiempo. En conjunto, estos aspectos destacan la importancia crítica del mantenimiento de los equipos en la navegación marítima.

Para establecer un correcto mantenimiento se hacen uso de distintas metodologías, de las cuales a continuación se describen.

1.1.1 Mantenimiento basado en condición

El mantenimiento basado en la condición (CBM) gira en torno a una mentalidad gerencial donde las reparaciones o reemplazo se basan de manera anticipada de activos (Raheja, Llinas, Nagi, & Romanowski, 2006).

Cuando se realiza un análisis de la condición de un equipo, se pueden establecer pautas para la aplicación de metodología preventivas, es decir, prevenir fallas inesperadas o paradas de producción, que se traducen en pérdidas. El mantenimiento basado en condición (MBC) es una estrategia que se enfoca en monitorear continuamente el estado de los equipos y realizar mantenimiento solo cuando sea necesario, según las condiciones reales de funcionamiento.

Un correcto manejo de equipos a través del tiempo es fundamental para el uso adecuado, por ejemplo, en este caso se utilizará la metodología de análisis de lubricante pasado, donde se estudiará los reportes que ayudarán a brindar la información necesaria para la condición del equipo, los cuales se irán archivando para hacer un análisis de tendencias. Esta metodología es crucial en la industria naviera por varias razones en te ellas están:

- **Optimización de recursos:** Las técnicas de monitoreo y diagnóstico de MBC permiten identificar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas

importantes. Esto significa que se puede realizar mantenimiento preventivo o correctivo solo cuando sea necesario, lo que optimiza el uso de recursos humanos, materiales y financieros.

- **Reducción de costos:** Al evitar intervenciones innecesarias y programar el mantenimiento en función de las condiciones reales de los equipos, el MBC ayuda a reducir los costos operativos y de mantenimiento. Esto se traduce en un ahorro significativo a largo plazo para las compañías navieras.
- **Mayor disponibilidad y confiabilidad:** Al mantener los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, el MBC aumenta la disponibilidad y la confiabilidad de los sistemas críticos a bordo de un buque. Esto reduce el riesgo de tiempos de inactividad no planificados y garantiza un rendimiento consistente durante la operación del buque.
- **Seguridad Mejorada:** Al identificar y abordar proactivamente los problemas de mantenimiento, el MBC contribuye a mejorar la seguridad en el mar al reducir el riesgo de fallas repentinas o accidentes relacionados con equipos defectuosos.

1.1.2 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una tendencia en la industria que ha dado pasos importantes en su papel para prevenir fallas y prolongar la vida útil de los activos.

Para lograr este cometido es necesario contar con un preciso flujo de trabajo, empezando con un entendimiento claro del proyecto y la colección de datos, dando paso a su cometido final que es la fase de toma de decisión. El mantenimiento predictivo en efecto consiste en el procesamiento de información para la formulación de modelos de machine learning con el fin de gestionar el incremento de patrones en el funcionamiento y predecir el estado de salud del equipo. De acuerdo con lo anterior, el mantenimiento predictivo presenta métodos como el Mantenimiento Basado en Condición (CBM), Pronóstico y Gestión de la Salud (PHM), y la Vida Útil Remanente (RUL) (Achouch et al., 2022).

Sin embargo, Trujillo, (2020), en su artículo *“Integrando el análisis de aceite de vibración”* menciona que el mantenimiento predictivo y el monitoreo de condición están ligados, y que se pueden usar juntas para lograr establecer mejoras en las prácticas de sostenimiento de cualquier industria. Herramientas como el análisis de vibraciones, el análisis de lubricante usado, termografía, análisis de corriente en motores, el ultrasonido y pruebas no

destructivas son las herramientas más extendidas, y se aplican de acuerdo con las necesidades específicas de cada industria.

Diversos autores y compañías consideran que el análisis de aceite usado es una herramienta del mantenimiento predictivo junto con otras herramientas como el análisis de vibración o la termografía; (Jaramillo, Bouhmala, & Haugen, 2020) (Infraspeak Team, 2023); (Manwinwin, 2023); (Mołęda, et al., 2023), las cuales dicen que pueden ser utilizadas para crear un completo sistema de prevención de fallas en una industria, planta petroquímica, planta generadora de electricidad, flotas de buques o camiones, etc.

1.1.3 Mantenimiento correctivo

De acuerdo con Moleda *et al.*, (2023), menciona que el mantenimiento correctivo o reactivo es aquel que se aplica cuando un equipo falla, de esta manera se logra extender el intervalo entre mantenimientos y reduce el costo de operación del equipo, sin embargo, esto vienen con el incremento del riesgo de indisponibilidad del equipo.

Se trata de la metodología de mantenimiento más antigua y primitiva, se puede decir que aparece por primera vez en la primera mitad del siglo XX, cuando el equipo industrial era simple y se ignoraban las fallas en los equipos.

Según Jaramillo et al., (2020), dice que el origen de las fallas en los equipos no eran objeto de investigación para prevenirlas, ni para crear planes de mantenimiento que optimizarán el funcionamiento de las máquinas, simplemente las actividades de mantenimiento se enfocarán en la restauración y reparación de la máquina para continuar con la operación y los efectos del mantenimiento correctivo.

1.1.4 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se encarga de la conservación de los equipos en condiciones óptimas mediante revisiones regulares de la maquinaria y tareas de sustento (CFTI, 2023).

En el proyecto investigativo "*Preventive maintenance decisions through maintenance optimization models: a case study*" señalan que el mantenimiento predictivo (PM) debe ser realizado para reducir los costos cuando reduce la probabilidad de la ocurrencia de una falla. Pero también resaltan que una alta frecuencia de intervenciones del mantenimiento preventivo

puede resultar costoso. Por ende, se debe ser estratégico para establecer una frecuencia para su aplicación en los sistemas o equipos (Vilarinho, López & Oliveira, 2017).

Por lo general el mantenimiento predictivo se constituye de la experiencia, recomendaciones del fabricante original del equipo (OEM) y en investigaciones científicas (Ahmad & Kamaruddin, 2012).

1.2 EQUIPOS Y SISTEMAS EN BUQUES ATUNEROS

1.2.1 Sistema de propulsión

La maquinaria propuesta para transformar energía rotativa a la salida del motor principal en movimiento que mueva a la hélice, en el principio de Bernoulli se produce perpendicularmente una fuerza al plano de rotación de la hélice, esto hace posible el desplazamiento del buque a través del mar. Un sistema de propulsión básico consiste en un motor principal el cual convierte la energía calorífica del combustible en potencia mecánica que se transmite a una caja de engranajes (Márquez, 2014).

El equipo principal de un sistema propulsivo es el motor al que se le denomina "*Máquina Principal*", este motor propulsor que en los buques pesqueros del país suele ser un MCI (Motor de combustión interna alternativo) alimentado por combustible diésel, el cual debe tener un grado de pureza, que se mide por la cantidad de azufre contenido en el combustible.

1.2.2 Grupos electrógenos

Las embarcaciones pesqueras al no contar con una conexión directa de un suministro de energía, se hace necesario obtener ésta a través de un generador, al cual se le denomina grupo electrógeno.

Un grupo electrógeno es esencialmente el motor que impulsa el ciclo de transformación de energía, dando como fruto la energía eléctrica. Su funcionamiento comienza con la conversión de la energía calorífica del combustible diésel en energía mecánica, gracias a un motor mecánico, esta energía mecánica se transforma entonces en energía eléctrica mediante la rotación constante del motor generando un campo magnético en el devanado del estator (bobina) del alternador. De este modo, el grupo electrógeno no solo aprovecha el combustible para generar movimiento, sino que también lo convierte en la electricidad necesaria para alimentar diversos dispositivos y sistemas eléctricos.

1.2.3 Compresores frigoríficos

La función del compresor y los demás componentes de un sistema de refrigeración es de interpelar y controlar, además permite conectar con el refrigerante y volverlo a usar para que fluya desde una válvula de expansión hacia el evaporador, donde absorbe el calor y se convierte en gas, luego fluye hacia el compresor donde es comprimido a la presión del condensador, cuando el condensador pierde calor y el vapor refrigerante se convierte en líquido, fluye entonces hacia el depósito de ahí va hacia la válvula de expansión para reanudar el ciclo (Montatixe, 2010).

De cierto Montatixe, (2010), indica que el compresor succiona el fluido refrigerante del evaporador, reduciendo la presión de ese componente. El fluido es comprimido por el compresor, sigue para el condensador y en el condensador el fluido refrigerante bajo alta presión libera el calor para el ambiente y se torna líquido.

En el proyecto *“Propuesta de mejoramiento al Plan de Mantenimiento de Compresores Vilter en la Empresa Frigorífico Metropolitano”*, asume como finalidad en mejorar el plan de mantenimiento de compresores realizando un análisis en paralelo, entre la disponibilidad entre los equipos de masivo capital, de frigorífico metropolitano, la confiabilidad de este tiende a ser muy elevada, ya que solo fallan y se puede perder la cadena de frío de los productos generando que son a la vez pérdidas muy altas para la compañía (Sánchez, Vizcaíno, & Casallas, 2020).

En el caso de los buques atuneros los compresores cumplen una función primordial, que es la de comprimir el refrigerante de modo que pueda circular el refrigerante a través del sistema, con el fin de provocar que la temperatura en las cubas hasta el punto congelación del pescado, con el fin de conservar las condiciones permitiendo procesamiento en las industrias en tierra.

La refrigeración retarda el deterioro, pero no puede mejorar la calidad inicial del producto, de ahí la importancia de asegurar una calidad microbiana particularmente alta en el material de partida.

1.2.4 Sistemas hidráulicos

Los sistemas hidráulicos que caracterizan y diferencian a un buque atunero del resto de buques son los equipos hidráulicos de pesca instalados en cubierta, para la maniobra de cerco, la carga y descarga de las capturas, así como también los equipos de localización de las capturas. La evolución en el tamaño de los buques cerqueros ha ido de la mano del crecimiento de los equipos de pesca, instalados con el fin de conseguir una maniobra rápida y eficiente.

De otro modo diseñar el buque atunero cerquero ideal, se tiene en cuenta la estrategia operativa, el caladero principal de operación, sus limitaciones y regulaciones. En cuanto, a nivel de capturas, la extensión del caladero y su distancia al puerto de descarga, son aspectos que permiten definir una capacidad de carga y, con ello, un ajuste del resto de parámetros dimensionales que definen el buque (Villar, 2020).

La naturaleza de los accionamientos hidráulicos permite mantener la tensión en la red o en las líneas, incluso en condiciones de parada. Un ejemplo típico ocurre en la pesca con redes de cerco, donde la red se concentra en el costado del barco durante el bloqueo para mantener una alta concentración de peces.

La tensión excesiva de la red, incluso en condiciones normales del mar, es un problema muy real, es aquí donde los accionamientos hidráulicos, que aplican una tensión constante a un cabrestante, se invierten cuando el barco se aleja de la red excediendo la tensión máxima con esto aumentan la ganancia a medida que el barco se acerca a la red, minimizando la posibilidad de pérdida de la red. El control de la tensión se puede lograr con un sistema neumático, pero los accionamientos eléctricos o mecánicos no son soluciones prácticas a este problema (Allen, 1968).

Los sistemas hidráulicos en un buque pesquero requieren mucho menos mantenimiento y es menos complicado su instalación, se componen de mangueras y tuberías, las cuales pueden llevar el fluido de una forma que pueda ser instalado en cualquier posición conveniente, no como los sistemas mecánicos que precisan de ejes, rodamientos, etc. Los sistemas hidráulicos producen energía para ser enviada a través líquido en largas distancias y esa fuerza motora es producida por un motor eléctrico (Malikayil et al., 2020).

1.2.5 Caja reductora

La caja reductora de un buque cumple con el vital enlace entre la máquina principal y la propela que impulsa el buque. Su principal función es la de transmitir la potencia generada por la máquina propulsora al eje de la propulsión, convirtiendo la energía rotacional en empuje que propulsa el buque hacia adelante. Este rol crítico coloca a la caja reductora del buque en el centro del sistema de propulsión de un buque.

Una de las características definidas de las cajas reductoras de buques es su habilidad para proporcionar una reducción de velocidad. Los motores en buques a menudo operan dentro de un rango específico de velocidad óptima, mientras que las propelas tienen un rendimiento más eficiente a diferentes velocidades, asegurando que la potencia del motor sea transmitida a la propela en el rango más eficiente (Hangzhou Weihao Clutch Co, Ltd, 2023).

1.3 TRIBOLOGÍA

1.3.1 Concepto

El fenómeno de tribología fue integrado por primera vez en un reporte en el año 1965 debido al principal descubrimiento con tema *“La industria británica sufre considerables pérdidas por el resultado de la inadecuada apreciación de la aplicación de la Tribología”* (Williams, 2024).

De acuerdo Yan, (2010), dice que la tribología es definida como la ciencia y tecnología que busca desarrollar conocimiento entre la interacción entre superficies que tienen un movimiento relativo, lo cual involucra el estudio y aplicación de los principios de fricción, lubricación y desgaste, también estas se involucran en diferentes campos como ciencias de los materiales, química, física e incluso biología.

Indica Díaz, (2007), que la tribología relaciona campos como matemáticas aplicadas, mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, ciencia de los materiales, reología, lubricación, diseño de máquina, desempeño y confiabilidad.

1.3.2 Lubricante

La lubricación es el acto y la consecuencia de lubricar. Este verbo (lubricar), por su parte, hace referencia a la aplicación de una sustancia para minimizar la fricción que se produce cuando distintos elementos entran en contacto (Pérez, 2021).

Para (Wordreference.com, 2024) el concepto de lubricación tiene que ver con la acción de suministrar una sustancia de un mecanismo para mejorar las condiciones de deslizamiento de una pieza.

También un lubricante es una sustancia capaz de disminuir la fricción entre dos superficies que están en contacto. La palabra lubricante proviene del latín *"lubricum"* que significa resbaladizo (Escuela de Ingenierías Industriales, 2024).

Cambridge Dictionary define el lubricante como "un líquido como el aceite el cual es usado para que las partes de un motor se muevan fácilmente, o una sustancia que tiene lugar sobre cualquier superficie para ayudar a moverse más fácilmente una sobre la otra (CambridgeDictionary, 2024).

Para Sanz, (2024), un lubricante es una sustancia capaz de disminuir el roce entre dos superficies que están en contacto, se trata de una delgada capa de fluido, con espesor inferior a una micra, que se interpone entre dos superficies sólidas para evitar su contacto directo y permitir que resbalen sin deteriorarse.

1.3.3 Clasificación de los lubricantes

En el proyecto de investigación *"Estudio para la construcción de un banco de pruebas de lubricantes y grasa"*, efectúa una clasificación de los lubricantes de acuerdo con sus composiciones químicas, en estado físico de la materia y por su componente base (Castellanos & Zurita, 2012).

Por el estado físico de la materia, pueden ser:

- Líquidos
- Semisólidos
- Sólidos

Por su componente base, se caracteriza principalmente por el origen de sus componentes básicos, pueden ser minerales, sintéticos, vegetales o animales, entonces conforme a su proceso de refinación se presenta la siguiente clasificación:

- Grupo I / refinado por solventes
- Grupo II / Hidrofraccionados
- Grupo III / Hidrofraccionados y desparfinados por isomerización
- Grupo IV Poli Alfa Olefinas (PAO) – sintético
- Grupo V Ésteres Di-básico ácido (Diester) – sintético.

1.3.4 Viscosidad

La viscosidad indica la capacidad de fluir que tiene un producto y, en el caso de los lubricantes, depende de la temperatura, como el aceite de motor se ve afectado por la temperatura, las calidades dan una indicación del uso y flujo de líquido cuando está frío y caliente. Por ejemplo:

- A bajas temperaturas, es preferible utilizar un aceite de baja viscosidad para facilitar la circulación del lubricante en su motor durante el arranque en frío;
- Un aceite de motor de alta calidad será más resistente en zonas sensibles (puntos calientes) del motor. Entre más grueso sea el aceite formará una película protectora y limitará el desgaste de las piezas del motor, evitando que se rocen entre sí.

1.3.5 Aditivos

Las bases lubricantes, por sí solas, no brindan la protección completa necesaria para los componentes mecánicos. Se añaden entre los aditivos, compuestos químicos a los aceites para mejorar sus propiedades físicas y químicas (Chávez & Navarrete, 2009). Entre los aditivos se encuentran:

Aditivos de protección de superficie. Actúan directamente sobre las superficies metálicas en contacto, previniendo su desgaste y deterioro. Entre estos encontramos:

- Agentes antidesgaste y extrema presión
- Inhibidores de corrosión y herrumbre
- Detergentes dispersantes
- Modificadores de fricción

Aditivos de desempeño. Garantizan el rendimiento del aceite en diversas condiciones:

- Depresores del punto de fluidez
- Mejoradores del índice de viscosidad

Aditivos para la protección del lubricante: Proteger el aceite de su entorno y contaminantes:

- Antioxidantes
- Antiespumantes
- Desmulsificantes

En resumen, los aditivos son elementos esenciales para la lubricación efectiva, complementando las propiedades de las bases lubricantes y garantizando la protección integral de los componentes mecánicos (Chávez & Navarrete, 2009).

1.3.6 Función de los lubricantes

A continuación, de acuerdo con Ventikos, Sotiralis, & Annetis, (2022), se describen algunas funciones que tienen los lubricantes en sistemas de combustión interna:

- Lubricar la máquina a través de una película resbaladiza entre las superficies metálicas.
- Remover el calor de las superficies metálicas del motor (refrigeración).
- Neutralizar ácidos que pueden ser extremadamente corrosivos.
- Actuar como detergente limpiando las superficies internas del motor de suciedad, insolubles y partículas metálicas.
- Ayudar a la prevención de formación de herrumbre y corrosión en las superficies internas.

Un caso particular según Noria, (2019), es la función que cumple el aceite del sistema hidráulico es proveer la energía de transmisión a través del sistema que permite el trabajo y el movimiento que se quiera realizar para la lubricación, transferencia de calor y control de contaminación.

En cajas reductoras los fines son muy parecidos como es la reducción de fricción, incrementar la eficiencia, reducir el desgaste y la fatiga de contacto por la interacción entre las superficies de los dientes del engranaje y aumentar la durabilidad (Croccolo et al, 2020).

1.3.7 Elección de lubricante

La elección de lubricantes es especial, ya que se requiere tener un pleno conocimiento del manual de fabricante del equipo, es decir, se debe conocer las necesidades específicas tribológicas de cada equipo.

El indicador más relevante a la hora de elegir un lubricante es la viscosidad, la cual es definida como la resistencia que tiene un aceite (líquido) a oponer a cualquier movimiento interno de sus moléculas, o al deslizamiento de una capa de aceite sobre otra, por tanto, del mayor o menor grado de cohesión entre ellas. Cabe mencionar que dicha viscosidad varía con la temperatura (Casado, 2015).

1.3.8 Grado de viscosidad SAE

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) clasifica los aceites lubricantes de acuerdo con su grado de viscosidad. La numeración SAE de un aceite es su grado de viscosidad a 100°C. Por ejemplo, todos los aceites SAE 40 deben tener entre 12,5 cSt y 16.3 cSt a 100°C (Widman international SRL, 2024).

En el caso de un lubricante de grado SAE 15W40, el número 15 indica la viscosidad a una temperatura de arranque a -25°C y el 40 indica la viscosidad del lubricante a una temperatura de 100°C.

La unidad de medida para la viscosidad dinámica en frío en la tabla para el sistema de unidades CGS es el cP (centiPois) mientras que para el sistema de unidades SI es el mPa-s (mili pasca segundo). La relación entre estos dos sistemas de unidades es que 1 cP equivale a 1 mPa-segundo.

En la **tabla 1** se observa un cambio para los aceites de verano que designa solamente el valor de la viscosidad cinemática en cSt a 100°C, más no un valor de viscosidad para aplicación en frío. Por otro lado, también se visualiza la clasificación de los aceites de acuerdo con su viscosidad (bajo el estándar de la SAE), ordenados de arriba abajo, de menor a mayor.

Tabla 1. Viscosidad SAE J300

SAE Viscosity Grade	Low-Temperature (°C) Cranking Viscosity ² , mPa-s, Max	Low-Temperature (°C) Pumping Viscosity ⁴ , mPa-s Max with No Yield Stress ⁴	Low-Shear-Rate Kinematic Viscosity ⁵ (mm ² /s) at 100 °C, Min	Low-Shear-Rate Kinematic Viscosity ⁶ (mm ² /s) at 100 °C, Max	High-Shear-Rate Viscosity ⁵ , (mPa-s) at 150 °C, Min
0W	6200 at -35	60 000 at -40	3.8		
5W	6600 at -30	60 000 at -35	3.8		
10W	7000 at -25	60 000 at -30	4.1		
15W	7000 at -20	60 000 at -25	5.6		
20W	9500 at -15	60 000 at -20	5.6		
25W	13 000 at -10	60 000 at -15	9.3		
8			4.0	<6.1	1.7
12			5.0	<7.1	2.0
16			6.1	<8.2	2.3
20			6.9	<9.3	2.6
30			9.3	<12.5	2.9
40			12.5	<16.3	3.5 (0W-40, 5W-40, and 10W-40 grades)
40			12.5	<16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 grades)
50			16.3	<21.9	3.7
60			21.9	<26.1	3.7

Fuente: Peon Sport, 2019

1.3.9 Grado de viscosidad ISO VG

El grado de viscosidad ISO es la designación que se le da a la clasificación de los lubricantes para la industria en general, la finalidad de esta clasificación es establecer una forma de estandarizar los lubricantes.

Un estudio de posibles temperaturas indicó que a 40°C es la temperatura adecuada para la clasificación de lubricantes industriales. Esta clasificación ISO se basa en la viscosidad del lubricante designando la unidad de viscosidad cinemática a (104°F) 40°C (Noria, 2024).

Por ejemplo, una categoría sería ISO VG 68, esto significa que a 40°C la viscosidad del aceite será de 68 cSt, entonces esa es la misma secuencia lógica para esta clasificación. Siendo los aceites de grado ISO VG 68 los utilizados en la presente investigación.

Tabla 2. Clasificación de viscosidad, ISO 3448

ISO Viscosity Grade	Midpoint Kinematic Viscosity mm ² /s at 40°C (104°F)	Kinematic Viscosity Limit mm ² /s at 40°C (104°F) Minimum	Kinematic Viscosity Limit mm ² /s at 40°C (104°F) Maximum
ISO VG 2	2.2	1.98	2.42
ISO VG 3	3.2	2.88	3.52
ISO VG 5	4.6	4.14	5.06
ISO VG 7	6.8	6.12	7.46
ISO VG 10	10	9.00	11.0
ISO VG 15	15	13.5	16.5
ISO VG 22	22	19.8	24.2
ISO VG 32	32	29.8	35.2
ISO VG 46	46	41.4	50.6
ISO VG 68	68	61.2	74.8
ISO VG 100	100	90.0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650
ISO VG 2200	2200	1980	2420
ISO VG 3200	3200	2880	3520

Fuente: Noria, 2024

1.4 ANÁLISIS DE ACEITE LUBRICANTE USADO

1.4.1 Conceptos básicos

El análisis de aceite usado es una herramienta primordial para la gestión de mantenimiento en activos o equipos en diferentes ámbitos de aplicación, puesto que permite el monitoreo de condición y contribuye a incrementar la confiabilidad de los equipos en un periodo de tiempo determinado.

Para, Fitch & Troyer, (2010), en su libro “*Oil Analysis Basics*” establecen objetivos básicos de esta herramienta, los cuales se mencionan a continuación en el mismo orden que utilizan los autores:

1. Evaluar la condición o edad del aceite que está en servicio.
2. Detectar y medir daños que provienen de las partículas suspendidas en el lubricante (contaminantes).
3. Evaluar la condición de la máquina que está siendo lubricada.

El primer paso en el análisis de lubricante es la toma de la muestra de lubricante in situ siguiendo pautas que permitan obtener una muestra representativa del estado del equipo, luego, esta muestra es enviada al laboratorio para hacer las pruebas pertinentes, para finalmente conocer el estado del lubricante y, por ende, del equipo que se está analizando.

De esta manera el proceso de muestreo se convierte en un interventor primordial en un programa de mantenimiento predictivo para revelar información necesaria para prolongar la vida de su equipo, los intervalos de cambio de aceite y minimizar costos de mantenimiento asociados con cambios de aceite, mano de obra, reparaciones y período de inactividad por fallas.

1.4.2 Importancia en el ámbito marítimo

Teniendo en cuenta a, Marín y Muñoz, (2003), dice que el principal parámetro que determina la vida útil de un motor de combustión interna es el lubricante, de este punto parte la importancia del análisis de lubricante en lo equipos de un buque atunero industrial, se recomienda guiarse por el manual del fabricante de dicha máquina, en donde se indicará la viscosidad y el nivel de servicio o calidad que deberá tener el lubricante seleccionado.

La contaminación del lubricante en una maquinaria es un gran problema de muchos fabricantes, de hecho, el 6%-7% del producto nacional bruto aproximadamente (US \$240 billones) son requeridos simplemente para reparar el daño causado por el desgaste mecánico, lo cual se debe a la contaminación, sin embargo, cuando la contaminación es controlada, la vida de los componentes esenciales de una máquina es susceptibles hasta en 50 veces, cabe destacar que es esta la razón para que el muestreo de rutina sea considerado necesario.

Inclusive el 50 % de las fallas en motores es resultado de la contaminación del aceite lubricante, suciedad o degradación, de esta manera se pueden analizar las características más importantes del lubricante como la viscosidad, el TBN, la acción antioxidante, los efectos dispersantes, detergentes, los aditivos, entre otros (MAN Energy Solutions, 2022).

1.4.3 Pruebas realizadas a la muestra de aceite

Las pruebas para conocer el estado del lubricante en el equipo varían de acuerdo con el parámetro que se requiera obtener, para un profundo entendimiento de las propiedades físicas y químicas se utilizan análisis de elementos (desgaste) que se constituyen la metalurgia

de los equipos. El análisis aditivo involucra químicos que imparten nuevas propiedades específicas, mejorando las ya existentes propiedades del aceite como viscosidad.

De acuerdo con Wakiru et al., (2019), el análisis de contaminantes se lo ejecuta cuando los lubricantes son adulterados con materiales sólidos o líquidos haciéndolo impuro además porque compromete su rendimiento. La contaminación del lubricante puede provenir de diferentes raíces, cuando es por acción del agua, se entiende que hay una fuente externa que ingresa al equipo.

Tabla 3. Clasificación de los parámetros más comunes en el análisis de lubricantes

Clasificación	Parámetros comunes
Físicos y químicos	Viscosidad @ 40°C, Viscosidad @ 100°C, Número Total Base (TBN), Número Total Acido (TAN), punto de inflamabilidad
Aditivos	Boro, Bario, Calcio, Magnesio, Molibdeno, Fosforo, Sodio, Silicio, Zinc
Contaminación	Agua, refrigerante, vanadio, hollín/carbón, potasio, silicio, sodio, boro
Elementos de desgaste	Cromo, hierro, estaño, aluminio, cobre, plomo, níquel, vanadio, titanio, plata.

Fuente: Wakiru, Pintelon, Muchiri, & Chemweno, 2019

Cuando una muestra de lubricante llega a laboratorio, para conocer de su estado, por lo general se realizan las siguientes pruebas:

- **Fisicoquímico:** La cual determina el estado del equipo en periodos de tiempo establecidos.
- **De contaminación:** Detecta sustancias ajenas a la constitución normal del lubricante, restándole efectividad a su función.
- **Espectrometría:** Es una técnica analítica utilizada para medir y analizar las propiedades de la luz de cómo esta interactúa con la materia, en el contexto del análisis de lubricante usado.
- **Ferroggrafía:** Es otra técnica analítica enfocada en la detección y evaluación de partículas metálicas de modo idéntico otros desechos sólidos presentes en el lubricante.

1.4.4 Reporte de análisis de lubricantes

El departamento encargado de entregar el reporte de análisis de lubricantes presenta un formato categorizado de acuerdo con las siguientes secciones:

- Información de la muestra
- Estado del lubricante
- Degradación química
- Contaminación del lubricante
- Desgaste del equipo
- Otros elementos
- Presencia de aditivos

Información de la muestra: la muestra, de esta información por lo general se refiere a un código interno que asigna al laboratorio, fecha de muestreo, ingreso, reporte, horas operativas totales del equipo y horas operativas del aceite en el equipo.

Estado del lubricante: en este apartado se adjunta el resultado en cuanto a las variables de viscosidad, TBN y prueba para detectar humedad, que en este caso representa agua en el sistema.

Degradación química: oxidación, nitración, sulfatación y hollín son las variables que se acuñan a esta parte de la hoja de reporte, esta sección nos permite ver la tendencia de degradación en diferentes periodos de operación, con lo cual el reporte puede ayudar a detectar una potencial falla.

Contaminación del lubricante: la contaminación puede tener un origen distinto de acuerdo con las condiciones de operación del equipo, al tipo de equipo, entre otros factores, en un buque atunero es común que exista contaminación por sodio, ya que los equipos están expuestos a la salinidad del ambiente marino.

Desgaste del equipo: en esta categoría del reporte entran los conocidos “metales de desgaste”, entre los cuales están: hierro, cromo, aluminio, cobre, plomo, estaño, entre otros, el método usual para determinar la presencia de estos metales es la ferrografía, y puede ser aplicado a todos los equipos.

Aditivos: los aditivos comúnmente utilizados en lubricantes son: calcio, magnesio, zinc y fósforo, esta medida nos ayuda a reconocer que tan efectivos está siendo el paquete aditivo en el equipo, a la vez se pueda identificar cuando existe un descenso anormal, ya que este pone en riesgo el equipo.

2 CAPÍTULO II: METODOLOGÍA PARA EL MUESTREO, ANÁLISIS Y MONITOREO DE LUBRICANTES EN BUQUES ATUNEROS

La actual propuesta de investigación de este plan operativo registrará de procedimientos para el muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes en buques atuneros de la ciudad de Manta.

2.1 Muestreo de lubricantes

El éxito de un programa de mantenimiento predictivo basado en análisis de lubricantes empieza en el proceso de toma de muestra, para esto se debe seguir una serie de pasos y cuidados para obtener una muestra representativa.

Un protocolo de toma de muestras es una herramienta para establecer lineamientos existen los siguientes puntos:

- Puerto de toma de muestras
- Usos de herramienta adecuadas
- Procedimiento para tomar la muestra
- Seguridad en el proceso
- Información de la muestra

2.2 Disposiciones generales de la toma de muestras

Como plantea, Fitch & Troyer, (2010), en su libro *“Oil Analysis basics”* marcan los objetivos principales para obtener una muestra de aceite representativa. El primero se refiere a maximizar la densidad de la información, es decir asegurarse de que la muestra brinde información adecuada, aquí es donde entran las categorías en el análisis de lubricantes como la limpieza o la cantidad de agua, cantidad de aditivos y presencia de partículas de desgaste.

Así mismo en el segundo objetivo es minimizar la distorsión de la información, es decir que la muestra debe tomarse de modo que la cantidad extraída sea uniforme, consistente y representativa, además tomar todas las medidas para que la muestra no se contamine en el proceso.

Para establecer el mejor punto de toma de muestra del aceite usado, se deben seguir las pautas ya establecidas por los fabricantes, pero el caso de una embarcación pesquera existe cierta limitación como, por ejemplo, el espacio reducido donde operan los equipos, la aplicación que tiene el equipo y el entorno en el que se desempeña, por ende, se tienen en cuenta las siguientes recomendaciones para un correcto punto de muestreo:

- Zona de gran turbulencia, donde el aceite no sigue un curso recto, sino que se mueve y gira dentro de la tubería.
- Las líneas de retorno y de drenaje hacia el tanque proporcionan muestras más representativas, es decir aguas debajo de los componentes que se desgastan.
- Las muestras no se deben tomar desde filtros y/o separadores, ya que estos componentes eliminan impurezas, y la muestra daría una información no representativa del estado del equipo a analizar.
- En caso de tanques donde se almacena el lubricante, se debe tomar la muestra en un punto medio del nivel de lubricante en el tanque.
- En depósitos húmedos como el cárter de un motor de combustión, no se recomienda tomar la muestra desde el punto de drenaje, lo recomendable es contar con el equipo para tomar muestras desde un punto de drenaje.
- En casos de sistemas hidráulicos la mejor opción es adaptar una válvula de muestreo dedicada, previo al análisis técnico de viabilidad por parte de un especialista en sistemas hidráulicos.

2.3 Consideraciones previas al muestreo

Estas consideraciones se basan en que el procedimiento de muestreo, evitando retrasos en la actividad, para conseguir una muestra representativa, las condiciones se categorizan de la siguiente manera:

- Consideraciones de seguridad
- Consideraciones del entorno
- Consideraciones del equipo de muestreo
- Consideraciones para frecuencia de muestreo

- Consideraciones de la muestra

2.4 Etiquetado e información de la muestra

Un correcto llenado de la etiqueta, proporcionará la información necesaria permitiendo un análisis confiable convirtiéndose en una verdadera herramienta para el personal técnico asociado a las actividades de mantenimiento en el buque.

La importancia de llevar a cabo un completo proceso de etiquetado de la muestra radica en el monitoreo de la condición del equipo, es decir, disponibilidad de todos los datos de una muestra posterior a aquello es importante hacer seguimiento para corregir condiciones de operación y prever fallas prematuras.

Los datos que generalmente debe llevar una muestra son las citadas a continuación:

- Fecha de muestreo
- Empresa, y en este particular caso “buque”
- Equipo o sistema
- Marca y modelo del equipo
- Horas de trabajo del equipo o sistema
- Horas de trabajo del aceite en el equipo o sistema
- Marca y tipo de lubricante usado (por lo general, viscosidad)
- Observaciones en caso de novedades

FECHA DE RECEPCIÓN:	<input type="text"/>	#:	<input type="text"/>
FECHA DE MUESTREO:	<input type="text"/>		
CLIENTE:	<input type="text"/>		
EQUIPO:	<input type="text"/>		
MARCA:	<input type="text"/>		
MODELO:	<input type="text"/>		
TIEMPO DE SERVICIO DEL EQUIPO:	<input type="text"/>	(HRS)	
LUBRICANTE:	<input type="text"/>		
TIEMPO DE SERVICIO DEL ACEITE:	<input type="text"/>	(HRS)	
OBSERVACIONES:	<input type="text"/>		
	<input type="text"/>		

Figura 1. Ejemplo de etiqueta para muestra de aceite

Fuente: Elaboración propia

2.5 Muestreo por tipo de equipo

2.5.1 Motores de combustión

- Bayoneta de nivel
- Puerto de muestreo en línea viva



Figura 2. Muestreo por bayoneta

Fuente: Aguado, 2020



Figura 3. Muestreo por línea viva

Fuente: Aguado, 2020

2.5.2 Reductores-transmisión

- Bayoneta de nivel
- Puerto de muestreo en línea viva



Figura 4. Muestreo en cajas reductoras

Fuente: Noria Latín América, 2023

2.5.3 Sistemas hidráulicos

- Líneas de presión y de retorno
- Puerto de muestreo en depósito



Figura 5. Muestreo del sistema hidráulico en línea de alta presión

Fuente: Airline Hydraulics, 2022

2.5.4 Compresores frigoríficos

- Puerto de drenaje de aceite
- Bayoneta de cárter o depósito húmedo



Figura 6. Toma de muestra de compresor

Fuente: Leatherman, 2023

2.6 Muestreo a través de bomba de vacío

El muestreo de fluidos por bomba de vacío es el método más común para tanques estáticos y cárteres además que no precisa de la instalación de un hardware fijo. Cualquier tipo de lubricante puede ser tomada por el puerto de llenado o una varilla de nivel, hace que este método de muestreo sea una opción rápida y conveniente para el mantenimiento profesional en el proceso de obtener una muestra representativa con fin de obtener una referencia de la condición y sobre todo de la salud de los componentes en operación. Seguir pautas concretas para la toma de muestras permite un preciso análisis de tendencia junto con la apropiada evaluación de cualquier cambio en lubricantes y la condición de los componentes en cuanto a partículas de desgaste y contaminantes (Bureau Veritas, 2020).

2.7 Equipo para el muestreo con bomba de vacío

El equipo utilizado para el proceso de toma de muestras, se compone los siguientes accesorios:

- *Bomba de vacío*



Figura 7. Bomba de vacío manual

Fuente: CST Group, 2024

- *Manguera plástica descartable (diámetro de 1/8 de pulgada)*



Figura 8. Manguera para muestreo

Fuente: CST Group, 2024

- *Envase para tomar de muestra*



Figura 9. Envase de 120 ml

Fuente: CST Group, 2024

2.8 Procedimiento general de muestreo con bomba de vacío

Existen muchos métodos de acuerdo con la toma de muestras en el puerto de donde se hace el muestreo, a continuación, según bureau veritas, (2021), se menciona algunos procedimientos para la recogida de muestras tales como:

Obtener muestras de aceite representativas de las condiciones de operación del equipo y de lubricante, las muestras deben ser tomadas en un intervalo de tiempo en condiciones normales de operación o dentro de 30 minutos después de haberse apagado.

- Hay que asegurar que el indicador del nivel de aceite se encuentre en un punto óptimo que permita la toma de la muestra.
- Definir la longitud del tubo o manguera de acuerdo con el punto de recogida de manera correcta.
- No introducir la manguera de polietileno donde exista movimiento de piezas móviles como pistones, árboles, engranajes o rodamientos.
- Es importante que la manguera sea utilizada una única vez con el fin de no contaminar muestras posteriores con el aceite residual de la muestra tomada previamente.
- Es importante realizar el enroscado de manera correcta, esto con el fin de crear el sellado que permita crear el vacío que producirá la succión del lubricante desde el punto de muestreo.
- Introducir el otro extremo del tubo en el fluido hasta alcanzar el punto de muestreo óptimo.
- Para llenar el envase o botella de aceite, empujar el émbolo de la bomba, asegurarse de que la posición de la bomba es correcta.
- Cuando el aceite llegue al nivel deseado, utilice la rosca del adaptador del tubo haciéndola girar media vuelta en sentido contrario a las agujas del reloj, el flujo se detendrá al instante.
- Desenroscar el envase de muestra y taparlo
- Se debe etiquetar la muestra con la información detallada anteriormente.

2.9 Muestreo por punto de drenaje

Comúnmente no se recomienda tomar una muestra desde el punto de drenaje de un equipo o reservorio, a menos que se tome con cuidado y de la manera correcta. La única manera de tomar una muestra desde el punto de drenaje y que esta sea representativa, se debe tomar cuando el equipo está en funcionamiento, teniendo en cuenta que se debe drenar una cantidad considerable de aceite antes (Oil Laboratory PNG, 2019).

La recomendación anterior específica por parte del laboratorio mencionado, ya que existe el riesgo de producir fallas en el equipo, por ejemplo, un incorrecto proceso puede dejar sin aceite el equipo, lo cual sería un error grave, he ahí el firme propósito de establecer pautas generales para la toma de muestra desde el punto de drenaje.

Por muchas razones este método de muestreo no es recomendado por el hecho que en el fondo de un depósito se encuentran asentados los sedimentos, restos, y partículas, que al momento de tomar la muestra ingresan al envase y la muestra sería no representativa (Fitch & Troyer, 2010).

Como señalan, Fitch & Troyer, (2010), dicen que existen equipos y procedimientos para obtener muestras representativas de lubricante desde el punto de drenaje, por ende, se recomienda las siguientes pautas:

- Añadir un tramo corto de tubo de acero inoxidable, extendiéndose hacia dentro y arriba justo en el punto de movimiento del depósito.
- Otra opción sería obtener una muestra desde el mismo punto, pero con el uso de equipo adecuado explicado anteriormente, este proceso se refleja en la **Figura 10.**



Figura 10. Puerto de toma de muestras por el drenaje

Fuente: Fitch & Troyer, 2010

2.10 Otros métodos de muestreo de lubricantes

Anteriormente se dieron a conocer los métodos de muestreo más comunes en el medio del mantenimiento industrial marino, así mismo se pueden mencionar otros métodos de muestreo. En ese caso, existen motores que cuentan con un puerto o válvula (*minimess*) establecido en el diseño de fábrica del equipo, por el cual se hace mucho más efectivo la toma de muestra de lubricante con el uso de equipo adecuado.

Es imperante destacar que el punto de este puerto *minimess* visualizada en la **Figura 11**, suelen ser instalados en líneas vivas de un sistema de lubricación, lo cual facilita la toma de muestras cuando el equipo está en operación.



Figura 11. Puerto de muestreo *minimess*

Fuente: Ikin fluid, 2021

De otro modo los sistemas de lubricación se hacen a través de una válvula común de drenaje del sistema, en estos casos es recomendable tomar la muestra en este punto y cuando se consideren las siguientes condiciones:

- Que sea previo al filtro y separadores.
- La válvula no debe estar instalada en zona de pobre flujo de movimiento de lubricante.
- En lo posible evitar exponer la válvula de muestreo a contaminaciones externas como humedad o productos corrosivos.
- Siempre limpiar la válvula, previo al muestreo.
- Se debe drenar una cantidad de aceite antes de tomar una muestra de la válvula.

2.11 Análisis de lubricante usado

En esta sección de la ruta metodológica de la investigación consiste en implementar técnicas analíticas ya conocidas para entender el reporte entregado por parte del laboratorio, a la se dará una interpretación consistente de la condición de los equipos analizados.

Para lograr dar un diagnóstico preciso de la condición de un equipo es necesario entender su naturaleza, es decir, cuál es su principal función, por ejemplo, motor propulsivo de la embarcación, motor de grupo electrógeno, transmisiones o reductores, compresores frigoríficos, sistemas hidráulicos.

2.12 Pruebas de laboratorio

2.12.1 Viscosidad

Una prueba de viscosidad determina la viscosidad cinemática (o el espesor) de una muestra de aceite a una temperatura determinada. El instrumento utilizado para medir esta magnitud es el viscosímetro, de rotación lo más comunes en el campo de análisis de laboratorio

En una prueba de viscosidad, el aceite se vierte en un tubo sumergido en un baño a una temperatura específica (típicamente 40°C). El aceite se cronometra a medida que fluye hacia abajo de un punto al otro, y ese tiempo se usa para medir su viscosidad cinemática.

La medición de la viscosidad del aceite a diferentes temperaturas (40°C y 100°C) da un índice de viscosidad (VI). La cantidad en la que cambia el flujo puede indicar problemas, como dilución o sobrecalentamiento.

2.12.2 BN o Número Base

Principalmente se aplica a un depósito húmedo como el cárter de un motor, el número básico mide la reserva alcalina de un aceite. Los aceites de motores traen en ellos una base aditiva (alta alcalinidad) siendo su principal función neutralizar los ácidos que se generan durante la combustión. La unidad de medida del BN es mgKOH/gr, son miligramos de hidróxido de potasio por cada gramo de aceite.

La norma ASTM D2896, desarrollada por la sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM), incluye dos métodos de prueba para la determinación de componentes básicos en productos petrolíferos mediante titulación de ácido perclórico en ácido acético glacial (EUROLAB, 2024).

Dependiendo de la aplicación, el valor del TBN varía desde 7mg KOH/g en lubricantes para motores de combustión hasta 80 mg KOH/g para lubricantes de grado marino (Metrohm, 2021).

2.12.3 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Es un método que provee información molecular útil acerca de los cambios en un lubricante y los compartimientos mecánicos que son lubricados (Garry & Bowman, 2007).

Desde el punto de vista de, Fitch & Troyer, (2010), indica que, en una sola configuración del instrumento la densidad determinada de aceite (longitud de trayectoria) se aplica a la celda de prueba del FTIR a través de la cuál pasa una energía infrarroja. Numerosas propiedades del aceite, aditivos y contaminantes absorben energía infrarroja en particulares bandas espectrales infrarrojas (similar a la frecuencia). Este método de análisis del aceite usado suele ser aplicado para identificar contaminantes (hollín, agua), productos de degradación del aceite (óxidos, nitratos y sulfatos) y aditivos.

2.12.4 Densidad férrica

La densidad férrica se refiere a la concentración de partículas ferromagnéticas dispersas en el aceite. Un método común es la ferrografía de lectura directa, la cual permite

determinar el tamaño de las partículas de desgaste interno de la máquina, por ejemplo, un aumento del número de partículas grandes puede indicar un desgaste severo, mientras que la presencia de muchas partículas pequeñas indica un desgaste normal. El análisis de la densidad ferrosa en el aceite presenta una rápida y poderosa imagen del panorama de desgaste de un componente lubricado (Machinery Lubrication, 2019). Cabe recalcar que este método no es usado para efectos de esta investigación.

2.12.5 Contaminantes microscópicos e identificación de partículas de desgaste

Cuando se detecta la presencia de desgaste anormal de metales se asemeja por otros métodos (como conteo de partículas, espectroscopía elemental y/o análisis de densidad ferrosa), lo siguiente es realizar la identificación y eliminación de partículas microscópicas.

Haciendo uso de un microscopio óptico se tomará en cuenta, la morfología de la partícula, color, tamaño, reflectividad, la apariencia superficial, detalles de bordes, angularidad y concentración relativa que provee al analista de pistas acerca de la naturaleza, severidad y causa raíz del ingreso de contaminación o problemas de desgaste (Fitch & Troyer, 2010).

2.12.6 Detección de humedad por crepitación

La prueba de detección de humedad por crepitación consiste en una prueba visual, que tiene lugar en una plancha que se calienta hasta los 100°C o más usando un mechero Bunsen (Noria, 2021).

Si bien este método puede hacer uso de un sensor que envía una señal cuando la muestra está contaminada por agua en niveles que pueden ser perjudiciales para el equipo a analizar, también el laboratorista puede determinar la cantidad de agua visualmente.

2.13 Metodología SACODE

Según la empresa Machinery Lubrication, (2006), utiliza una técnica conocida como “*SACODE*”, que brindan las bases necesarias para realizar una concreta interpretación de los resultados del análisis de aceite, a través del seguimiento sistemático. Dicha sigla indica el orden con el cual se revisarán las 3 categorías del análisis; SA para las propiedades individuales del aceite; CO designado para los elementos contaminantes en el aceite; DE designado para los metales de desgaste. El significado de las siglas del acrónimo se define de la siguiente manera:

- **Salus:** Hace referencia al vocablo latín “salus” que se define como salud o bienestar, e incluye el estudio de todas las propiedades del aceite como la viscosidad, paquete aditivo (fosforo, zinc, calcio, bario, magnesio, etc.), oxidación, nitración, número base (BN), índice de viscosidad, etc.
- **Comtangere:** Se asigna todos los materiales contaminantes en el aceite, como mugre, silicio, polvo, solventes, partículas sólidas, combustible, materiales de proceso (cemento, carbón), hollín, refrigerantes y otros aceites.
- **Defessus:** Así como otros términos, proveniente del vocablo latín, a esta sección del análisis se le denomina desgaste. Tiene en cuenta el desgaste de metales como hierro, cobre, cromo, estaño, níquel, aluminio, plomo entre otros.

Lo mejor es usar el análisis de aceite como una herramienta de mantenimiento proactivo para investigar causas raíz (la parte escondida del iceberg), lo cual está determinado por la salud del aceite y la contaminación.

Para mejores resultados en la aplicación de esta metodología en el análisis de lubricante se pueden adaptar acciones como:

- a) Considerar todos los detalles de la muestra
- b) Normalizar
- c) Comparar los resultados nuevos con los previos
- d) Revisión y clasificación de la información
- e) Realizar conclusiones de acuerdo con los resultados

Las acciones proactivas y ambientales definen un plan de acción sostenido del aceite y del equipo, mientras que se hace uso del sistema del código de colores para indicar condiciones como: verde; para condición normal que no requiere acción, amarillo; para condición adversa se pide acción y rojo; para condición crítica o anormal denota operación inmediata.

2.14 Reporte de análisis de lubricante usado

El reporte entregado por el laboratorio al personal técnico detalla el resultado del análisis de determinadas muestras, de esta manera en una misma hoja de reporte se va añadiendo el resultado de distintos análisis llevados a cabo en un periodo de tiempo. De esta

forma se logra construir una base de datos de la condición de los equipos y el desempeño del lubricante en la operación de estos.

Es necesario mencionar que cada equipo tiene su propia hoja de reporte, ya que el análisis de lubricantes se aplica de manera individual de acuerdo con las aplicaciones, rangos de operación y programas de mantenimiento.

El reporte debe contener toda la información detallada del equipo, por ejemplo, fecha de muestreo, horas de equipo y aceite, marca y modelo del equipo, tipo de lubricante usado, esto con el fin de llevar un flujo de información sistematizado.

2.14.1 Estado de lubricante

En el equipo de estado del lubricante se ubica el resultado de la prueba de viscosidad, siendo su unidad de medida el cSt (centiStokes), en caso de reportes de motores de combustión se añade el valor de TBN (Número Total Base) y por último en este apartado se puede apreciar la presencia de humedad, es decir, si existe la presencia de agua o no.

2.14.2 Degradación química

En esta sección del reporte se analiza el estado del lubricante en base a la degradación de sus componentes químicos, estos parámetros son la oxidación, nitración y sulfatación siendo su unidad de medida la absorbancia por centímetro que el químico analista los toma como número de ondas, ya que es la manera más eficiente para examinar la frecuencia donde se absorbe la radiación, y simplemente en número de ondas que hay en un centímetro.

Otro componente importante de esta sección es la cantidad de hollín, la cual se analiza de acuerdo con el peso del hollín en porcentaje con respecto al peso total del lubricante.

2.14.3 Contaminación del lubricante

Es fundamental entender que la contaminación del lubricante es un factor crítico que puede afectar significativamente tanto el rendimiento como la vida útil del lubricante y del equipo. En el análisis del lubricante usado, la presencia de ciertos elementos nos permite identificar distintos tipos de contaminación. Los elementos que corresponde a esta sección son: Sodio, Vanadio, Silicio, Níquel, siendo su unidad de medida en ppm (partículas por millón).

2.14.4 Desgaste del equipo

Entender el desgaste del equipo a través del análisis del lubricante usado es una herramienta esencial en la gestión del mantenimiento y la operación de maquinaria. Proporciona datos valiosos para la toma de decisiones informadas, mejora la eficiencia y confiabilidad de los equipos, y optimiza los costos operativos y de mantenimiento.

Se consideran metales indicativos de desgaste el hierro, cromo, aluminio, cobre, plomo y estaño, los cuales son parámetros incluidos en el reporte de análisis de lubricante usado.

2.14.5 Presencia de aditivos

Corresponde a aditivos comunes en los lubricantes, los cuales pueden ser: calcio, magnesio, zinc y fósforo. Estos datos solamente se utilizan como referencia de que están presentes en el lubricante más no se consideran como elementos activos para evitar fallas en este proyecto.

2.15 Monitorización de condición

Las herramientas de análisis de lubricante usado es una condición del equipo en casos determinados, es decir nos dice la condición del momento que se tomó la muestra, cumpliendo así su función de predecir alguna falla prematura.

Utilizar el muestreo de lubricante de un equipo no significa mucho, si no se establecen periodos de muestreo periódicos, donde brindar información detallada de un periodo de funcionamiento dado, es proceso de monitorización.

La monitorización es una herramienta útil para establecer estados óptimos de funcionamiento y así obtener datos de rendimiento esto permitirá el prever fallas que si no se detectan a tiempo pueden convertirse en problemas más complejos, que se derivan en la parada repentina, siendo esto contraproducente para los procesos industriales.

El análisis de lubricante usado en distintos periodos de tiempo permite crear un reporte del comportamiento, logrando de esta manera determinar el estado real de cada equipo y tomar acciones que eliminen el estado de alerta.

2.16 Límites condenatorios de aceite

Los límites condenatorios del aceite son valores límites que determinan la condición del lubricante, la cuál es un complemento para la monitorización.

Cuando estos valores se excedan, se considera que el aceite ha alcanzado el final de su vida útil y debe ser reemplazado. Estos límites ayudan a prevenir fallos de los componentes y aseguran el rendimiento óptimo del equipo. En este proyecto se toman las referencias ya establecidas por el laboratorio encargado del análisis y valores generalmente aceptados.

Tabla 4. Valores típicos de precaución y acciones obligatorias

Propiedad analizada	Método	Unidad	Precaución	Límites c/acciones o.
Viscosidad cSt @ 40°C	ISO 3104	cSt (mm ² s ⁻¹) @ 40°C	-20%/+25%	-25%/+45%
		cSt (mm ² s ⁻¹) @ 100°C	-15%/15%	-20%/+25%
Numero Base (BN)	ISO 3771	mg KOH/g	-40%	-50%
Contenido de agua	ISO 3733	% V/V	> 0.2	>0.4
Insolubles de pentano	ASTM D 893B	% m/m	>1.5	>2.0

Fuente: CIMAC, 2011

La tabla 4 brinda un enfoque acerca de los límites aceptados para motores de combustión, algunos de estos valores pueden coincidir con los utilizados en laboratorio ya que cada estancia decide cuál es la mejor manera de determinar límites según diversos factores.

2.17 Interpretación de reportes de análisis

Una forma útil de estudiar resultados del análisis de lubricantes es a través de gráficos de tendencias, en el cual están señalados los límites tanto de precaución como de anormalidad en el equipo tal como se muestra en la figura 12. Esta tendencia se va construyendo de manera cronológica con los resultados obtenidos de los análisis ya realizados en cada equipo. Cabe destacar que estudiar de manera cronológica los resultados es útil para construir un parámetro de referencia del equipo, por ejemplo, si los reportes de los últimos 5 muestreos nos dan un indicador positivo del funcionamiento del equipo, la tendencia servirá de referencia para otro periodo de muestreo, entonces se hará más fácil determinar la condición futura de un equipo.

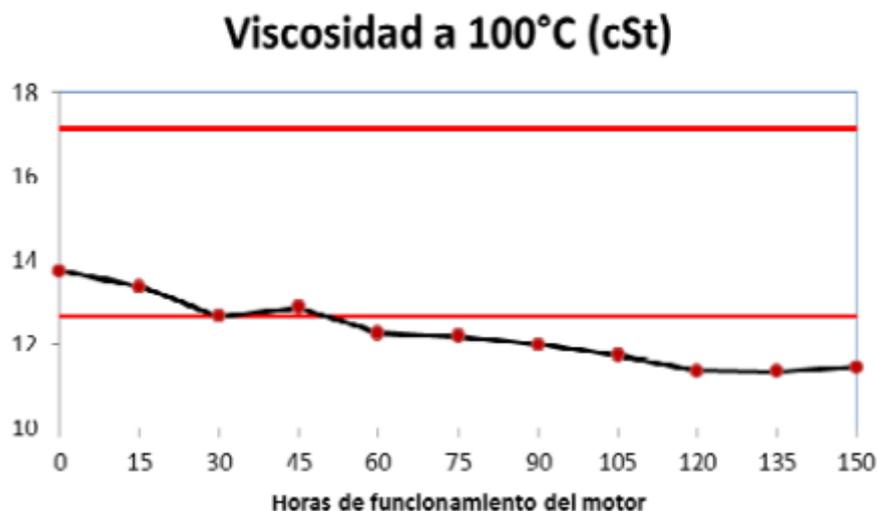


Figura 12. Valores obtenidos en viscosidad

Fuente: Saldivia, 2013

El papel más determinante del análisis de lubricante usado en los equipos es la evaluación y la monitorización de la condición, luego en base a estos resultados se pueden tomar decisiones acertadas que garanticen el correcto funcionamiento de los equipos, la prevención de alguna falla y la seguridad del operario.

2.18 Código de colores en el reporte de análisis

Una práctica común para diagnosticar la condición del equipo y del lubricante es a través de un código de colores, el cual es usado en la mayoría de los laboratorios, ya que es mucho más entendible a la hora de compartir los resultados con los operarios de los equipos o con los técnicos encargados.

Este código consiste en colores básicos que son:

- Verde, el cual denota condiciones óptimas.
- Naranja, al presentarse parámetros fuera del rango óptimo.
- Rojo, al presentarse parámetros que suponen riesgo de falla.

Existen casos en que la muestra por diferentes razones puede presentar demasiada suciedad, esto dificulta la detección de parámetros más significativos como la viscosidad y el TBN, en caso de motores de combustión. Para estos casos se asigna N/D, qué significa no detectado.

2.19 Posibles diagnósticos

Los parámetros más significativos en el análisis de lubricante usado por lo general es la viscosidad, ya que un cambio brusco de esta puede comprometer directamente el funcionamiento del equipo, otro parámetro importante es el TBN (en motores de combustión), en este caso una disminución del TBN o BN puede incrementar el riesgo de desgaste prematuro por rozamiento.

Tanto la viscosidad como el número base son propiedades de suma importancia en el monitoreo de condición ya que estas dos características están íntimamente ligadas con la calidad del lubricante, y llegan a sufrir cambio ya sea por una falla con el lubricante o con un comportamiento anormal del equipo, entonces llevar el control de estos dos componentes es de suma importancia para la detección temprana de fallas.

Las medidas que tienen que ver con degradación del lubricante son; oxidación, nitración, sulfatación y porcentaje de hollín, parámetros representativos del estado del equipo, y a través de su estudio se pueden determinar posibles fallas en la combustión, por pobre calidad de combustible, defectos del equipo, una condición de funcionamiento no detectada o en casos de motores una combustión inapropiada.

En la sección de desgaste por metales, el análisis se vuelve más subjetivo ya que depende exclusivamente de la composición de cada equipo, por ejemplo, el cobre por lo general es un componente común en cajas reductoras, por otro lado el hierro se encuentra en el motor de combustión o compresores frigoríficos, por ende, para lograr un mejor diagnóstico de los metales es necesario regirse por límites condinatorios ya establecidos por el fabricante del equipo o por parte de un laboratorio especializado.

3 CAPÍTULO III: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE MUESTREO, ANÁLISIS Y MONITOREO EN BARCOS ATUNEROS DE MANTA

3.1 Evaluación de resultados

En esta investigación se demuestra los resultados de análisis aplicados en diferentes embarcaciones atuneras industriales de la ciudad de Manta, de acuerdo con cada monitoreo en las embarcaciones de diferentes secciones, se realizó el análisis de lubricante por equipo, aplicando la metodología SACODE.

También se realizó herramientas estadísticas gráficas como el análisis de tendencias para determinar la condición de los equipos y monitorizar la condición en caso de posibles fallas, esto ayudará a la toma de decisiones del personal técnico a cargo del mantenimiento de las unidades.

3.2 Barco atunero industrial n° 1

El barco atunero número industrial n° 1 se le aplicó el análisis de lubricantes de los siguientes componentes:

- Máquina principal
- Motores Auxiliares
- Sistema hidráulico

3.2.1 Máquina Principal del barco atunero n°1

La máquina principal de este barco atunero es un motor de combustión interna Marca Niigata de 4 tiempos, con una configuración de 6 cilindros en línea.

Este motor usa un aceite de grado SAE 40 con una base alcalina (TBN) 15. A continuación, se muestran los resultados de los reportes de análisis de maquina principal, en base a la viscosidad y TBN.

Tabla 5. Tabla. Viscosidad y TBN

Máquina principal del barco atunero n°1				
Muestra y proyección	Equipo Hrs/ Km	Aceite Hrs/ Km	Viscosidad, cSt, @ 100°C	T.B.N. mgKOH/gr
1	No registra	No registra	14,5	11,4
2	3606	578	13,4	11,8
3	3906	878	14,3	13,7
4	4519	1491	14,6	11,4
5	4583	1555	14,8	11,2
6	4960	1932	14,2	10,9

Fuente: Elaboración propia

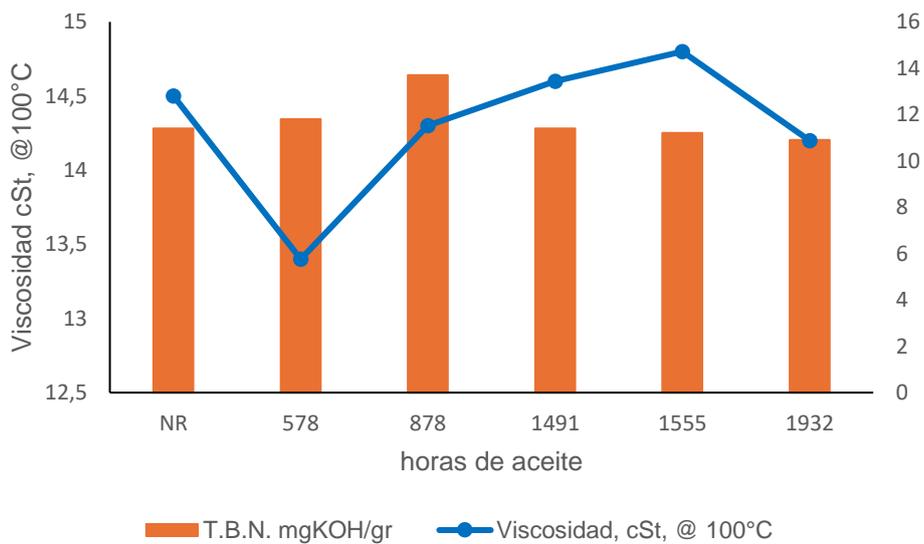


Figura 13. Tendencia entre viscosidad y TBN de máquina principal del barco atunero n°1

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla representa los valores límites o límites condenatorios para motores de combustión.

Tabla 6. Valores límites en motores

Rangos Generales				
	Precaución		Anormal	
Viscosidad cSt, @ 100°C	<	12,3	>	16,7
T.B.N. mgKOH/gr	<	5,0	<	4,0

Fuente: Elaboración propia

Los análisis muestran que el aceite no sobrepasa los límites condenatorios usados en esta investigación, por ende, se descarta la posibilidad de falla en este equipo, lo más recomendable es seguir con monitoreo de condición.

3.2.2 Motor auxiliar n°1 del barco atunero n°1

Este motor es marca YANMAR con configuración de pistones en V, usa un aceite SAE 40, con un TBN 15.

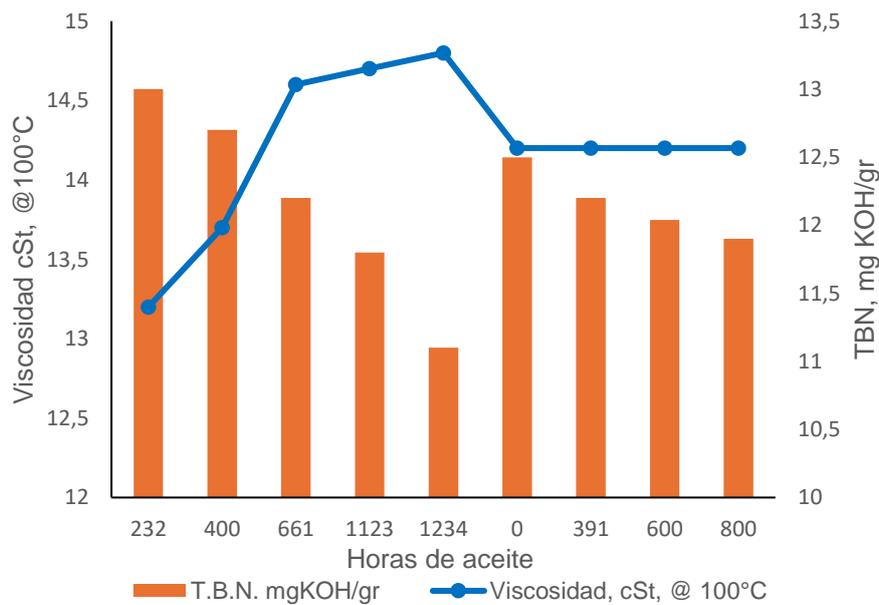


Figura 14. Tendencia, viscosidad y oxidación de motor auxiliar n°1 del barco atunero n1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Viscosidad y TBN

Auxiliar n°1 del buque atunero n°1				
Muestra y proyección	Equipo Hrs/Km	Aceite Hrs/Km	Viscosidad cSt, @ 100°C	T.B.N. mgKOH/gr
1	2290	232	13,2	13
2	2458	400	13,7	12,7
3	2468	661	14,6	12,2
4	3311	1123	14,7	11,8
5	3366	1234	14,8	11,1
6	3422	0	14,2	12,5
7	3785	391	14,2	12,2
8	3994	600	14,2	12,04
9	4194	800	14,2	11,9

Fuente: Elaboración propia

La novedad suscitada fue el aumento de la cantidad de silicio en el lubricante, este se debe por lo general a la contaminación por tierra o polvo, además de estos se presenta niveles elevados de desgaste de cobre. La acción proactiva en este caso es el cambio de aceite que se procede a realizar. Los límites condinatorios del aceite para el sodio y silicio son los siguientes.

Tabla 8. Límites de elementos de contaminación

Elementos de contaminación	* Rangos generales			
	Precaución		Anormal	
Silicio (Si)	≥	62	≥	92
Sodio (Na)	≥	40	≥	60
Vanadio (V)	≥	30	≥	50
Níquel (Ni)		--	≥	20

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la tendencia del comportamiento con respecto a la contaminación de lubricantes en el periodo de febrero a junio del 2024.

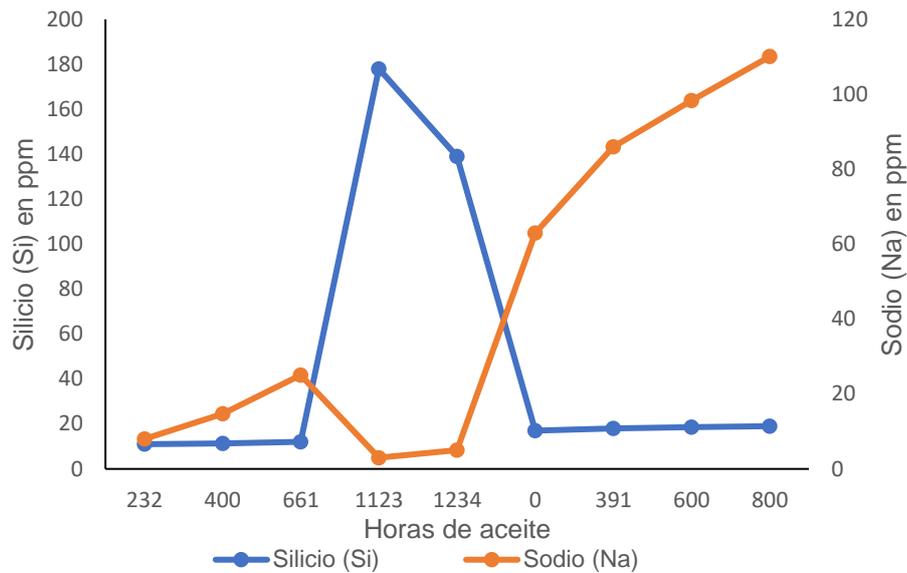


Figura 15: Tendencia, silicio y sodio de motor auxiliar, barco atunero n°1

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en el gráfico de tendencias, el comportamiento del aceite es normal, pero a las 1123 horas, el reporte de análisis evidencia la presencia de silicio en el sistema (por lo general tierra o polvo), además de nivel de desgaste por cobre en niveles anormales, luego se procede a realizar otro muestreo a las 1234 horas, entonces este análisis reporta otro nivel de desgaste adicional por hierro, se aprecia en la siguiente figura.

Este nivel de desgaste por silicio ha provocado una alteración, que se refleja en el análisis de la siguiente figura.

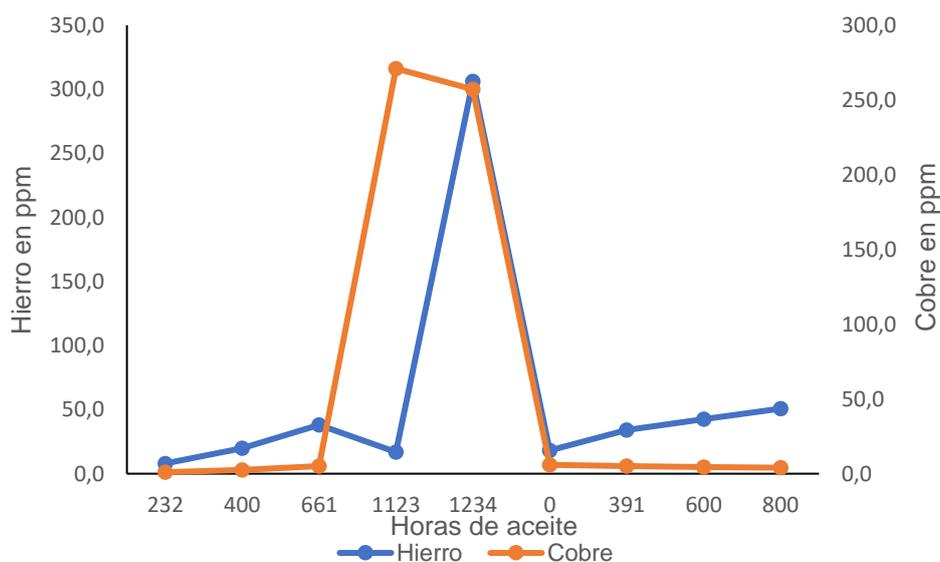


Figura 16. Tendencia de desgaste hierro-cobre de motor auxiliar y barco atunero n°1

Fuente: Elaboración propia

La acción proactiva del personal de mantenimiento consiste en hacer el respectivo cambio de aceite, al tomar la muestra del aceite nuevo en el cárter y realizar el análisis se puede evidenciar que los niveles de desgaste anormales se estabilizan a niveles normales.

A pesar de que los niveles de desgaste se estabilizan con la presencia de sodio en niveles anormales, una vez llevado a cabo el cambio de aceite, se procede a hacer otro muestreo a las 391 horas de aceite, pero el nivel sigue aumentando paulatinamente como se muestra en la figura.

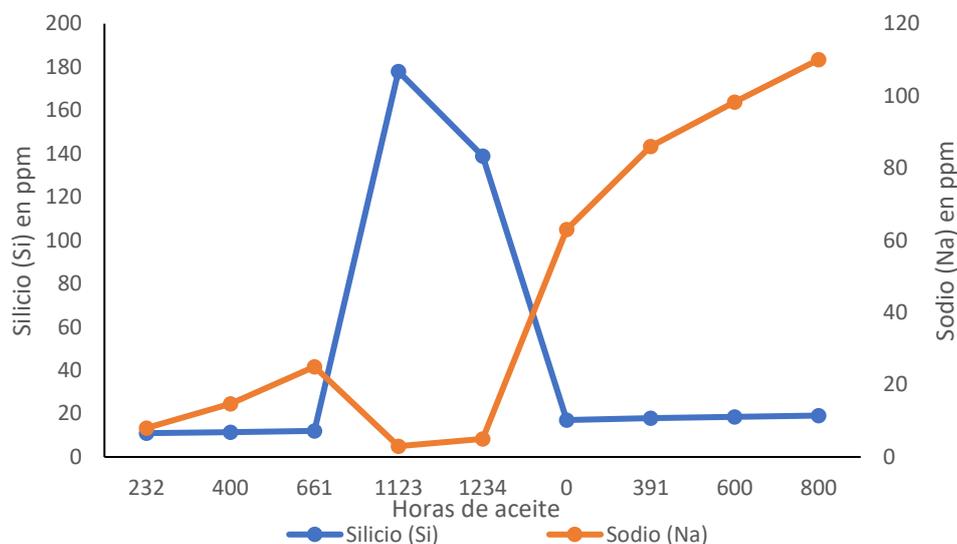


Figura 17. Tendencia de contaminación silicio-sodio de motor auxiliar y de barco atunero n°1.

Fuente: Elaboración propia

Se hace un pronóstico lineal y por lo consiguiente en las próximas 600 y 800 horas existirá un incremento de sodio, para este particular caso se deben seguir toando muestras, pero se hace necesario tomar un ejemplar del tanque reservorio de aceite para comprobar indicios de contaminación, en este punto de la investigación no se ha llegado a ejecutar en el barco de pesca. Se seguirá con el monitoreo y análisis de lubricantes hasta llegar a la raíz del problema.

3.2.3 Motor auxiliar n°2 del barco atunero n°1

Los resultados presentados corresponden a un motor Yanmar de 4 tiempos, utilizando aceite SAE 40 con un TBN 15.

Tabla 9. Viscosidad y TBN motor auxiliar y del barco atunero n°2

Motor Auxiliar n° 2				
Muestra y proyección	Equipo Hrs/ Km	Aceite Hrs/ Km	Viscosidad, cSt 100°C	T.B.N. mgKOH/gr
1	9170	887	14,1	12,1
2	9283	1000	14,13	11,9
3	9583	1300	14,22	11,34
4	9963	1591	14,3	10,8
5	10140	1922	14	10,9
6	10274	2056	14,1	10,5
7	10274	0	14,2	15
8	10510	274	14,9	12,5
9	10678	442	14,9	12,3
10	11036	800	14,9	11,9
11	11254	1114	14,9	11,5
12	11440	1300	14,35	11,4
13	11640	1500	14,29	11,03

Fuente: Elaboración propia

Se exponen 13 resultados entre valores del reporte de análisis y proyecciones, siendo la hora de recambio de aceite a las 2056 horas, demostrando un excelente desempeño luego en el siguiente periodo de uso se realiza un muestreo-análisis a las 1114 horas de aceite con excelentes resultados, por lo cual la proyección a las 1300 y 1500 horas es prometedora.

A continuación, se muestra el gráfico de tendencias del auxiliar n° 2:

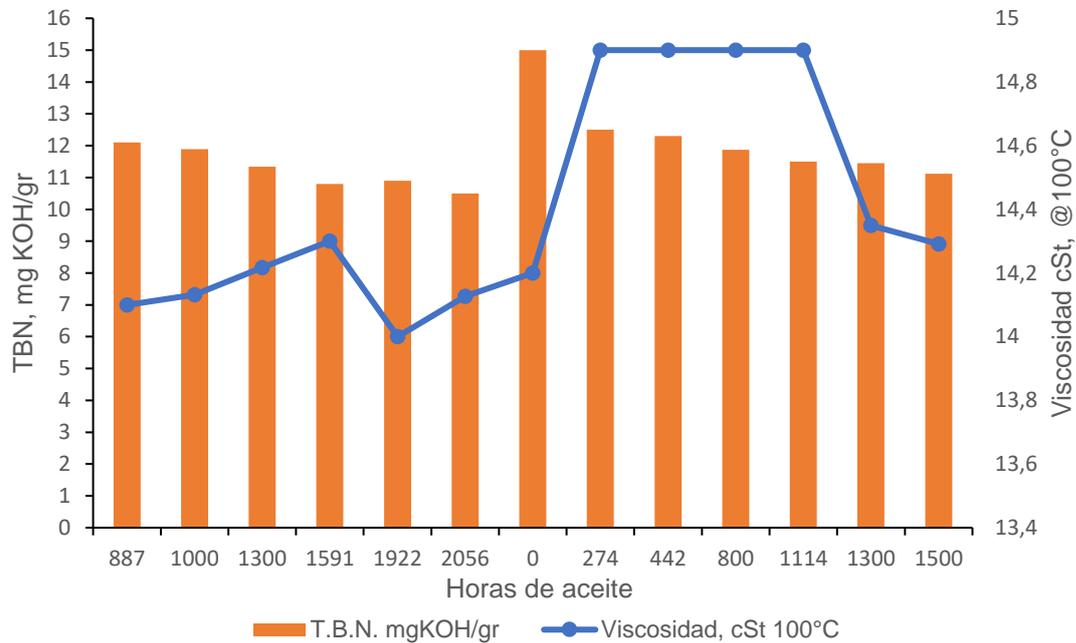


Figura 18. Tendencia viscosidad-TBN de motor auxiliar n°2 del barco atunero n°1

Fuente: Elaboración propia

El gráfico del análisis de aceite en base a TBN y viscosidad muestra que desde las 887 hasta las 2056 horas existe un comportamiento normal, en el nuevo periodo de uso del aceite es decir desde la hora 0, es notorio un comportamiento normal hasta la proyección de 1500 horas de aceite. Entre las 274 hasta las 1114 hay un aumento en la viscosidad, pero sin llegar a un punto que representa una anomalía, mientras que el TBN muestran una disminución normal de acuerdo con el uso y operación del equipo.

3.2.4 Sistema hidráulico del barco atunero n°1

En el sistema hidráulico usualmente se utiliza un el aceite de viscosidad ISO 68, los parámetros del análisis de viscosidad en cSt a 40°C y la oxidación en Abs/cm (Absorbancia/centímetro), pero obviamente se aplica el análisis para determinar contaminantes y nivel de desgaste.

En el sistema hidráulico de este buque (sistema de grúas y winches), gracias al análisis de lubricante se logró determinar una contaminación por agua o humedad en el aceite, por lo cual se lograron tomar todas las medidas proactivas al caso, lo cual consistió en reemplazar todo el aceite del sistema, no sin antes eliminar toda la humedad del sistema.

Tabla 10. Parámetros analizados en el sistema hidráulico

Sistema hidráulico del barco atunero n°1					
Fecha de muestreo	1/4/2024	5/4/2024	1/5/2024	6/6/2024	1/7/2024
Viscosidad, cSt 40°C	ND	68,00	68,20	62,20	60,5
Oxidación, Abs/cm	ND	0,00	5,4	5,80	8,8
Humedad	Positivo	negativo	negativo	negativo	negativo
Sodio ppm	ND	0,0	18,00	25,0	36,8

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el gráfico correspondiente a la viscosidad y oxidación:

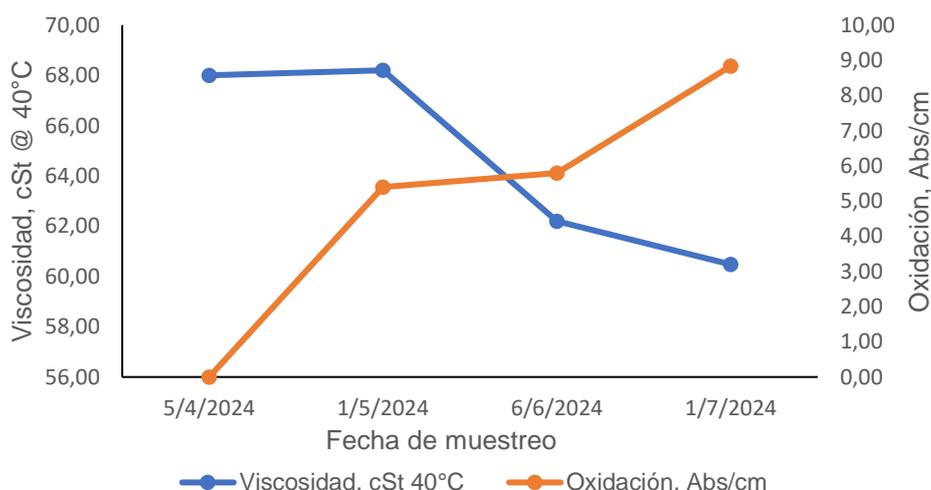


Figura 19. Tendencia viscosidad-oxidación del sistema hidráulico del barco atunero n°1

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la contaminación de lubricante, el resultado con fecha de 6 de junio del 2024, se observa un incremento en cuanto al nivel de sodio ppm (partículas por millón), el cual se sitúa como un parámetro en el nivel amarillo es decir precaución, esto indica que se debe volver a tomar muestras para determinar la evolución de la tendencia, inclusive a la falta de muestra se procedió a realizar un muestreo lineal para obtener un posible comportamiento.

Tabla 11. Cantidad de sodio en el sistema

Sistema hidráulico	
Fecha de muestreo	Sodio (ppm)
1/4/2024	ND
5/4/2024	0
1/5/2024	18
6/6/2024	25
1/7/2024	36,8
15/7/2024	42,3

Fuente: Elaboración propia

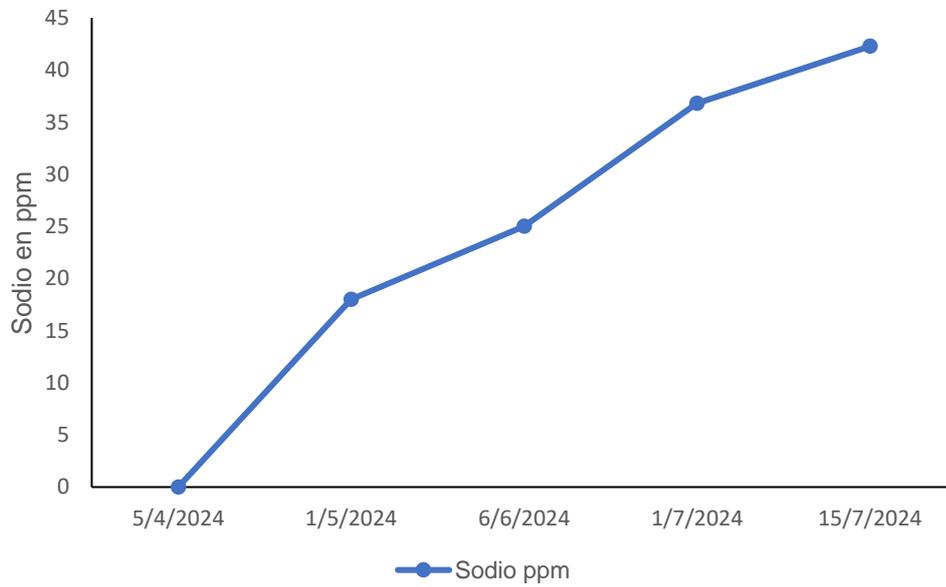


Figura 20. Tendencia de nivel de sodio del sistema hidráulico de barco atunero n°1

Fuente: Elaboración propia

3.3 Barco atunero industrial n°2

3.3.1 Máquina principal del barco atunero n°2

La máquina principal de este barco atunero es un motor de combustión interna marca Niigata de 4 tiempos, 6 cilindros en línea, con similares características al barco atunero n°1.

A continuación, se muestran los resultados de análisis de máquina principal, sabiendo que el aceite usado en este equipo es grado SAE 40 y TBN 15.

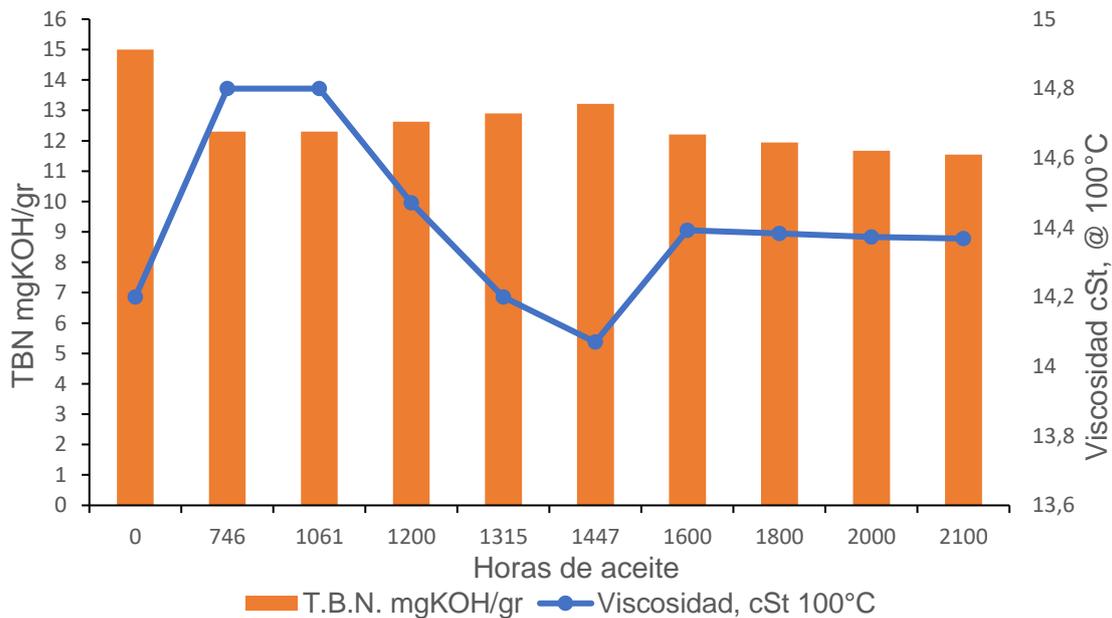


Figura 21. Tendencia viscosidad-TBN de máquina principal del buque atunero n°2

Fuente: Elaboración propia

En gráfico muestra que los parámetros se mantienen dentro del margen normal de operación, por ende, el motor puede seguir operando si ningún problema, sin embargo, la proyección a las 2000 horas de muestra una tendencia de la viscosidad a disminuir, esto se debe contrastar con el respectivo análisis a las 2000 horas de operación.

3.3.2 Motor auxiliar n°2 del barco atunero n°2

Para el motor auxiliar #2 del grupo eléctrico #2 tiene una configuración de 4 tiempos de marca Yanmar, así mismo utiliza en su sistema de lubricante SAE 40 Y TBN 15.

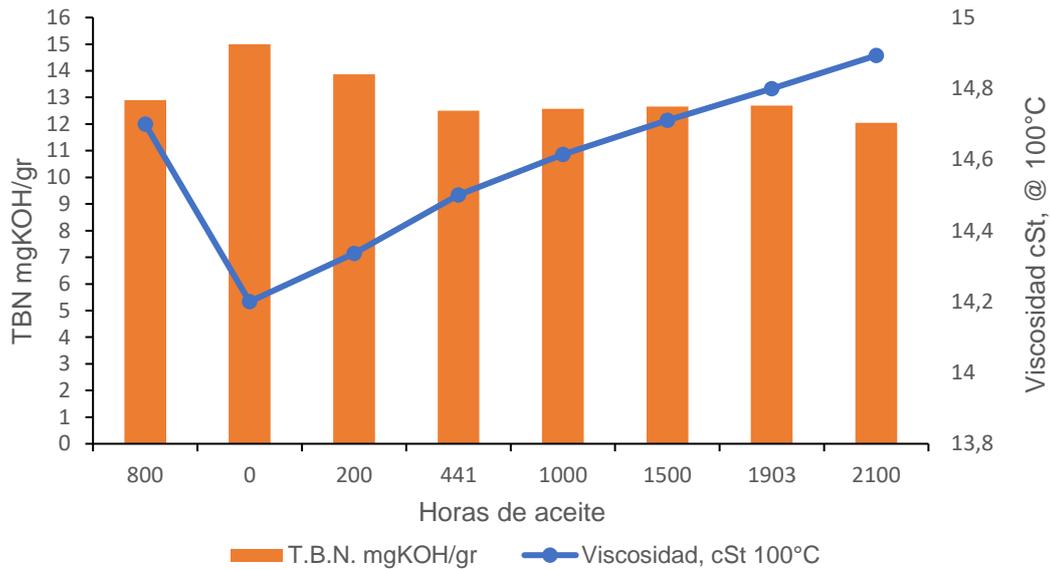


Figura 22. Tendencia viscosidad-TBN de motor auxiliar y de barco atunero n°2

Fuente: Elaboración propia

La figura muestra los resultados de 3 muestras que corresponden a las tomadas en el barco y analizadas en laboratorio, otros valores corresponden a proyecciones de los estos resultados, esta proyección es útil para efectos de establecer tendencias, los valores de TBN y viscosidad se pueden apreciar en el siguiente gráfico.

3.3.3 Motor de panga del barco atunero n°2

El motor de panga del barco atunero n°2 es marca Yanmar de 4 tiempos, de la misma manera se usa un aceite grado SAE 40 y un TBN 15.

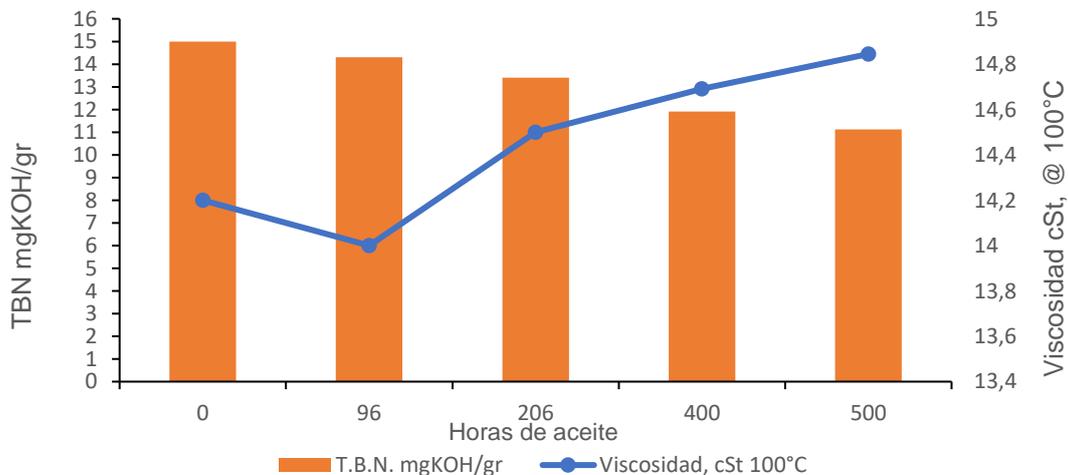


Figura 23. Tendencia viscosidad-TBN de motor de panga del barco atunero n°2

Fuente: Elaboración propia

El gráfico de viscosidad y TBN muestran la tendencia y las variaciones entre las 0 y las 500 horas de uso del lubricante, siendo el resultado de las 500 horas una proyección en base a los resultados obtenidos, esta proyección muestra un excelente rendimiento del lubricante, a continuación, se muestra el gráfico de tendencias.

3.4 Barco atunero industrial n°3

3.4.1 Máquina Principal del buque atunero n°3

El motor del barco atunero n°3 es un motor General Electric de 4 tiempos con una configuración de 12 cilindros en V. El lubricante usado es grado SAE 40 y un TBN 16. Los resultados de la máquina principal del barco n°3 en cuanto a viscosidad en cSt a 100° C y TBN (mg KOH/gr) se muestran en la figura.

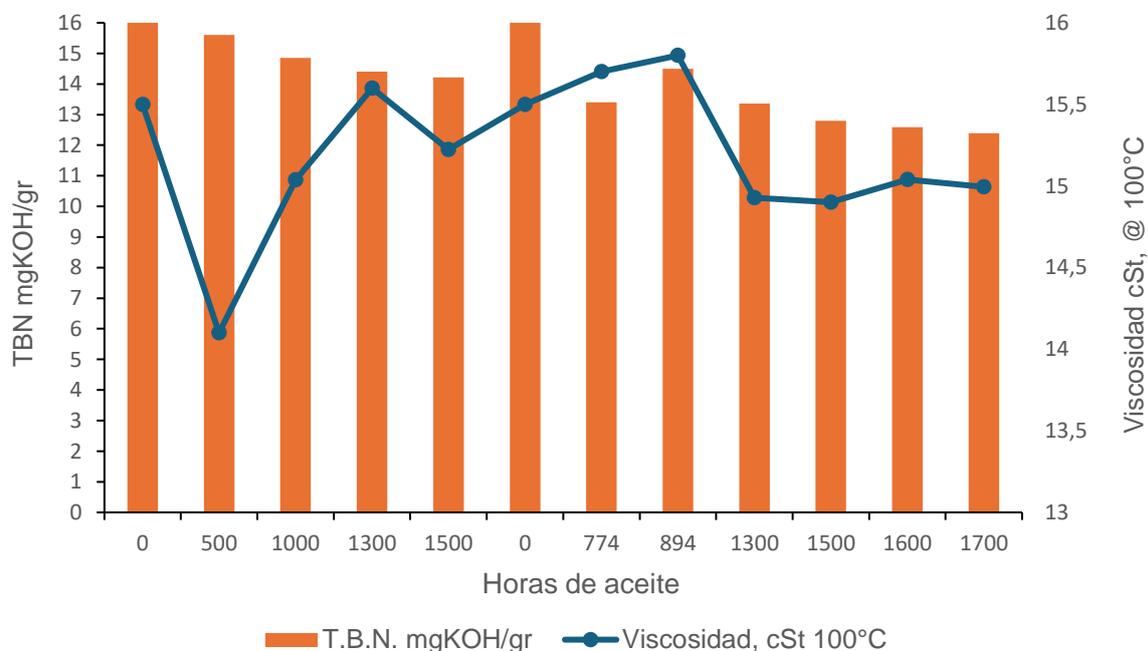


Figura 24. Tendencia viscosidad-TBN de máquina principal del barco atunero n°3

Fuente: Elaboración propia

Se descarta cualquier deterioro anormal del lubricante en cuanto a la viscosidad y TBN. Resulta útil que para este motor se ya se haya realizado un cambio de aceite, con esto se lograr comparar el rendimiento del lubricante entre un periodo de uso y el otro. El gráfico de tendencias se presenta a continuación.

En cuando a la degradación del lubricante la nitración en niveles de precaución se muestra con el indicador de color amarillo.

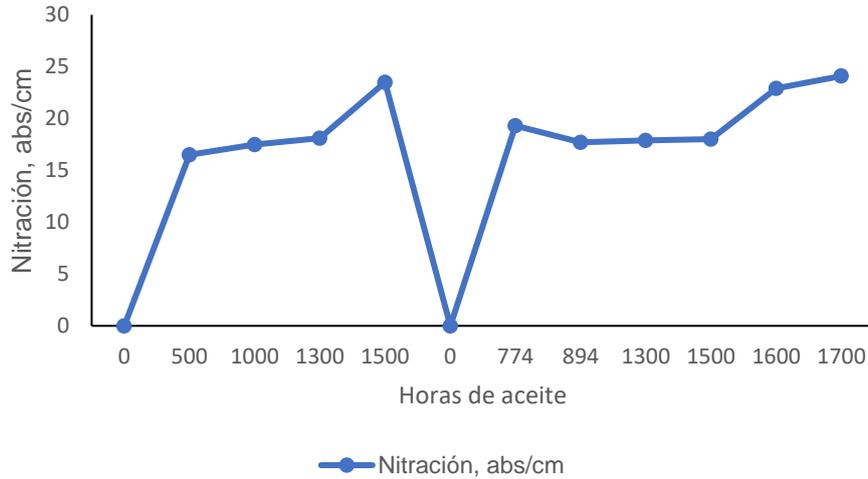


Figura 25. Tendencia nitración de máquina principal de barco atunero n°3

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Compresor frigorífico n°3 del barco atunero n° 3

El compresor frigorífico es un compresor de tornillo de carcasa abierta marca Bitzer, se realiza el análisis en base la misma metodología se muestran los resultados en cuanto a dos parámetros, como la viscosidad en cSt a 40 °C y la oxidación en abs/cm.

El siguiente gráfico se hace apreciación del comportamiento del lubricante, teniendo en cuenta que el aceite usado es de grado ISO VG 68.

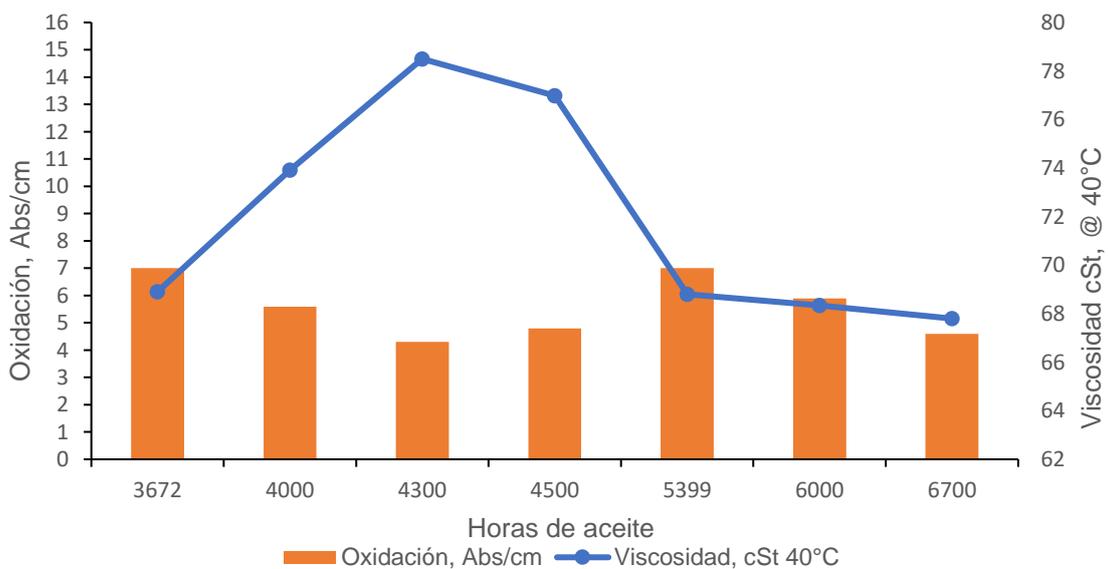


Figura 26. Tendencia viscosidad-oxidación de compresor frigorífico de barco atunero n°3

Fuente: Elaboración propia

La gráfica de tendencia de que relaciona la viscosidad con el nivel de desgaste (partículas por millón) de hierro se muestra en la figura.

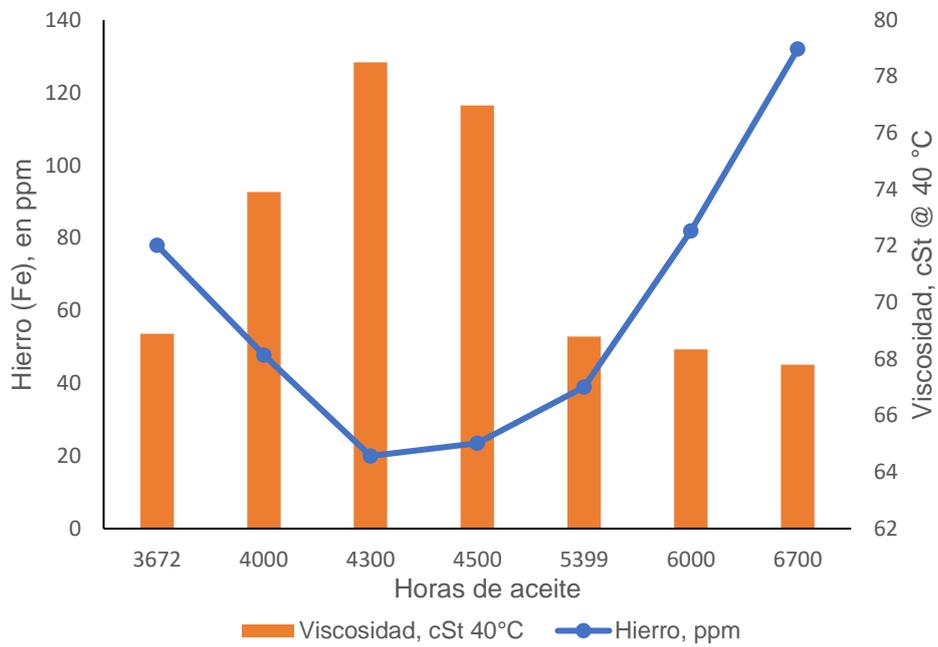


Figura 27. Tendencia viscosidad-hierro de compresor frigorífico del barco atunero n°3

Fuente: Elaboración propia

3.5 Barco atunero industrial n°4

3.5.1 Reductor principal

La caja reductora principal de este barco es marca Masson. La viscosidad del aceite usado en este equipo es ISO VG 100.

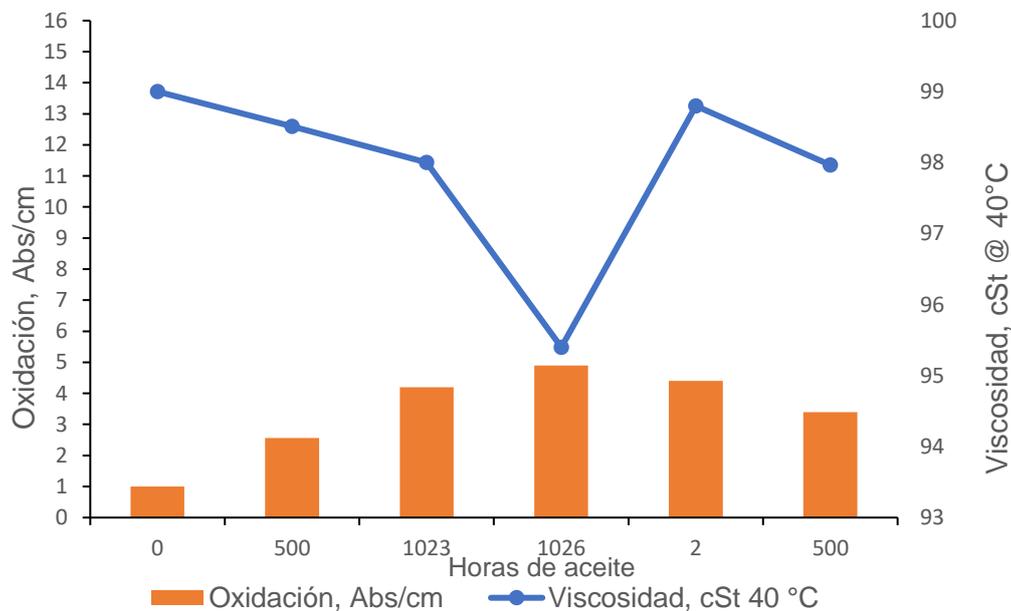


Figura 28. Tendencia viscosidad-oxidación de reductor principal de barco atunero n°4

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que los parámetros antes mencionados estén en excelentes condiciones, se evidencia un nivel de desgaste por hierro en niveles anormales de acuerdo con una muestra tomada a las 1026 horas de aceite. El personal técnico procede a realizar el cambio de aceite, entonces se vuelve a realizar un muestreo a las 2 horas del nuevo aceite, siendo el resultado de análisis una disminución del valor del hierro, a pesar de esto es necesario seguir con el monitoreo a través del análisis de aceite.

Se señala el comportamiento del desgaste por hierro de acuerdo con las horas de trabajo del aceite a través del gráfico de tendencias.

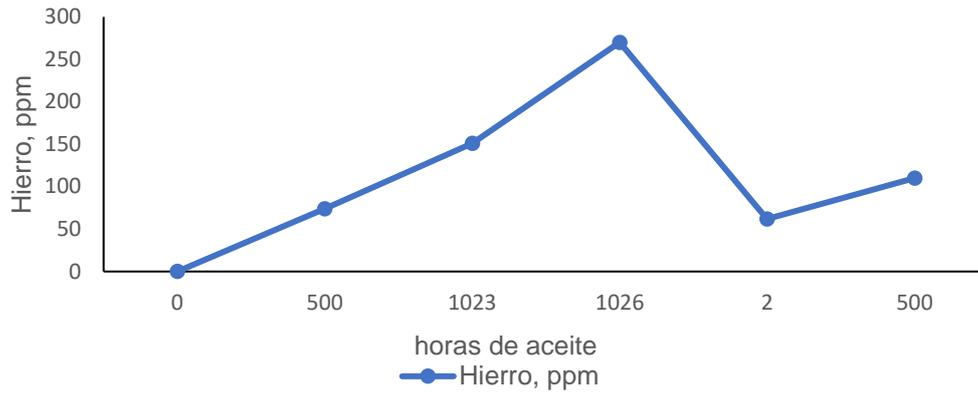


Figura 29. Tendencia desgaste por hierro de reductor principal del barco atunero n°4

Fuente: Elaboración propia

3.6 Barco atunero industrial n°5

3.6.1 Máquina Principal del barco atunero n°5

En el barco atunero n°5 la máquina principal es un motor Akasaka de 6 cilindros de 4 tiempos, velocidad media, pistones de tronco (motor alternativo), de configuración en línea. El aceite usado en este motor es de grado SAE 40 y TBN 15, en la figura se muestra el resultado del análisis de viscosidad y TBN.

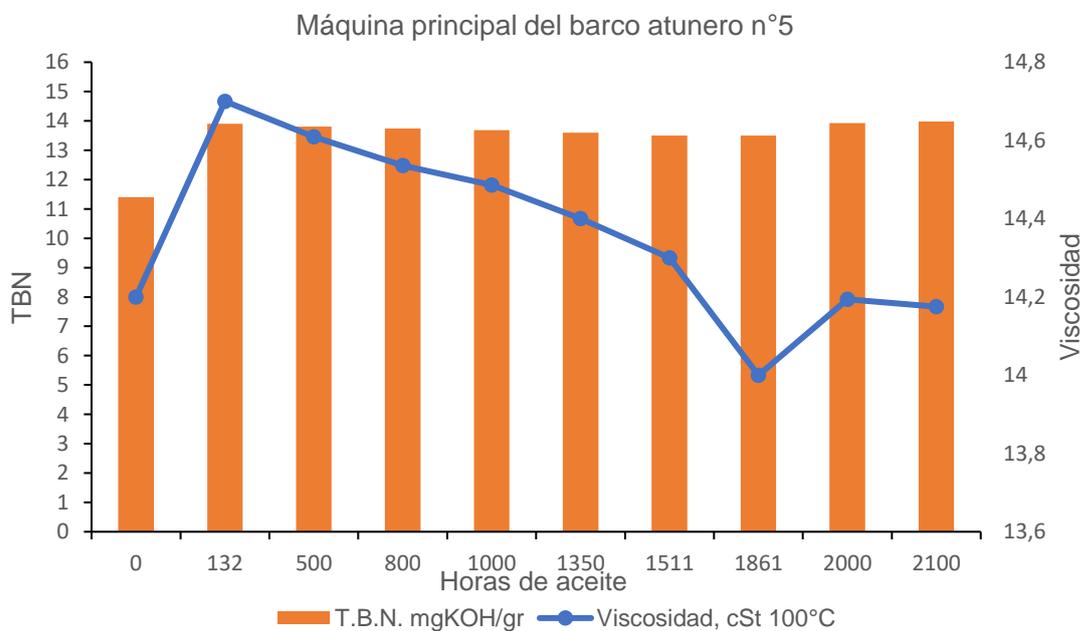


Figura 30. Tendencias viscosidad-TBN de máquina principal del barco atunero n°5

Fuente: Elaboración propia

Se muestra una proyección en las próximas 2000 y 2100 horas. Como se puede observar en la **figura 30**, existe una tendencia de la viscosidad a disminuir a medida el aceite cumple con las horas de trabajo, mientras que el TBN se mantiene en una constante.

3.6.2 Motor auxiliar n°3 del barco atunero n°5

Los resultados de análisis corresponden a un motor Caterpillar de 12 cilindros de 4 tiempo con una configuración de sus cilindros en V. El aceite usado es grado SAE 15W40 y un TBN 11.

En este caso se observa que se tuvo a una disposición distinta en muestras de lubricantes tomadas en una frecuencia más corta que otros generadores auxiliares, ya que se le hace un seguimiento más adecuado, con el fin de mejorar las prácticas de mantenimiento en el generador, a continuación, se muestran los valores entre viscosidad y TBN.

La cantidad dilatada de muestras permite hacer un análisis más exhaustivo, en cuanto a la operación del equipo, la viscosidad y TBN se mantienen en niveles normales.

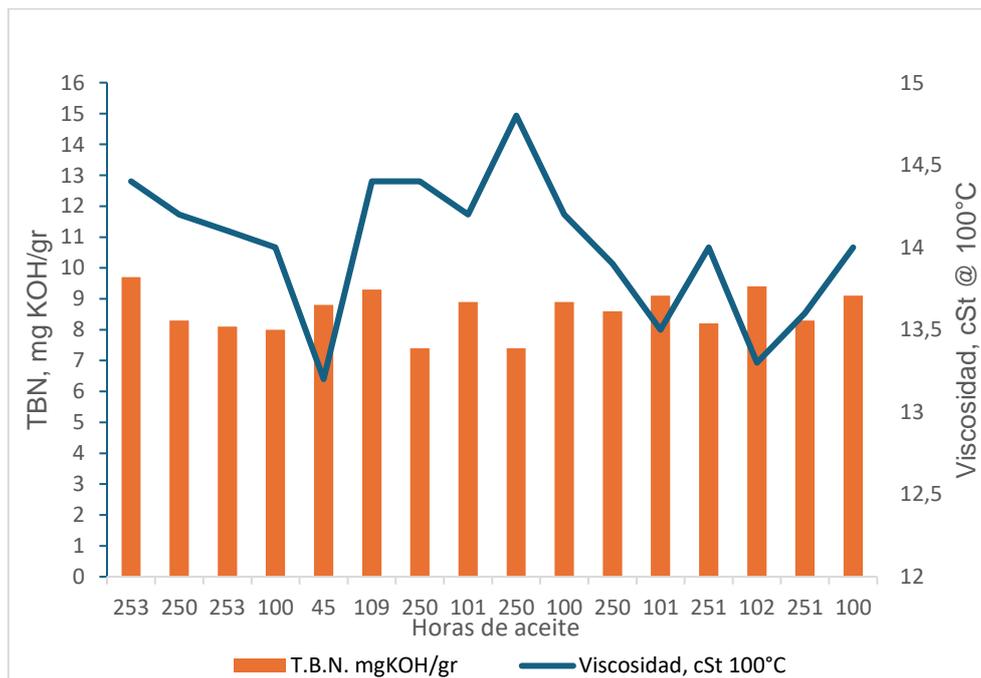


Figura 31. Tendencia de viscosidad-TBN de motor auxiliar n°3 de barco atunero n°5

Fuente: Elaboración propia

4 CAPITULO IV: PROPUESTA DEL PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS PARA MUESTREO, ANÁLISIS Y MONITOREO DE LUBRICANTES DE MAQUINARIA NAVAL EN BUQUES ATUNEROS

La presente propuesta tiene como objetivo la implementación de un plan operativo de procedimientos para el muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes en buques atuneros de la ciudad de Manta. Este plan busca establecer un marco de trabajo sistemático y estandarizado para la gestión del estado de los aceites lubricantes, contribuyendo así a:

- **Mejorar la confiabilidad y el rendimiento de los equipos:** Un monitoreo adecuado de los lubricantes permite identificar y prevenir fallas tempranas, reduciendo el tiempo de inactividad no planificado y los costos de mantenimiento asociados.
- **Extender la vida útil de los lubricantes:** El análisis periódico del aceite permite optimizar su uso y reemplazo, evitando el uso excesivo o insuficiente y prolongando su vida útil.
- **Optimizar los costos de mantenimiento:** Una gestión adecuada de los lubricantes puede reducir significativamente los costos de mantenimiento preventivo y correctivo.
- **Proteger el medio ambiente:** El monitoreo y control del estado de los lubricantes ayudan a prevenir fugas y derrames, minimizando el impacto ambiental de las operaciones marítimas.

4.1 Alcance de la propuesta

La propuesta abarca la implementación de procedimientos estandarizados para las siguientes actividades:

- **Muestreo de lubricantes:** Se establecen protocolos para la toma de muestras de aceite en diferentes puntos críticos de los equipos, asegurando la representatividad y confiabilidad de los resultados.

- **Análisis de lubricantes:** Se definen los parámetros a analizar en el aceite, como viscosidad, índice de acidez, contenido de agua, presencia de contaminantes y desgaste de metales, utilizando técnicas analíticas adecuadas.
- **Monitoreo y control de resultados:** Se establece un sistema de monitoreo y control de los resultados de los análisis, permitiendo identificar tendencias y tomar acciones correctivas o preventivas de manera oportuna.

4.2 Beneficios Esperados

La implementación de este plan operativo de procedimientos para el muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes en buques atuneros de Manta se espera que genere los siguientes beneficios:

- Reducción del tiempo de inactividad no planificado por fallas relacionadas con lubricantes.
- Disminución de los costos de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Extensión de la vida útil de los lubricantes.
- Mejora de la confiabilidad y el rendimiento de los equipos.
- Minimización del impacto ambiental por fugas y derrames de lubricantes.

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS PARA MUESTREO, ANÁLISIS Y MONITOREO DE LUBRICANTES DE MAQUINARIA NAVAL EN BUQUES ATUNEROS

Julio, 2024

Manta – Manabí – Ecuador



OCEAN OIL
COMBUSTIBLES & LUBRICANTES MARINOS

Ricky López

Ocean Oil S.A Combustibles & Lubricantes Marinos

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS
OCEAN OIL
Combustible & Lubricantes Marinos

Índice de contenidos

Índice	Pág.
Introducción	3
Objetivo del plan operativo	4
Ámbito de aplicación y alcances	4
Base legal o marco normativo	5
Contenido Técnico	8
Mapa de procesos o flujogramas	16
Diagrama de Flujo	17
Diagrama de flujo del plan operativo	18
Anexos	20

Índice de plan de Fase

Fase I. Modelo Operativo	8
Fase II. Modelo Operativo	9
Fase III. Modelo Operativo	9

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos	Pág.:2/30
	Año: 2024
Actualización de procedimientos	

El instrumento denominado "Plan Operativo de procedimientos OCEAN OIL, Combustible & Lubricantes Marinos en vigor a partir del día _____ presenta cambios en los procedimientos que a continuación se anuncian:

Procedimiento	Breve descripción del cambio

El día _____ el departamento técnico de **OCEAN OIL, Combustible & Lubricantes Marinos**, recibió un ejemplar de los procedimientos modificados registrándose con la clave siguiente: _____

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos	Pág.:3/30
	Año: 2024

Introducción.

El análisis de aceite usado es el conjunto de procedimientos y mediciones aplicados al aceite de las máquinas, que facilitan el control del estado del lubricante, y de manera indirecta permiten establecer el estado de los componentes.

Los procedimientos de análisis se realizan en un laboratorio especializado, pero también pueden hacerse en el campo con ayuda de herramientas simples.

Para el caso del laboratorio, es menester mencionar que los espacios deben estar diseñados para contralar variables ambientales tales como temperatura, humedad y luz. Los parámetros que se miden para conocer el análisis de lubricantes son comúnmente, la viscosidad, el contenido de agua, oxidación/nitración, hollín, número total básico (TBN), y mediciones de desgaste, entre otros.

En otras instancias las pruebas realizadas en laboratorio para conocer el estado de la muestra de lubricante son: el contenido de metales (espectroscopía) y conteo de partículas.

Un análisis de las características de variación y monitoreo de la viscosidad del aceite durante la operación del tribosistema, permiten el monitoreo en línea del estado de la maquinaria y el equipo. El desarrollo de medios para el control en línea de la viscosidad basados en el método aplicado en condiciones de laboratorio en algunos casos no cumple con los requisitos de miniaturización y confiabilidad del punto de conexión de diagnóstico. Para solucionar este problema, se propone una guía detallada del procedimiento correcto para el muestreo de lubricantes en buques atuneros, pleno conocimiento de las pruebas de laboratorio y posterior seguimiento del estado de los equipos de buques atuneros.

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos	Pág.:4/30
	Año: 2024

Objetivo del plan operativo

Su objetivo consiste en reducir los costos de operación a través de la preservación de las máquinas y la extensión de la vida de los lubricantes.

Ámbito de aplicación y alcances

Este, Plan Operativo de procedimientos, estará aplicado al área de servicios que brinda el departamento técnico de la empresa OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos, cuyas normas se han analizado para establecer líneas claras hacia una guía detallada de la forma correcta, es decir el muestreo de lubricantes en buques atuneros, con pleno conocimiento de las pruebas de laboratorio y posterior aquello realizar seguimiento del estado de los equipos de buques atuneros, dentro de la empresa se facilitará el proceso de muestreo, brindará pautas acerca del análisis de lubricantes en el laboratorio, a la vez se reunirá los lineamientos para realizar la monitorización de condición de cada equipo en el que se aplica la herramienta del análisis de aceite usado.

La empresa es responsable del contenido de este manual. La información presentada ha sido estructurada por el equipo técnico que respalda a Ocean Oil S.A. Para cualquier duda o comentario, dirigirse a las oficinas del Departamento técnico o al correo tecnico.oceanoil@gmail.com.

Dicho de otro modo, el plan operativo de procedimientos fue entregado el lunes 22 de julio del 2024 a la empresa Ocean Oil S.A.

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos	Pág.:5/30
	Año: 2024

Base legal o marco normativo

El muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes de maquinaria naval en buques atuneros de la ciudad de Manta este sujeto a diversas regulaciones legales y políticas, tanto a nivel nacional como internacional. A continuación, se describe un resumen de los principales aspectos a considerar:

1. Legislación nacional:

- **Ley de navegación y marítima:** Establece las normas generales para la navegación y marítima en aguas territoriales ecuatorianas, incluso la seguridad de la navegación y la protección del medio marino.

- **Art. 4; 3) Precaución.** - En caso de falta de información técnica y científica sobre los impactos o daños que una actividad humana pueda causar a los espacios acuáticos o a sus componentes, las autoridades competentes negarán la autorización para la realización de dichas actividades;

Art. 9; 6) Comandar y administrar sus medios tecnológicos, equipos, instalaciones, naves aéreas y marítimas disponibles para el control de la seguridad de los espacios acuáticos nacionales y áreas de interés nacional;

Art. 14; 8) Coordinar y aprobar con las instituciones públicas y privadas, la ejecución de los planes de contingencia, para el control de derrames de hidrocarburos y sustancias tóxicas o nocivas, en los espacios acuáticos.

- **Reglamento de Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS):** Convenio internacional de la Organización Marítima Internacional (OMI) que establece requisitos mínimos de seguridad para la construcción, equipamiento y operación de buques. El Capítulo XII del SOLAS aborda la protección del medio marino, incluyendo la prevención de la contaminación por aceite.

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos	Pág.:6/30
	Año: 2024

- **Reglamento para la Prevención de la Contaminación por Hidrocarburos (MARPOL):** Convenio internacional de la OMI que establece medidas para prevenir la contaminación del mar por hidrocarburos y otras sustancias nocivas. El Anexo I del MARPOL regula la prevención de la contaminación por hidrocarburos procedentes de buques.
 - **Reglamento Técnico Sustitutivo para la Gestión de Residuos Sólidos y Peligrosos:** Establece los requisitos para la gestión de residuos sólidos y peligrosos generados en actividades marítimas, incluyendo el manejo de lubricantes usados.
 - **Ley de Gestión Ambiental:** Establece los principios y normas generales para la gestión ambiental en Ecuador, incluyendo la prevención y control de la contaminación.
- 2. Regulaciones locales:**
- **Ordenanza Municipal para la Gestión Integral de Residuos Sólidos:** Establece las normas para la gestión de residuos sólidos en el cantón Manta, incluyendo la disposición final de lubricantes usados.
- 3. Organismos responsables:**
- **Dirección General de la Marina Mercante (DIMAR):** Ente rector de la actividad marítima en Ecuador, responsable de la aplicación de la legislación marítima nacional e internacional.
 - **Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica:** Ente rector de la gestión ambiental en Ecuador, responsable de la aplicación de la normativa ambiental relacionada con la gestión de residuos sólidos y peligrosos.
 - **Municipio de Manta:** Responsable de la gestión de residuos sólidos en el cantón Manta.

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos	Pág.:7/30
	Año: 2024

4. Consideraciones adicionales:

Es importante contar con los permisos y licencias necesarios para realizar el muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes de maquinaria naval en buques atuneros.

Los análisis de lubricantes deben realizarse por laboratorios acreditados y los resultados deben cumplir con los estándares establecidos por la industria naviera.

Los residuos de lubricantes usados deben ser manejados de acuerdo con la normativa ambiental vigente, evitando su disposición final en el medio ambiente.

**PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS
OCEAN OIL
Combustible & Lubricantes Marinos**

Pág.:8/30

Año: 2024

V. Contenido Técnico

Fase I. Modelo Operativo

Fase I	Muestreo de lubricantes en buques atuneros								
Meta	Hacer conocer el procedimiento de muestreo de lubricantes en buques atuneros en el puerto de Manta								
Actividades	Recursos	Materiales	Presupuesto	Responsables	Tiempo año 2025				
					En	Feb	Ma	Ab	May
Proceso de muestreo de lubricantes en buques atuneros	Puerto específico para muestreo	Equipos	\$100	Técnico					
Pasos para muestreo de aceite por bomba de vacío	Medición de sonda o manguera de muestreo de aceite	Bomba de vacío Manguera Proceso de etiquetado	\$200						
Pasos para muestreo por punto de drenaje	Muestra representativa	Sistema hidráulico	\$500						
Total, de fase I					\$800				

Fuente: Elaboración propia

Fase II. Modelo Operativo

Fase II	Análisis de aceite en laboratorio								
Meta	Hacer conocer el procedimiento de análisis de aceite en laboratorio dentro de los buques								
Actividades	Recursos	Materiales	Presupuesto	Responsables	Tiempo año 2025				
					Jun	Juli	Ago	Sep	Oct
Evaluar pruebas en laboratorio	Personal experto en ensayos	Equipos de medición	\$1000	Técnico					
Asignación y autorización para llevar a cabo prácticas en laboratorios	Capacitación	Norma ASTM D2896	\$2000						
Detección de humedad por crepitación	Personal técnico y laboratorio	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).	\$1500						
Total, de fase II					\$4500				

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Fase III. Modelo Operativo

Fase III		Monitoreo de la condición de los equipos en base al análisis de aceite							
Meta		Hacer conocer el procedimiento para monitoreo de la condición de los equipos en base al análisis de aceite							
Actividades	Recursos	Materiales	Presupuesto	Responsables	Tiempo año 2025-2026				
					Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Materiales para el monitoreo de condición	Monitoreo de condición para el análisis de lubricante	- Computadora - Excel (Hoja de cálculo) - Diagramas de tendencias - Reportes de análisis de aceite - Fichas técnicas de los lubricantes usados	\$500	Técnico					
Metodología propuesta para el monitoreo de condición	Recopilación de reportes de análisis de aceite de manera cronológica	método "Alarmas de tasas de cambio" según (Fitch & Troyer, 2010)	\$2000						
Predicción del comportamiento del aceite	Pronóstico lineal de Excel.	La viscosidad y el TBN del lubricante	\$1000						
Total. de fase III							\$3500		

Fuente: Elaboración propia

Descripción Fase I. Modelo operativo

Proceso de muestreo de lubricantes en buques atuneros

Para llevar a cabo un correcto proceso de muestreo de lubricantes, de manera que permita obtener una muestra representativa del estado del equipo, se debe destinar un punto específico para dicha finalidad, aunque algunos fabricantes originarles de equipos ya incluyen un puerto específico para muestreo.

Pasos para muestreo de aceite por bomba de vacío

Para tomar una muestra representativa con el uso de una bomba de vacío, se toman recomendaciones de varios autores de deben seguir lo siguientes pasos (Trico, 2021) (Bureau Veritas , 2020) (El Asri, 2023):

- 🔧 Para realizar el muestreo el equipo debe estar operando o tiene que haber estado operando previamente. Previo al muestreo el equipo debió operar en

condiciones típicas al menos una hora antes de tomar la muestra. El muestreo no puede tener lugar cuando el equipo este frío, inactivo o no ha sido operado

- ✚ Tomar en cuenta que el indicador de nivel se encuentre en el punto adecuado para tomar la muestra **ver anexo 1.**
- ✚ Identificar que el punto de muestreo este limpio y sea accesible. Los puntos de muestreo pueden ser el puerto de relleno o la bayoneta de nivel.
- ✚ Cortar la manguera o sonda en la longitud deseada, por ejemplo, cuando en los equipos de los barcos atunero, se corta la manguera a la mitad del nivel actual de aceite que muestra la bayoneta **ver anexo 2.**
- ✚ En el extremo de la manguera que conecta con la bomba de vacío debe ser lo suficientemente larga para que la bomba de vacío se mantenga de manera horizontal durante el muestreo **ver anexo 3.**
- ✚ Una vez obtenida la manguera en el tamaño adecuado, se debe limpiar la bomba de vacío manual para conectar un extremo en el anillo roscado. La longitud que se debe introducir la manguera es de aproximadamente ½ pulgada sobresaliente de la superficie que hace contacto con la botella de muestreo **ver anexo 4.**
- ✚ Una vez juntadas la bomba de vacío y la manguera, se enrosca el envase de muestreo a la bomba de vacío, asegurándose de que exista un cierre hermético en el pliegue entre la bomba y el envase. Además, la tapa del envase se debe ubicar en un lugar libre de contaminación mientras se toma la muestra **ver anexo 5.**
- ✚ En un barco atunero aumentan la probabilidad de contaminación de la muestra, por diversas razones, entre ellas el ambiente salino en el muelle, por ello, es recomendable volver a limpiar los instrumentos de muestreo antes de tomar la muestra. Una vez inspeccionado la limpieza de los instrumentos de muestreo, se introduce la manguera o sonda en el nivel aprobado (tener precaución no comprometer partes internas delicadas del equipo) en un punto medio del nivel actual del aceite **ver anexo 6.**

- ✚ Empezar a crear el vacío accionando el mecanismo de émbolo de la bomba manual de vacío, en este punto al momento de halar el émbolo, habrá más resistencia de este, suele suceder así en aceites muy viscosos como el SAE 40 o aceites de grado ISO VG mayores a 100. Al halar el embolo de la bomba de vacío al punto máximo ya se habrá generado un vacío lo suficientemente fuerte que succionará el aceite inmediatamente, haciendo innecesario accionar repetidas veces el embolo. Simplemente con accionar unas 3 veces será suficiente. El método de muestreo de aceite por medio de la bomba de vacío es actualmente el usado con mayor frecuencia por el equipo técnico de Ocean Oil S.A. Una vez que la muestra se ha alcanzado el nivel requerido del envase (aprox. 200 ml), se detiene el vacío que retira la sonda del punto de muestro, desenroscando la manguera en la bomba o desconectando de manera directa el envase de la bomba de vacío, se puede apreciar que se llegó al nivel requerido de aceite **ver anexo 7.**
- ✚ Inspeccionar visualmente el estado de lubricante en busca de cualquier anomalía en el aceite **ver anexo 8.**
- ✚ Cerra inmediatamente el envase y ubicarlo en un lugar seguro. Volver a su lugar de forma limpia aquellos componentes que se removieron para la toma de muestra de aceite **ver anexo 9.**
- ✚ La sonda o manguera utilizada debe ser desechada apropiadamente y no debe ser reutilizada para el muestreo de otros equipos ver anexo 10.
- ✚ Una vez terminado el proceso de muestreo y etiquetado de aceite, se procede a limpiar la bomba de vacío para iniciar un nuevo proceso de muestreo, en caso de ser necesario.
- ✚ Etiquetar la muestra y llenar con los datos necesarios para el registro en el laboratorio. Hecha la recolección De muestras, completar el proceso de empaquetado para posteriormente enviar estas muestra de aceite al laboratorio **ver anexo 11.**

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos	Pág.:12/30
	Año: 2024

Pasos para muestreo por punto de drenaje

Este método no garantiza una “muestra representativa” ya que en el punto de drenaje se acumulan los sedimentos, agentes contaminantes y metales de desgaste, los pasos para tomar una muestra por el punto de drenaje se muestran a continuación tomando como referencia a (Widman International , 2018):

-  En caso de ser posible, tomar la muestra desde este punto cuando el motor este operando, esto permitirá tener una muestra homogénea. Limpiar el área alrededor del tapón. Se debe drenar primero una cantidad de aceite, hasta que visualmente se vea más limpio, pero tomar en cuenta de no exceder la extracción de lubricante en este punto **ver anexo 12.**

-  Insertar la botella debajo del chorro de lubricante y llenarla hasta el punto requerido, se muestra parte del proceso de muestreo por el puerto de drenaje de aceite, enroscar la tapa hasta conseguir un buen sellado, etiquetar muestras y almacenar en un lugar seguro, preparar muestra para envío al laboratorio **ver anexo 13.**

Descripción Fase II. Modelo operativo

Análisis de aceite en laboratorio

Las pruebas de laboratorio son realizadas por personal experto en ensayos concerniente a la operación de equipos de medición, con el fin de determinar con exactitud los parámetros de cada muestra de lubricante.

El personal técnico de Ocean Oil S.A. no tiene la asignación, ni la autorización de realizar prácticas en laboratorios, por ende, no existe intervención en el proceso de los ensayos. Sin embargo, los procesos se los ejecuta.

Mientras que en otras instancias se continua con el personal del laboratorio para compartir información con respecto al proceso de toma de muestras de aceite, estado de los equipos muestreados y novedades que se puedan presentar.

<p style="text-align: center;">PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos</p>	<p style="text-align: center;">Pág.:13/30</p>
	<p style="text-align: center;">Año: 2024</p>

Cabe recalcar que el personal técnico de Ocean Oil S.A. tiene pleno conocimiento de los tipos de ensayos que se suelen realizar de acuerdo como la norma ASTM D2896, desarrollada por la sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM), para la determinación del TBN.

Otro método de ensayo es la detección de humedad por crepitación, que consiste en medir los agentes contaminantes del aceite en la que se utiliza la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

Constantemente se mejora el flujo de intercambio de información entre el personal técnicos y el laboratorio, con el fin de presentar el mejor diagnóstico por equipo.

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos	Pág.:14/30
	Año: 2024

Descripción Fase III. Modelo operativo

Monitoreo de la condición de los equipos en base al análisis de aceite

En esta propuesta de monitoreo de condición es contundente en el análisis de lubricante, ya que se hace uso de diferentes herramientas para prevenir fallas, predecir el estado del aceite y del equipo analizado, entre las herramientas propuestas están:

-  Computadora
-  Excel (Hoja de cálculo)
-  Diagramas de tendencias
-  Hojas de reportes de análisis de aceite
-  Fichas técnicas de los lubricantes usados

Metodología propuesta para el monitoreo de condición

La metodología propuesta en este plan operativo de procedimientos consiste en la recopilación de reportes de análisis de aceite de manera cronológica de los distintos parámetros con el fin de crear tendencias, que ayudarán a entender el funcionamiento del equipo a lo largo de un periodo determinado.

Este método de monitoreo de condición no es nuevo, de hecho, para (Fitch & Troyer, 2010) en su libro “Oil Analysis Basics” tiene un término para detectar fallas a través de tendencias que se denomina “Alarmas de tasas de cambio” que consiste en calcular que tanto ha cambiado un parámetro analizado a través del tiempo.

Un ejemplo de línea pronunciada es la relación 3:1, es decir, por cada unidad de tiempo el parámetro analizado (desgaste por hierro, contaminación por sodio, etc.) aumenta tres veces, lo cual significa un comportamiento anormal del equipo, ver anexo 14.

Predicción del comportamiento del aceite

Una vez que se tienen suficientes reportes de análisis aceite de un equipo es posible predecir el comportamiento del aceite en las próximas horas de funcionamiento del equipo. Para esto se utiliza la función pronóstico lineal de Excel.

A continuación, se explica paso a paso el proceso para obtener la proyección del comportamiento del lubricante en Excel, tomando como referencia la viscosidad y el TBN del lubricante:

- ✚ Crear una tabla con los valores obtenidos en el análisis de aceite usado, La proyección se hace en base a las horas de aceite y el valor que se quiera conocer, este caso sería la viscosidad como primer punto y luego el valor de TBN.
- ✚ Entonces la proyección se hace a las próximas 2300 horas de aceite del motor, entonces se aplica la función “pronóstico lineal” en Excel. Los valores seleccionados serían: para la variable “x” se asigna 2300, para “conocido y” se toman los valores previos de viscosidad; para “conocido x” se asignan los valores de las horas de aceites previas. Una vez aplicada la función se obtendrá el pronóstico lineal que sería una viscosidad 14.9 cSt a 100 °C, mientras que para el TBN el valor pronosticado sería 10.4 valores normales, por ende, el equipo puede seguir funcionando en el mismo aceite a las 2300 horas de aceite **ver anexo 15**.
- ✚ Puede apreciar el comportamiento del lubricante a través de un diagrama de tendencias **ver anexo 16**.
- ✚ Formulario de registro para el muestreo de lubricantes **ver anexo 17**.

Mapa de procesos o flujogramas

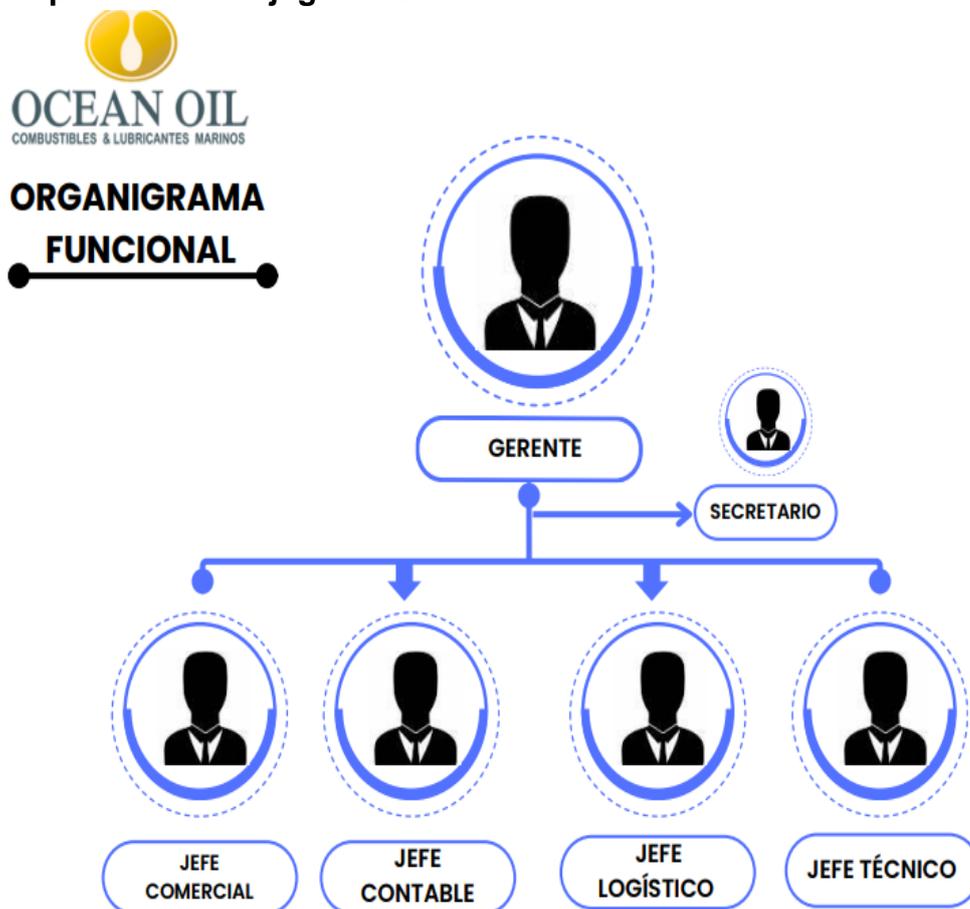


Figura 1. Organigrama Funcional de Ocean Oil S.A.

Fuente. Elaboración propia.

Diagrama de Flujo

DEPARTAMENTO TÉCNICO

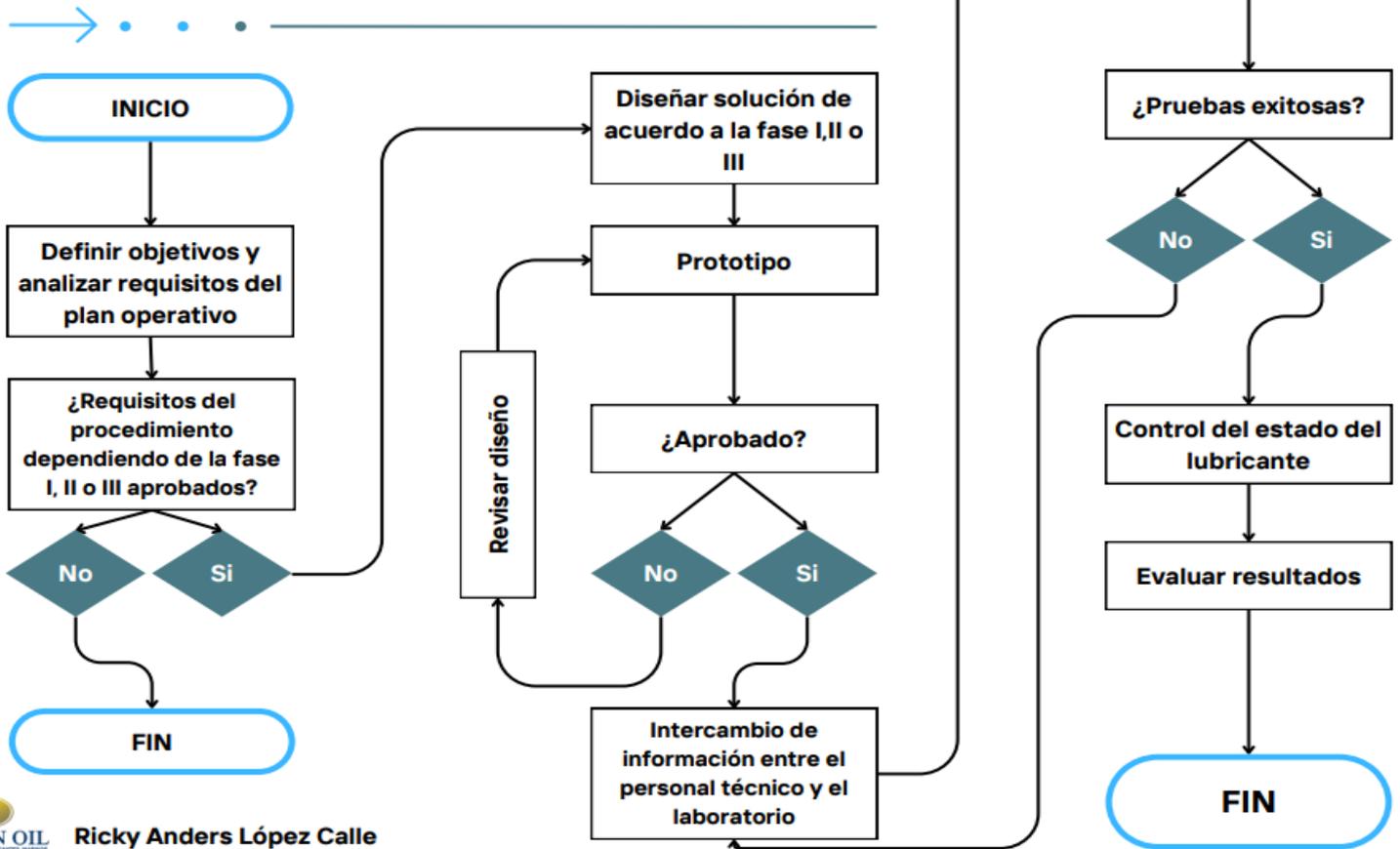
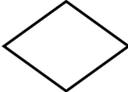
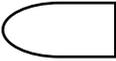
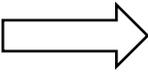


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de diseño del plan operativo

Fuente. Elaboración propia.

Diagrama de flujo del plan operativo

Leyendas: Diagrama de flujo del plan operativo

Símbolo	Denominación	Descripción
	Inicio y final	Abre y cierra el diagrama
	Actividad	Representa la ejecución de uno o varios procedimientos
	Inspección	Representa la etapa donde se verifica la calidad y cantidad de los insumos y/o producto
	Decisión	Formula una pregunta o una cuestión a resolver
	Conector	Representa el enlace de actividades con otras relacionadas en un procedimiento
	Archivo o almacén definitivo	Guardar un documento o material permanentemente
	Archivo o almacén temporal	Guardar un documento o material temporalmente, por un tiempo indicado
	Terminador	Contenedor de datos con información del comienzo o final del proceso
	Datos	Contenedor de datos necesarios para el desarrollo de una actividad
	Documentos	Informa sobre la consulta a un documento específico de la etapa del proceso
	Retraso	Informa sobre el retraso en el desarrollo del proceso
	Transporte	Indica el movimiento de personas, material o equipos necesarios para el desarrollo del proceso
	Línea de flujo	Indica la línea de flujo del proceso

Fuente: Elaboración propia.

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos	Pág.:19/30
	Año: 2024

Conclusiones:

La implementación de un plan operativo de procedimientos para el muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes en buques atuneros de Manta representa una inversión estratégica que puede generar importantes beneficios económicos, operativos y ambientales para la industria pesquera.

Recomendaciones:

La consulta con un abogado especializado en derecho marítimo y ambiental para obtener asesoría sobre los aspectos legales y políticos específicos de esta actividad es beneficioso para enriquecer el contenido del plan de operativo.

Es importante mantenerse informado sobre las actualizaciones de la legislación nacional e internacional relacionada con el muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes de maquinaria naval.

El cumplimiento de las regulaciones legales y políticas es fundamental para garantizar la seguridad de la navegación, la protección del medio ambiente marino y la salud pública.

PLAN OPERATIVO DE PROCEDIMIENTOS OCEAN OIL Combustible & Lubricantes Marinos	Pág.:20/30
	Año: 2024

Referencias

Asamblea Nacional. (02 de 12 de 2020). Ley de navegación, seguridad y protección marítima continúa en análisis. Obtenido de. <https://www.asambleanacional.gob.ec/es/noticia/69833-leydenavegacion-seguridad-y-proteccion-maritima>

Escuela Politécnica Nacional, (2020). Toma de muestras de aceite usado. Obtenido de <https://lacbal.epn.edu.ec/images/Recursos/Muestreo.pdf>

Trico Corporation, (2021). Oil Sampling Procedures. Obtenido de: <https://www.tricocorp.com/getmedia/b9fbdac3-9669-4fa2-af0f-821297944170/Oil-Sampling-SOP-Procedures.pdf>

Fitch, J., & Troyer, D. (2010). *Oil Analysis Basics - Second Edition*. Tulsa, (Ed.), Oklahoma Noria Corporation. Disponible en. <https://archive.org/details/oil-analysis-basics-by-troyer-and-fitch>

Bureau Veritas. (2020). Sampling instructions, Vacuum pump sampling. Fluid condition monitoring. Disponible en. <https://oil-testing.com/wp-content/uploads/2020/09/Vacuum-Pump-Sampling-BV.pdf>

Brahim El Asri (2023). Precision Lubrication. Obtenido de. <https://precisionlubrication.com/articles/vacuum-pump-oil-sampling/>

ANEXOS



Anexo 1. Verificación del nivel de aceite

Fuente: Elaboración propia



Anexo 2. Medición de sonda o manguera para muestreo

Fuente: Elaboración propia



Anexo 3. La bomba de vacío se mantiene vertical durante el muestreo

Fuente: Elaboración propia



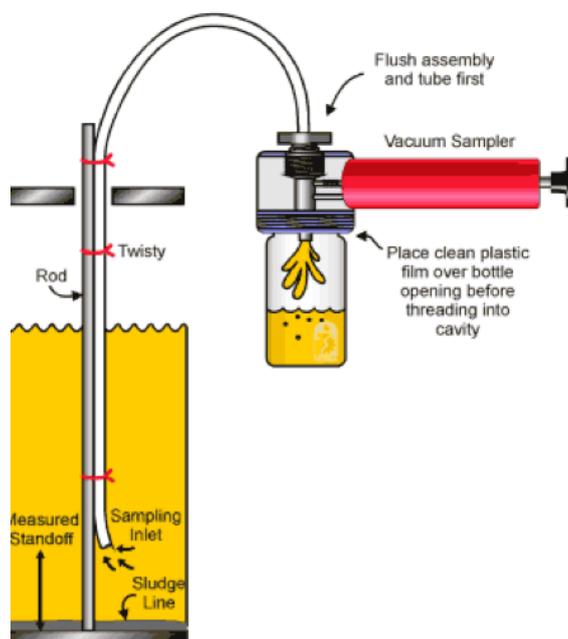
Anexo 4. Manguera conectada a puerto roscado de bomba de vacío

Fuente: Elaboración propia



Anexo 5. Bomba de vacío, manguera y envase preparado

Fuente: Elaboración propia



Anexo 6. Longitud adecuada de la manguera dentro del depósito

Fuente: Escuela Politécnica Nacional (2020)



Anexo 7. Accionamiento de bomba de vacío para muestra

Fuente: Elaboración propia



Anexo 8. Inspección visual de la muestra de aceite tomada

Fuente: Elaboración propia



Anexo 9. Limpieza de bayoneta del equipo

Fuente: Elaboración propia



Anexo 10. Manguera utilizada para el muestreo de lubricantes

Fuente: Elaboración propia



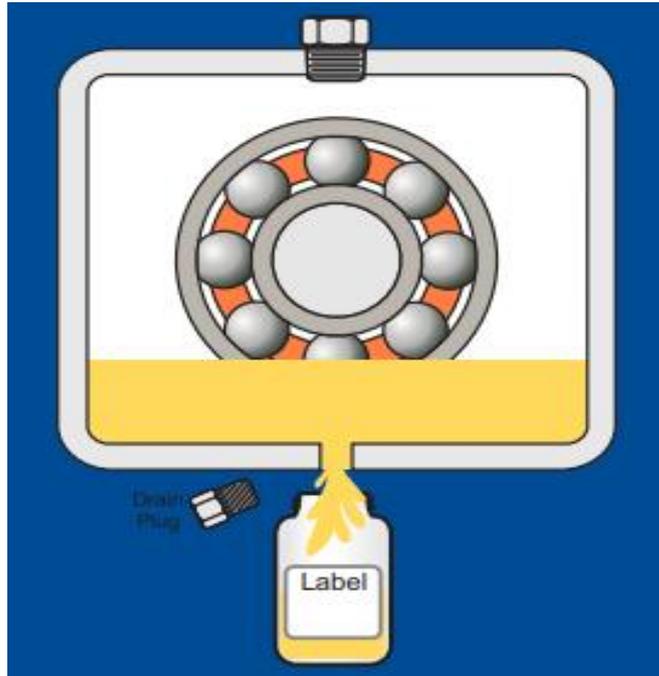
Anexo 11. Proceso de etiquetado de la muestra de aceite

Fuente: Elaboración propia



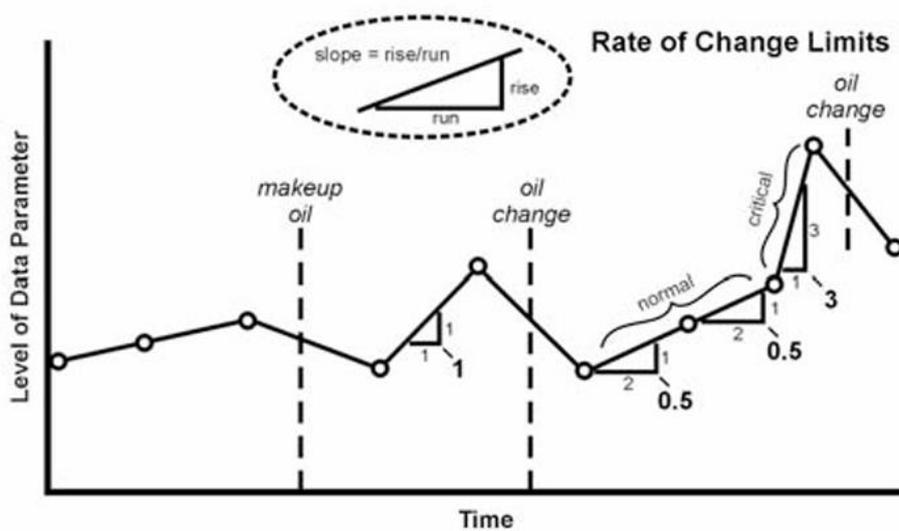
Anexo 12. Aceite drenado del sistema hidráulico

Fuente: Elaboración propia



Anexo 13. Muestreo de aceite desde punto de drenaje

Fuente: (Trico Corporation, 2021)



Anexo 14. Diagrama de tasa de cambio del comportamiento del lubricante

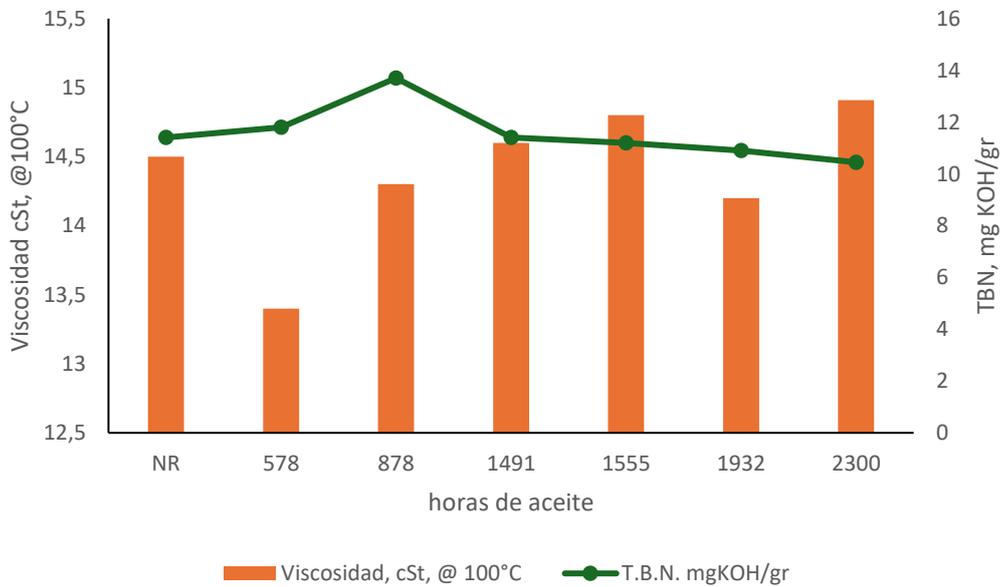
Fuente: (Fritch, 2010)

MAQUINA PRINCIPAL

Muestra y proyección	Equipo Hrs/ Km	Aceite Hrs/ Km	Viscosidad, cSt, @ 100°C	T.B.N. mgKOH/gr
1	NR	NR	14,5	11,4
2	3606	578	13,4	11,8
3	3906	878	14,3	13,7
4	4519	1491	14,6	11,4
5	4583	1555	14,8	11,2
6	4960	1932	14,2	10,9

Anexo 15. Resultados de análisis de viscosidad y TBN

Fuente: Elaboración propia



Anexo 16. Tendencia de comportamiento de Viscosidad Y TBN

Fuente: Elaboración propia

GLOSARIO

- ✚ **Viscosidad:** Propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas.
- ✚ **Degradación:** Acción y efecto de degradar o degradarse.
- ✚ **Lubricante:** Dicho de una sustancia.
- ✚ **Cinemática:** Rama de la física que estudia el movimiento prescindiendo de las fuerzas que lo producen.
- ✚ **Sonda:** Cuerda con un peso de plomo, que sirve para medir la profundidad de las aguas y explorar el fondo.
- ✚ **Émbolo:** Pieza que se mueve alternativamente en el interior de un cuerpo de bomba o del cilindro de una máquina para enrarecer o comprimir un fluido o recibir de él movimiento.
- ✚ **Bayoneta:** Dicho de ciertos tipos de uniones mecánicas y de los objetos que las llevan.
- ✚ **Hidráulico:** Que se mueve por medio del agua o de otro fluido.
- ✚ **Compresor:** movido por una turbina.
- ✚ **Parámetros:** Dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación.
- ✚ **Motor:** Máquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía.
- ✚ **Buque:** Barco de gran tonelaje con cubierta o cubiertas.
- ✚ **Tubo:** Pieza hueca, de forma por lo común cilíndrica y generalmente abierta por ambos extremos.
- ✚ **Partícula:** Parte pequeña de materia.

CONCLUSIONES

El en proceso de elaboración de este plan operativo, fue necesario definir todos los aspectos técnicos, con el fin de evaluar su aplicación, desde los conceptos y parámetros claves para el análisis de aceites, la selección de métodos adecuados para el muestreo y la determinación de las condiciones óptimas para el monitoreo. Estos aspectos técnicos han sido documentados detalladamente, garantizando que el personal encargado pueda seguir los procedimientos con claridad.

El documento entregado a la empresa Ocean Oil S.A lleva una serie de prácticas para realizar el muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes, que, con previa investigación y evaluación, se han identificado como óptimas para la actividad en buques atuneros. Estas prácticas aseguran la obtención de muestras representativas, correcto registro de los resultados de laboratorio y monitoreo periódico del estado de los equipos.

Una vez realizada la propuesta y posterior propuesta de implementación del plan operativo, se han evidenciado mejoras en la eficiencia del mantenimiento de la maquinaria naval. Los datos recopilados a través del plan han permitido identificar oportunamente problemas potenciales en los equipos a través del monitoreo de la condición del lubricante, facilitando la toma de decisiones informadas y oportunas para el mantenimiento preventivo.

El diseño de plan operativo basado en procedimientos para el muestreo, análisis y monitoreo de lubricantes en buques atuneros ha demostrado en sus fases de prueba el ser efectivos para la prevención de fallas, resaltando que una guía detallada y práctica en la empresa Ocean Oil S.A. tiene un alto impacto en los procesos de análisis de aceite llevados a cabo en los buques atuneros de la ciudad de Manta.

RECOMENDACIONES

La implementación del plan operativo orientado a procedimientos no solo ha demostrado ser técnicamente viables, sino que también ha mejorado la eficiencia operativa y la seguridad en los buques atuneros de la ciudad de Manta.

La adopción de este plan operativo por otras empresas del sector beneficiaría la gestión de procesos, además de implementar la capacitación periódica para el personal encargado de su ejecución.

Asimismo, es una buena alternativa seguir con la investigación y mejora del plan operativo, incorporando nuevas tecnologías y métodos que puedan surgir en un futuro.

BIBLIOGRAFIA

- Achouch, M.; Dimitrova, M.; Ziane, K.; Sattarpanah Karganroudi, S.; Dhouib, R.; Ibrahim, H.; Adda, M. On Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Journals Appl. Sci.* 2022, 12, 8081. <https://doi.org/10.3390/app12168081>
- Aguado, N. (16 de 04 de 2020). Toma de muestra para análisis de aceite. *CBM Connect*. Mobius Institute. Obtenido de <https://esp.cbmconnect.com/toma-de-muestra-para-analisis-de-aceite/>
- Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012). A review of condition-based maintenance decision-making. *European Journal of Industrial Engineering*, 6(5).19-541. <https://doi.org/10.1504/EJIE.2012.048854>
- Airline Hydraulics. (23 de junio 2022). *How to Take a Hydraulic Oil Samples*. As an ISO 9001:2015 certified company. Youtube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=obR0aaoUojY&t=60s>
- Allen, R. F. (1968). *Optimum Hydraulic Systems for Fishing Vessels*. Seattle, Washington: Marine Constuction & Desgn Co. <https://core.ac.uk/reader/18310500>
- Centro de Formación Técnica para la Industria, (2023). 11 Tips de Mantenimiento Preventivo Industrial + Listas de Verificación, Obtenido de *aula21*. <https://www.cursosaula21.com/mantenimiento-preventivo-tips-lista-verificacion/>
- Barriga, L.A. (2022). Auditoría de gestión de lubricación: Recomendaciones para la mejora de la confiabilidad en función del tamaño de la empresa. *Ingeniería Industrial*, 43(3), 247-260. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30344.08969>
- Blacio, J. (2009). Taller Náutico. Ingeniero Náutico. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Repositorio de la Universidad <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6344>

- Berk, Z. (2009). *Food Process Engineering and Technology*. Haifa: Elsevier Inc. 34 pp. 317-331 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373660-4.00014-4>
- BOBST. (2019). *Kit de análisis de aceite*. Instrucciones para la toma de muestras. Empresa suiza que se dedica a la fabricación y suministro de maquinaria y servicios al sector del embalaje. Obtenido de https://www.bobst.com/fileadmin/user_upload/Services/Manuals/Oil_Analysis_Kit_ES_20190704_HQP.pdf
- Bureau Veritas. (2020). Sampling instructions, Vacuum pump sampling. Fluid condition monitoring. Disponible en. <https://oil-testing.com/wp-content/uploads/2020/09/Vacuum-Pump-Sampling-BV.pdf>
- Bureau Veritas. (24 de 03 de 2021). *Bureau Veritas*. Obtenido de. https://www.clickindustrial.es/media/wysiwyg/Pdfs/Toma_Muestras_Aceites.pdf
- González, (27 de mayo 2018). La Importancia de la Sostenibilidad en la Industria Pesquera-Acuícola los Programas de Mejoramiento Pesquero (Fips). Cámara Nacional de Pesquería del Ecuador. Disponible en https://camaradepesqueria.ec/sostenibilidad_pesquera_acuicola/
- Cambridge Dictionary. (2024). Definición de lubricant del Cambridge Advanced Learner's Dictionary & Thesaurus. Cambridge University Press. <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles/lubricant>
- Casado, Á. (2015). Estudio quimiométrico de aceites lubricantes marinos. Grado en ingeniería química industrial. *Escuela Universitaria de Ingeniería técnica industrial de Bilbao*. Repositorio de universidad. <http://hdl.handle.net/10810/16220>
- Castellanos, P., & Zurita, C. (2012). *Estudio para la construcción de un banco de pruebas de lubricantes y grasa. Ingeniero en mecánica automotriz*. Universidad internacional del Ecuador. Facultad de Ingeniería Automotriz. Repositorio de universidad. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/760>

- Chavéz, C., & Navarrete, J. (2009). Análisis de aceite de los motores diésel de un buque pesquero para mantenimiento predictivo. Especialización en termo fluidos de la Escuela Superior Politécnica, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. *ESPOL*. Repositorio de universidad. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/954>
- CIMAC. (2011). Recommendation 30. Used Engine Oil Analysis. Used engine oil análisis user interpretation guide. Disponible en. <https://www.cimac.com/publications/recommendations410/cimacrecommendation-no.-30.html>
- Croccolo, D., De Agostinis, M., Olmi, G., & Vincenzi, N. (2020). A Practical Approach to Gear Design and Lubrication. *Lubricants* 2020, 8(9), 84; <https://doi.org/10.3390/lubricants8090084>
- CST Group. (2024). Frascos para toma de muestras. especialistas en mantenimiento predictivo. Santiago Chile. Obtenido de. <https://cstonline.cl/subcategoria/374/frascos-para-toma-de-muestras/>
- Díaz del Castillo, F. (2007). *Lecturas de ingeniería 2: Tribología: fricción, desgaste y lubricación*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de estudios superiores. Departamento de ingeniería. Disponible en <https://www.udocz.com/apuntes/55626/tribologia-friccion-desgaste-y-lubricacion-1>
- EUROLAB. (2024). Actividades de informes y certificación, Fundación Unida de Acreditación (UAF). Laboratory Service. Obtenido de [https://www.eurolab.net/es/testler/proses-guvenligi-ve-kimyasal-guvenlik-testleri/tbn-\(toplam-baz-sayisi\)-tayini-\(astm-d2896\)/](https://www.eurolab.net/es/testler/proses-guvenligi-ve-kimyasal-guvenlik-testleri/tbn-(toplam-baz-sayisi)-tayini-(astm-d2896)/)
- Fitch, J., & Troyer, D. (2010). *Oil Analysis Basics - Second Edition*. Tulsa, (Ed.), Oklahoma Noria Corporation. Disponible en. <https://archive.org/details/oil-analysis-basics-by-troyer-and-fitch>

- Garry, M., & Bowman, J. (2007). FT-IR Analysis of Used Lubricating Oils-General Considerations. Engineering, Materials Science, Chemistry. *Termo Fisher Scientific*. Disponible en <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CAD/Application-Notes/D10256~.pdf>
- Hangzhou Weihao Clutch Co, Ltd. (13 de diciembre de 2023). *The Crucial Role of Ship Gearboxes in Maritime Propulsion*. Noticias de la industria. Disponible en: <https://www.hzweihao.com/news/industry-news/the-crucial-role-of-ship-gearboxes-in-maritime-propulsion.html>
- Infraspeak Team. (20 de 09 de 2023). Guía completa del mantenimiento predictivo, *Blog*. Obtenido de. <https://blog.infraspeak.com/es/mantenimiento-predictivo/>
- Jaramillo, V., Bouhmala, N., & Haugen, A. (2020). Developing a predictive maintenance model for vessel machinery. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5(4), 358-386. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2020.03.003>
- Kalligeros, S. (2014). Predictive Maintenance of Hydraulic Lifts through Lubricating Oil Analysis. *Machines* 2014, 2(1), 1-12. <https://doi.org/10.3390/machines2010001>
- Kass, Michael, Thomas, John, Sluder, Scott, & Theiss, Timothy. *A Guide to Fuel, Lubricant, and Engine Concerns Relative to the IMO 2020 Fuel Oil Sulfur Reduction Mandate*. United States. <https://doi.org/10.2172/1615792>
- Leatherman, C. (25 de mayo de 2023). Oil Sampling and Maintaining a Healthy Compressed Air System. *SULLAIR*. Disponible en <https://america.sullair.com/en/news/how-oil-sampling-helps-maintain-healthy-compressed-air-system>
- Raheja, D., Llinas, J., Nagi, R., & Romanowski, C. (2006). Arquitectura basada en fusión de datos/minería de datos para el mantenimiento basado en condiciones. *Revista Internacional de Investigación de la Producción*, 44(14), 2869–2887. <https://doi.org/10.1080/00207540600654509>
- Markova, L.V., Makarenko, V.M., Semenyuk, M.S. et al. On-line monitoring of the viscosity of lubricating oils. *J. Frict. Wear* 31, 433–442 (2010). <https://doi.org/10.3103/S106836661006005X>

Machinery Lubrication. (01 de septiembre 2006). Systematic Oil Analysis Interpretation. Disponible en <https://www.machinerylubrication.com/Read/915/oil-analysis-interpretation>

Machinery Lubrication. (29 de agosto 2019). *Understanding Ferrous Density*. Obtenido de <https://www.machinerylubrication.com/Read/1384/ferrous-density>

Malikayil, B., Kumar, V., Naik, A., Jang, B., & Sivaprasad, K. (2020). *Application of hydraulic in fishing vessels deck equipment: case of study of F.V. Sagar Harita*. Matsyapuri: Society of Fisheries Technologists. 57. 1-6. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/344100699>

Marín L, y Muñoz, N. (2003). Aplicaciones del análisis de aceite usado en motores a diésel de uso marino. Grado de Ingeniero Naval. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Repositorio Académico de la Universidad. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4607>

MAN Energy Solutions. (2022). How lube oil condition monitoring enables smarter maintenance. *MAN Energy Solutions*. Disponible en <https://www.man-es.com/services/new-service-solutions/digital-solutions/man-fluid-monitor>

Manwinwin. (18 de julio de 2023). *Software*. Obtenido de <https://www.manwinwin.com/predictive-maintenance/>

Márquez, C. A. (2014). *Modelado y simulación mecánica de un sistema de propulsión de un buque*. Maestría en ingeniería mecánica, Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería. Región Veracruz. Repositorio Académico de la Universidad. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176674>

Metrohm. (12 de junio de 2021). Número de base total en lubricantes con espectroscopia de infrarrojo cercano NIR. Obtenido de <https://www.metrohm.com/es/es/applications/applicationnotes/nahinfrarotspektroskopieannir/an-nir-097.html>

- Mobil. (28 de 02 de 2024). *Alcanza el máximo rendimiento de tu motor con Mobil Super™ 100% Sintético 5W-30*, Obtenido de. <https://mobilenperu.pe/como-elegir-lubricantes-embarcaciones-pesqueras/>
- Mohajer, K. Determining Moisture Content in Crude Oil: Karl Fischer vs. Distillation vs. Centrifuge. (accessed on 25 June 2022). Available online: <https://www.kam.com/wp-content/uploads/2019/07/white-paper-determining-moisture-content-crude-oil.pdf>
- Moleda, M.; Malysiak-Mrozek, B.; Ding, W.; Sunderam, V.; Mrozek, D. From Corrective to Predictive Maintenance—A Review of Maintenance Approaches for the Power Industry. *Sensors* 2023, 23, 5970. <https://doi.org/10.3390/s23135970>
- Montatixe, M. (2010). Propuesta para el cambio de un programador de levas por un PLC en un equipo refrigeración industrial. Tecnólogo electromecánico, Escuela Politécnica Nacional. Repositorio Académico de la Universidad. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2461>
- Nagy, A.L., Knaup, J., & Zsoldos, I. (2019). Investigation of Used Engine Oil Lubricating Performance Through Oil Analysis and Friction and Wear Measurements. *Acta Technica Jaurinensis*, 12(3), pp. 237–251. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v12.n3.495>
- Noria Latín América, S.A. de C.V. (25 de mayo de 2024). Obtenido de Propósito del sistema ISO VG. Consultoría, Educación en Excelencia de Lubricación y Análisis de Lubricantes. Disponible en: <https://noria.mx/lube-learn/analisis-de-aceite/proposito-del-sistema-iso-vg/>
- Noria Latín América, S.A. de C.V. (20 de junio de 2019). Hydraulic Systems and Fluid. Machinery Lubrication. Hydraulic Systems and Fluid Selection. Disponible en <https://www.machinerylubrication.com/Read/277/hydraulic-systems-fluid>
- Noria. (20 de Junio de 2019). Machinery Lubrication. Obtenido de Machinery Lubrication: <https://www.machinerylubrication.com/Read/277/hydraulic-systems-fluid>

Noria. (10 de 02 de 2021). Noria mexico. Obtenido de Noria mexico : <https://noria.mx/lube-learn/analisis-de-aceite/deteccion-y-control-de-agua-en-el-aceite/>

Noria Corporation. (2024). Grados de viscosidad ISO. *Machinery Lubrication*. Obtenido de <https://www.machinerylubrication.com/Read/213/iso-viscosity-grades>

Noria Latín América. (07 de 03 de 2023). Interpretación de análisis de aceites para cajas y engranajes. Obtenido de <https://noria.mx/lube-learn/interpretacion-de-analisis-de-aceite-para-cajas-de-engranajes/>

Oil Laboratories PNG. ISO (2015). Enhance machinery performance with an oil analysis on new and used oils. Disponible en <https://www.oillabspng.com.pg/>

Pérez, J., Gardey, A. (10 de octubre de 2019). *Lubricación - Qué es, definición y concepto*. <https://definicion.de/lubricacion/>

Saldivia, F. (2013). Aplicación de mantenimiento predictivo, caso estudio análisis de aceite usado en un motor de combustión interna. *Eleventh August 14 - 16*. <https://laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RP264.html>

Sánchez, Á., Vizcaíno, A., & Casallas, M. (2020). *Propuesta de Mejoramiento al Plan de Mantenimiento de Compresores Vilter en la Empresa Frigorífico Metropolitano*. Trabajo de grado, Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Escuela Colombiana de Carreras Industriales. Repositorio Académico de la Universidad. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/837>

Sanz, A.T. (2024). Materias primas: reservas, suministro de energía y productos básicos de la Industria Química Orgánica. Universidad de Guayaquil. Escuela de Ingenierías Industriales apuntes de asignatura química industrial, p 1-18. Disponible en <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-guayaquil/quimica-ii/organicos-2-maquina-apuntes-3/7447191>

SEALCO S.A. (18 enero 2021). Sellado de fluidos. Obtenido de. <https://cisealco.com/trico/>

- Trujillo, G. (07 de enero 2020). Integrando el análisis de aceite con el análisis de vibración. Noria Latín América. <https://noria.mx/lube-learn/integrando-el-analisis-de-aceite-con-analisis-de-vibracion/>
- Uanekee, A. (2024). The performance, wear and enviromental impact of Lubrication Systems Used in Marine Engines. *Satakunta University of Applied Science*. Disponible en <https://www.theseus.fi/handle/10024/820593>
- Ventikos, N., Sotiralis, P., & Annetis, E. (2022). A combined risk-based and condition monitoring approach; developing a model for the case of marine engine lubrication. *Transportation Safety and Envorinment*, 4(3). Pp. 2-14. <https://doi.org/10.1093/tse/tdac020>
- Vilarinho, S., López, I., & Oliveira, J. A. (2017). Decisiones de mantenimiento preventivo a través de modelos de optimización de mantenimiento: Un estudio de caso. *Procedia Manufacturing*, 11, 1170-1177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.241>
- Villar, E. (2020). *Origen, evolución y análisis de los buques atuneros Purse Seiner y de los artes de pesca del atún*. Máster en Ingeniería Naval y Oceánica. La Coruña: Universidad Da Coruña, Escola Politécnica Superior. Repositorio Académico de la Universidad. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/30586>
- Wakiru, J., Pintelon, L., Muchiri, P., & Chemweno, P. (2019). A review on lubricant condition monitoring information analysis for maintenance decision support. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 118, pp. 108-132. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2018.08.039>
- Widman International SRL. (2024). Índice de Viscosidad. Santa Cruz Bolivia. Basic Blue theme by ThemeFlood. Disponible en <https://www2.widman.biz/Seleccion/iv.php>
- Widman International SRL. (18 de noviembre 2018). Como tomar muestras de aceite. Santa Cruz Bolivia. Obtenido de https://www.widman.biz/Analisis/toma_muestras.html

Williams, J. (2024). *The Invention of Tribology: Peter Jost's Contribution*. *Lubricants*. 12(3), pp 65. <https://doi.org/10.3390/lubricants12030065>

Wordreference. (2024). *Diccionario de la lengua española*: Disponible en <https://www.wordreference.com/definicion/lubricar>

Yan, Y. (2010). *Tribology and tribo-corrosion testing and analysis of metallic biomaterials*. Serie de publicaciones Woodhead sobre biomateriales. pp 178-201. <https://doi.org/10.1533/9781845699246.2.178>

Zambrano, J & Zambrano, L (2020). Análisis de la industria atunera: Clúster, cadena de valor productiva y productividad. *593 digital Publisher CEIT*, 5(5-1), 263-271. <https://doi.org/10.33386/593dp.2020.5-1.358>

ANEXOS



Anexo 1. Muestra de aceite de motor de combustión.

Fuente: Elaboración propia



Anexo 2. Muestra de aceite de compresor frigorífico

Fuente: Elaboración propia



Anexo 3. Muestra de aceite provenientes de distintos compartimientos

Fuente: Elaboración propia

	DESGATE DEL EQUIPO - PPM (mg/kg)			
Fe (Hierro)	151	270	262	
Cr (Cromo)	2	3	3	
Al (Aluminio)	1	3	3	
Cu (Cobre)	2	2	3	
Pb (Plomo)	1	0	0	
Estaño (Sn)	0	1	1	

Anexo 4. Apartado de desgaste de equipo en el formato de reporte de análisis de lubricante

Fuente: Elaboración propia



Anexo 5. Proceso de muestreo de lubricante SAE 40 en máquina principal

Fuente: Elaboración propia



Anexo 6. Muestras de lubricante usado en compresores frigoríficos en buque atunero

Fuente: Elaboración propia



Anexo 7. Muestreo de lubricante de motor de panga de un barco atunero

Fuente: Elaboración propia



Anexo 8. Muestreo de reductora principal de un buque atunero

Fuente: Elaboración propia



Anexo 9. Preparación de envases para muestreo de lubricantes en barcos atunero

Fuente: Elaboración propia



Anexo 10. Etiquetado de la muestra de lubricante

Fuente: Elaboración propia

REPORTE DE ANALISIS DE LUBRICANTE																						
NOMBRE DEL CLIENTE:					Compartimento:																	
					Equipo:																	
					Marca:																	
					Serie:																	
					Modelo:																	
					Lubricante:																	
					Marca del Lubricante:																	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA																						
Numeración de Muestra																						
Fecha de Muestreo																						
Fecha de Ingreso																						
Fecha de Informe																						
Equipo Hrs/ Km	85300	86261	86381	86848																		
Acete Hrs/ Km	1300	774	894	1500																		
Condición	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN																		
ESTADO DEL LUBRICANTE																						
Viscosidad a 100°C, cSt	15,6	15,7	15,8	15,9																		
T.B.N. mgKOH/gr	14,4	13,4	14,5	12,8																		
Humedad	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO																		
DEGRADACIÓN QUÍMICA																						
Oxidación, Abs/cm	18,1	20,6	17,9	18,6																		
Nitración, Abs/cm	18,1	19,3	17,7	18,0																		
Sulfatación, Abs/cm	17,1	16,8	14,0	20,5																		
Hollín, wt%	0,1	0,2	0,1	0,2																		
										<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">* Rangos Generales</th> </tr> <tr> <th>Precaución</th> <th>Anormal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 12,3</td> <td>> 16,7</td> </tr> <tr> <td>< 5,0</td> <td>< 4,0</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>POSITIVO</td> </tr> </tbody> </table>	* Rangos Generales		Precaución	Anormal	< 12,3	> 16,7	< 5,0	< 4,0	-	POSITIVO		
* Rangos Generales																						
Precaución	Anormal																					
< 12,3	> 16,7																					
< 5,0	< 4,0																					
-	POSITIVO																					
										<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">* Rangos Generales</th> </tr> <tr> <th>Precaución</th> <th>Anormal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥ 18</td> <td>≥ 22</td> </tr> <tr> <td>≥ 15</td> <td>≥ 20</td> </tr> <tr> <td>≥ 25</td> <td>≥ 32</td> </tr> <tr> <td>≥ 2</td> <td>≥ 3</td> </tr> </tbody> </table>	* Rangos Generales		Precaución	Anormal	≥ 18	≥ 22	≥ 15	≥ 20	≥ 25	≥ 32	≥ 2	≥ 3
* Rangos Generales																						
Precaución	Anormal																					
≥ 18	≥ 22																					
≥ 15	≥ 20																					
≥ 25	≥ 32																					
≥ 2	≥ 3																					

Anexo 11. Formato de hoja de reporte de análisis de lubricante (se omiten ciertos elementos para salvaguardar información confidencial del cliente)

Fuente: Elaboración propia