

# **ESCUELA NACIONAL DE MARINA MERCANTE**

## **“ALMIRANTE MIGUEL GRAU”**

**Programa Académico de Marina Mercante**

**Especialidad de Máquinas**



### **REPERCUSIONES EN EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE CILINDROS DE MOTORES MARINOS DE DOS TIEMPOS POR EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN BUQUES MERCANTES, 2021**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
OFICIAL DE MARINA MERCANTE **MENTIÓN EN MÁQUINAS****

**PRESENTADA POR:**

**CAYLE ANGELES, WALTER JAVIER  
GUEVARA YUBAU, ELLIOT SAÚL**

**CALLAO, PERÚ**

**2021**

REPERCUSIONES EN EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE  
CILINDROS DE MOTORES MARINOS DE DOS TIEMPOS POR EL  
USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN  
BUQUES MERCANTES, 2021

## **DEDICATORIA**

A Dios, mi familia y en especial a mi padre en el cielo, que gracias al esfuerzo de cada uno de ellos puedo realizar una de mis más grandes aspiraciones, con la perseverancia de poder aportar en el desarrollo de mi familia y darles un mejor futuro.

*Cayle Angeles, Walter Javier.*

## **DEDICATORIA**

A Dios, mi familia que siempre estuvo apoyándome en todo momento, estoy agradecido con el esfuerzo que han hecho mis padres y que gracias a ellos puedo culminar mis estudios con éxito. Siendo el mayor de mis hermanos también quiero ser un ejemplo para ellos ya que me gustaría que puedan cumplir sus metas exitosamente de la misma forma.

*Guevara Yubau, Elliot Saúl*

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestra alma mater la Escuela Nacional de Marina Mercante “Almirante Miguel Grau”.

A nuestros asesores Dr. en Ciencias Marítimas Antonio Flores Herrera y Jefe de Máquinas Walter Castro Rivero.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
Portada.....	i
Título.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos .....	v
ÍNDICE.....	viii
LISTA DE TABLAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xvi

### **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema .....	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos .....	4
1.3. Objetivos de la investigación .....	5
1.3.1. Objetivo general .....	5
1.3.2. Objetivos específicos... ..	5
1.4. Justificación de la investigación.....	6
1.4.1. Justificación teórica .....	6
1.4.2. Justificación metodológica .....	6
1.4.3. Justificación práctica .....	7
1.5. Limitaciones de la investigación .....	8
1.6. Viabilidad de la investigación .....	9

### **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de la investigación .....	10
2.2. Marco legal .....	17
2.3. Bases teóricas .....	24
2.3.1. Contaminación atmosférica ocasionado por los buques .....	24
2.3.2. Motores marinos .....	33
2.3.3. Combustibles marinos .....	41
2.3.4. Teoría de los lubricantes .....	48

### **CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO**

3.1. Diseño de la Investigación .....	59
3.2. Muestreo .....	61
3.3. Sistema de categorías .....	64
3.4. Técnicas para la recolección de datos .....	65
3.4.1 Técnica .....	65
3.4.2 Instrumento .....	66
3.5. Técnica para el procesamiento y análisis de los datos .....	66
3.6. Rigor Cualitativo .....	67
3.7. Procedimientos .....	69
3.8. Aspectos éticos .....	70

### **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

4.1. Conocer cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustibles con bajo contenido de azufre en buques mercantes, 2021 .....	72
4.1.1. Examinar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes .....	72
4.1.2. Identificar qué repercusiones presenta la lubricación en motores marinos de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes .....	111
4.1.3. Señalar que acciones pueden tomarse en cuenta para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buques mercantes .....	136

### **CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Discusión .....	183
5.2. Conclusiones .....	189
5.3. Recomendaciones .....	193

### **FUENTES DE INFORMACIÓN**

Referencias bibliográficas .....	195
Referencias electrónicas .....	197

## ANEXOS

Anexo 1.	Matriz de consistencia.....	203
Anexo 2.	Lista de términos y abreviaturas.....	205
Anexo 3.	Herramientas de recolección de datos utilizados en el presente estudio.....	209
Anexo 4.	Validez del proceso investigativo a cargo de jueces expertos.....	213
Anexo 5.	Consentimiento informado aplicado antes de realizar entrevistas a la muestra compuesta por sujetos.....	242
Anexo 6.	Guía de aprendizaje.....	244

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Muestra.....	63
Tabla 2: Matriz categorial.....	65

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Límite de emisiones de azufre en el combustible marino.....	19
Figura 2: Línea de tiempo relacionada con las normas “OMI 2020”.....	22
Figura 3: Niveles de NOx admitidos.....	29
Figura 4: Ciclo de azufre.....	30
Figura 5: Zonas de control de emisiones de sustancias contaminantes.....	32
Figura 6: Niveles de SOx permitidos dentro y fuera de las Zonas ECA.....	32
Figura 7: Fase Admisión – Compresión.....	35
Figura 8: Fase Combustión – Escape.....	36
Figura 9: Partes del motor de 2 tiempos.....	37
Figura 10: Fases del motor de 4 tiempos.....	39
Figura 11: Partes del motor de 4 tiempos.....	40
Figura 12: Destilación del petróleo crudo.....	43
Figura 13: Parámetros establecidos por la norma ISO 8217:2017 – Combustibles marinos destilados.....	46
Figura 14: Parámetros establecidos por la norma ISO 8217:2017 – Combustibles marinos residuales.....	47
Figura 15: Portada de un tipo de lubricante en una parte del motor.....	51
Figura 16: Lubricación en un motor de 2 tiempos.....	53
Figura 17: Clasificación SAE de los lubricantes.....	58
Figura 18: Depósito de carbonato de calcio en la cabeza del pistón.....	74
Figura 19: Depósito de carbonato de calcio en la cabeza del pistón.....	75

Figura 20: Recomendación general para manejar la corrosión en frío.....	138
Figura 21: Ejemplo ilustrativo de tasa de pérdida de material.....	139
Figura 22: Tono rojo en la parte superior del pistón con evidencia de desgaste.....	142
Figura 23: Descripción general de los daños encontrados en motores de dos tiempos y pequeños grupos electrógenos de cuatro tiempos.....	144

## **RESUMEN**

La presente investigación tuvo como objetivo conocer cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes, 2021. Fue una investigación de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño fenomenológico. Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia considerando a 08 unidades de información (documentales) y un muestreo no probabilístico en cadena o por redes considerando a 13 sujetos conformados por oficiales de máquinas de nivel gestión y superintendentes. Se utilizó como técnicas de recolección de datos la documentación y la entrevista, y como herramientas de recolección de datos fichas de investigación y guía de entrevista. Los resultados permitieron establecer teorizaciones sobre la lubricación en motores de dos tiempos; lubricación en motores de cuatro tiempos; y acciones para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación; todo ello integrado dentro de la categoría principal de análisis: Repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre. Se concluyó estableciendo que las

repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes están relacionadas principalmente con el número básico (BN), siendo los motores de dos tiempos los más afectados, por lo que se exige que fabricantes de lubricantes, fabricantes de motores y operadores de buques respondan de manera equilibrada a las nuevas situaciones negativas que enfrenta la industria marítima.

**Palabras clave:** Repercusiones, Lubricación, Motores, Marinos, Uso, Combustible, Bajo, Contenido, Azufre, Buques, Mercantes.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to find out what are the repercussions on the lubrication of marine engines due to the use of fuel with low sulfur content in merchant ships, 2021. It was a research with a qualitative approach, basic type, exploratory level and phenomenological design. A non-probabilistic convenience sampling was applied considering 08 information units (documentaries) and a non-probabilistic chain or network sampling considering 13 subjects made up of management-level machine officers and superintendents. Documentation and interview were used as data collection techniques, and research sheets and interview guide as data collection tools. The results allowed to establish theories about lubrication in two-stroke engines; lubrication in four-stroke engines; and actions to prevent engine damage related to the use of low-sulfur fuel and lubrication; all this integrated within the main category of analysis: Repercussions on the lubrication of marine engines due to the use of fuel with low sulfur content. It was concluded by establishing that the repercussions on the lubrication of marine engines due to the use of fuel with low sulfur content in merchant ships are mainly related to the basic

number (BN), with two-stroke engines being the most affected, for which reason requires that lubricant manufacturers, engine manufacturers and ship operators respond in a balanced way to the new negative situations facing the maritime industry.

**Keywords:** Repercussions, Lubrication, Engines, Marine, Use, Fuel, Low, Content, Sulfur, Ships, Merchant.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes, 2021, lo cual representa una condición que ha traído consecuencias a raíz de la implantación de las normas relacionadas con el límite de azufre: “Normas OMI 2020”.

En la nueva era del uso de combustible con bajo contenido de azufre, los buques mercantes están obligados a transitar con un combustible que en zona globales cuente con un 0.5 % masa/masa y un 0.1 % masa/masa, lo cual ha generado repercusiones tanto económicas como operacionales a bordo del buque.

De acuerdo con la Resolución 320(74) “Directrices de 2019 para la implantación uniforme del límite del contenido de azufre del 0.50 % en virtud del Anexo VI del Convenio MARPOL” se establecen que el nuevo uso de combustibles residuales con bajo contenido de azufre en la lubricación de los cilindros presentaría problemas de

no seleccionarse uno adecuado, por lo que sugiere tomar en cuenta las recomendaciones del fabricante del motor.

Tomando en cuenta lo señalado en dicho instrumento normativo, el presente trabajo de investigación se realizó con el propósito de conocer las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes, 2021, lo cual fue desarrollado bajo una perspectiva holística basado en información documental proveniente de instituciones técnicas especializadas y casas manufactureras de motores marinos, lo que sumado a la postura de oficiales de máquinas de nivel gestión y superintendentes permitió establecer una información con rigor científico en virtud del problema planteado.

Los principales aspectos que se abordan con relación al tema central de análisis se sistematizan considerando la lubricación en motores de dos tiempos; lubricación en motores de cuatro tiempos; y acciones para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación; cuyos aspectos representan las orientaciones teóricas en relación con las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre, lo cual se corresponde con la categoría central de análisis.

Por consiguiente, el presente trabajo de investigación se halla dividido de la siguiente manera:

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, Se presenta la descripción de la realidad problemática, la formulación del problema, los objetivos, la justificación, las limitaciones y la viabilidad de la investigación.

CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL, Comprende los antecedentes de la investigación, el marco legal y el marco teórico.

CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO, Se presenta el diseño de investigación, muestreo, sistema de categorías, técnicas de recolección de datos, técnicas para el procesamiento y análisis de los datos, rigor cualitativo, procedimientos, y aspectos éticos.

CAPITULO IV: RESULTADOS, Se presentan los resultados en función a los objetivos específicos sobre los aspectos que corresponden a las subcategorías de análisis que dan respuesta en conjunto al objetivo general del presente estudio a partir de las teorizaciones señaladas

CAPITULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, Se formulan las discusiones, conclusiones y recomendaciones en relación a los objetivos.

Finalmente se incluyen las referencias generales y sus anexos correspondientes.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción de la realidad problemática**

La lubricación en motores marinos, realizados a través de aceites lubricantes cumplen diversas funciones dentro de las partes en movimiento, reduciendo la fricción, el desgaste y mejorar la eficiencia de la operación, buscando de tal manera prolongar la vida útil del motor y reducir costos operacionales (Library, 2022).

La Organización Marítima Mundial, en adelante OMI, el 1 de enero de 2020 determinó, a través del Comité de Protección del Medio Marino, la implantación regulatoria del límite de combustible de contenido de azufre utilizado a bordo de 0.5 % masa/masa a nivel global, respondiendo de manera reactiva a las problemáticas de salud humana y ambientales, en especial de aquellas zonas portuarias donde existe ingreso y salidas de buques.

Con la normativa medioambiental relacionada con los límites de azufre, los combustibles para obtener el porcentaje de azufre requerido (0.5 %) se obtiene a través de diferentes mezclas, lo cual crea una variabilidad en propiedades tales como la viscosidad, densidad, punto de fluidez y concentración de finos catalíticos lo que determina que la elección de un lubricante compatible que pueda compensar dichas especificaciones que se presentan de manera variable sea esencial para evitar el ensuciamiento del motor y las consecuentes costosas reparaciones (Mundo Marítimo, 2021).

Según el Club Sueco de Protección e Indemnidad (2018):

Los daños en el motor principal representan el 28 % de todas las reclamaciones de maquinaria y el 34 % de los costes, con un coste medio de las reclamaciones cercano a los 650 000 USD. La falla del aceite de lubricación (lubricante) es la causa de daño más costosa y frecuente, seguida por un mantenimiento incorrecto y una mala gestión del combustible (p. 3).

Ante lo señalado, la lubricación de los motores marinos en la nueva era del uso de combustibles con bajo contenido de azufre en los buques mercantes genera nuevos retos, que, sumados a las problemáticas ya conocidas, determinan que la industria naviera deba prepararse de manera continua para evitar daños significativos a uno de los principales elementos del sistema de propulsión: la máquina principal.

Los operadores de los buques mercantes, principalmente el recurso humano que forma parte del departamento de máquinas deben ser conscientes de la nueva realidad respecto a las problemáticas de la lubricación a los cuales los motores marinos se encuentran involucrados, sin embargo, hasta la actualidad existe poco o vago conocimiento sobre un tema que necesita mayor atención por la relevancia que representa.

La causa a dicha problemática podría estar relacionada con la falta de bibliografía sobre el tema, ya que la adopción de las medidas con respecto a los límites de azufre fue implementada de forma rápida, lo que no permitió que en tareas de capacitación las navieras puedan haber dispuesto de un tiempo prudente para capacitar a los operadores de buques respecto a las repercusiones para la seguridad en relación con el uso de combustibles reglamentarios.

En consecuencia, una mala gestión y supervisión de la lubricación por parte de los operadores de buques mercantes tanto en motores de 2 tiempos como de 4 tiempos puede conllevar a daños a los anillos del pistón, camisas del cilindro, cárter, etc., lo que sumado a los posibles daños abrasivos por los componentes agregados que posee un nuevo combustible con bajo contenido de azufre (finos catalíticos) generen problemas irreversibles en los componentes de la máquina, conllevando a pérdidas económicas tanto operativas como comerciales.

Frente a la situación expuesta, el presente trabajo de investigación llevada a cabo desde una perspectiva cualitativa y holística indaga sobre las repercusiones de la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo

contenido de azufre en buques mercantes, contribuyendo de dicha manera que a partir de un conocimiento base se formulen cada vez mejores gestiones que respondan a las nuevas realidades del transporte marítimo.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes, 2021?

### **1.2.2. Problemas específicos**

-¿Cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes?

-¿Qué repercusiones presenta la lubricación en motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes?

-¿Qué acciones pueden tomarse para evitar daños en el motor relacionados con el uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buques mercantes?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes, 2021.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

-Determinar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes.

-Determinar qué repercusiones presenta la lubricación en motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes.

-Determinar qué acciones pueden tomarse para evitar daños en el motor relacionados con el uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buques mercantes.

## **1.4. Justificación de la investigación**

### **1.4.1. Justificación teórica**

Aporta con un conocimiento sistematizado y estructurado respecto a la lubricación de motores marinos, lo cual puede servir de base para futuros investigadores interesados en la línea de investigación del presente trabajo de investigación, sobre la cual se establece aspectos críticos que pueden ayudar a generar mayor conocimiento con el fin de poder acrecentar las fronteras del conocimiento dentro del ámbito marítimo.

Los resultados del presente estudios, plasmados a través de teorizaciones que se corresponden con una síntesis conceptual generan teorías actuales sobre los posibles retos a los cuales la industria naviera se encuentra involucrado, considerando las problemáticas por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre y la lubricación de motores marinos, lo cual se corresponde con la realidad actual. Con base a dichas teorizaciones se pueden formular estudios con mayor amplitud y nivel de profundidad.

### **1.4.2. Justificación metodológica**

Considerando que la respuesta al problema planteado determinó que un enfoque flexible e iterativo como la ruta de investigación cualitativa se correspondiese, el presente trabajo de investigación aporta con una matriz categorial en donde se establecen los elementos que forman parte de las

aspectos específicos de análisis del presente trabajo de investigación, la cual puede ayudar a poder establecer nuevos proyectos de investigación generando mayor conocimiento y discusiones con rigor científico.

Por otra parte, las fuentes documentales y la guía de entrevista representan dos elementos empíricos del presente estudio el cual puede ayudar a nuevos investigadores a tomarlos en cuenta para poder realizar un proceso investigativo o adaptarlos de acuerdo a las necesidades cognoscitivas que proyecten en relación con el objetivo de estudio, siempre y cuando se corresponda con lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre.

### **1.4.3 Justificación práctica**

Si bien es cierto, la investigación científica es una herramienta que permite poder brindar soluciones prácticas a las diversas problemáticas que enfrenta la sociedad, la investigación básica que se corresponde con un estudio de corte cualitativo brinda los insumos necesarios que conlleven a mejorar condiciones en diversas áreas del conocimiento y contextos de estudio.

Con respecto al presente estudio, los resultados generan un conocimiento de tipo básico que promueve y genera mayor conocimiento sobre la línea de investigación abordada (repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre) cuyos resultados determinan que se sigan realizando más estudios que con lógica científica se

correspondan con brindar soluciones prácticas a las problemáticas dentro de la industria marítima vinculada con la operación de buques mercantes.

### **1.5. Limitaciones de la investigación**

Una de las primeras limitaciones que se presentaron para desarrollar el presente estudio, fue la falta de referencias bibliográficas respecto al tema central de estudio, tanto en inglés como en español, lo que representa que es necesario poner mayor atención a las problemáticas relacionadas con la lubricación de motores marinos en la nueva era del uso de combustible con bajo contenido de azufre.

Así también, no se ubicaron antecedentes directos que se correspondan con la línea de investigación y objetivos, por lo que, tomando en cuenta la teoría y metodologías relacionadas con el presente trabajo de investigación se establecieron ocho antecedentes de investigación, todos realizadas a nivel internacional.

Así también, con respecto a la selección de unidades de información compuesta por sujetos quienes puedan aportar con datos sustanciales para responder al objetivo de investigación se presentaron dificultades ya que muchos de los primeros entrevistados desconocían el tema, ya que brindaban ideas generales sobre lo que se proyectaba analizar. En ese sentido, la búsqueda de unidades de información quienes respondan a la entrevista que se planteó demoró más del tiempo planificado.

Por otra parte, la emergencia sanitaria que obliga que no se puedan realizar entrevistas presenciales conllevó a que la comunicación se realice vía telefónica y en algunos casos haciendo uso de la plataforma virtual Google Meet, cuyo funcionamiento al depender presentó algunas dificultades ya que algunos de los entrevistados se encontraban a bordo de buques mercantes prestando servicio.

Con respecto a la denominación de combustibles con bajo contenido de azufre se refiere a combustibles netamente residuales, por lo que no se establece en ninguna parte del presente informe un análisis respecto al uso de combustibles destilados.

#### **1.6. Viabilidad de la investigación**

El presente trabajo de investigación fue viable porque se pudo contar con el recurso humano, financiero, material y tecnológico que permitió recabar toda la información necesaria para poder responder con el rigor científico que caracteriza a una investigación cualitativa, todo ello en razón del objetivo general establecido.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

La presente investigación se respalda en los antecedentes internacionales de Cordero (2021), con un estudio titulado: “*Aplicación del límite de 0.5 % de azufre en los combustibles*”. Se propuso como objetivo conocer los resultados obtenidos y recopilados que servirán como referencia para conocer cómo se comportan los sistemas de combustible y motores ante los nuevos combustibles de 0.5 % de contenido de azufre. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básico, nivel exploratorio y diseño fenomenológico. Utilizó como técnicas de recolección de datos la documentación y como herramientas de recolección de datos fichas de investigación. La muestra estuvo conformada por unidades documentales referentes al tema central de análisis. Los resultados presentan teorizaciones respecto a las características del sistema de combustible, cambio de combustible, precauciones en los módulos de combustible y precauciones con los aceites. Se concluyó estableciendo que antes de la entrada en vigor de la nueva norma de reducción de azufre en los combustibles pesados, existía la preocupación por

parte del sector marítimo de no ser capaces de adaptarse al nuevo límite de 0.5 % de azufre en los combustibles pesados, lo que era palpable tanto en armadores como en fabricantes de los motores quienes no sabían si la calidad del nuevo combustible sería la adecuada para el correcto funcionamiento de los motores.

Brice y Bown (2019) realizaron un estudio titulado: “*¿Por qué el número base (BN) por sí solo no es la respuesta al formular aceites para cilindros para combustibles con un 0.5 % de azufre?*”. Se plantearon como objetivo demostrar cómo los aditivos funcionales pueden reducir eficazmente el impacto de la variabilidad del combustible, con un rendimiento mejorado en el área de control de depósitos del motor, aspectos que contribuyan a mejorar la durabilidad del motor. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño fenomenológico. Utilizó como técnica de recolección de datos la documentación y como herramientas de recolección de datos fichas de investigación. La muestra estuvo conformada por fuentes documentales vinculada al tema central de estudio. Los resultados establecieron síntesis conceptuales sobre los combustibles marinos y prueba de motores con combustible residual con bajo contenido de azufre (VLSFO). Se concluyó que las pruebas realizadas por Lubrizol demostraron que las MDCL de 40 BN desarrolladas anteriormente para usar con combustibles con hasta un 1.5 % de azufre pueden no proporcionar el rendimiento requerido, según las condiciones de operación, cuando se usan en buques que queman VLFSO, demostrando además la eficacia de los dispersantes para brindar un rendimiento adicional en el área de la limpieza del pistón en comparación con los MDCL formulados convencionalmente cuando se usa combustible con un 0.5 % de azufre.

Thomas et. al. (2019) realizaron un estudio titulado: *“Una guía para las inquietudes sobre combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020”*. Se planteó como objetivo brindar orientación a los propietarios y operadores de buques de carga marítimos sobre los desafíos y los cambios necesarios debido al límite de combustible de azufre de 0.50 % para el año 2020. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño fenomenológico. Utilizó como técnica de recolección de datos la documentación y como herramientas de recolección de datos fichas de investigación. La muestra estuvo conformada por unidades documentales relacionadas con el tema central de análisis. Los resultados establecen teorizaciones respecto a la química y propiedades de combustibles marinos; la elección, manejo y acondicionamiento de combustibles marinos; contaminación microbial; lubricación; daños del motor relacionados con los combustibles y lubricación; reducción del uso de la energía y combustibles. Concluyeron que el nivel reducido de azufre pesado también presentará desafíos para la operación del motor, particularmente la lubricación, ya que se están desarrollando nuevas formulaciones de CLO y protocolos operativos específicamente para temperaturas de combustión más bajas y formación de ácido sulfúrico, por lo que es necesario hacer coincidir el BN adecuado de la CLO con el contenido de azufre del combustible es fundamental para mantener al mínimo la formación y acumulación de depósitos, por lo que la selección adecuada de CLO requerirá que el operador del buque conozca el papel del BN y otras propiedades del lubricante.

Alfa Laval (2018) realizó un estudio titulado: "*Lubricación de motores marinos después de 2020*". Se propuso como objetivo analizar y conocer el posible impacto de la normativa OMI 2020 que tendrá en la lubricación de motores marinos. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño teoría fundamentada. Utilizó como técnica de recolección de datos la documentación y como herramientas de recolección de datos, fichas de investigación. La muestra estuvo conformada por unidades documentales relacionadas con afectaciones de la lubricación en la nueva del uso de combustibles con bajo contenido de azufre en motores de 2 y 4 tiempos. Los resultados establecieron teorizaciones respecto a las regulaciones de combustible y el impacto en la lubricación, los requisitos para los sistemas de tratamiento de aceite de motor, limpieza de aceite lubricante, lo que se espera en la próxima década y aspectos básicos de la prevención de pérdidas. Se concluyó que las reglamentaciones de 2020 provocarán más cambios en la industria marítima mundial que las reglamentaciones de 2015 para usar combustible con bajo contenido de azufre, lo que afectará aproximadamente al 75 % del uso total de combustible marino a nivel mundial, por lo que existen numerosas preguntas sin respuestas respecto al impacto que tendrán las regulaciones de la OMI en los sistemas de lubricación de motores marinos.

Hernández (2018) realizó un estudio titulado: "*Análisis del sistema de lubricación de las camisas del cilindro en motores marinos modernos de baja velocidad*". Se propuso como objetivo establecer los problemas operativos concurrentes observados en el sistema de lubricación y las repercusiones en las camisas del cilindro en motores marinos de dos tiempos. Fue un estudio de

enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño fenomenológico. Utilizó como técnicas de recolección de datos la documentación y como herramientas de recolección de datos, fichas de investigación. La muestra estuvo conformada por diversas unidades de información de páginas especializadas relacionados con la lubricación motores marinos. Los resultados establecieron síntesis conceptuales sobre las funciones y papel del aceite lubricante del cilindro en el motor; composición de los aceites lubricantes modernos para la lubricación de camisas de cilindros; especificación de aceites lubricantes de cilindros para motores marinos de baja velocidad; la lubricación de las camisas de los cilindros; sistema de lubricación Alfa Man B & W para lubricación de camisas de cilindros de motores de cruceta modernos; sistema de lubricación Wartsila Pulse Jet para motores de cruceta modernos; estimación de la calidad de lubricación de las camisas de los cilindros; análisis y solución de problemas. Se concluyó que durante el funcionamiento normal del motor y en cada cilindro se puede controlar y monitorear algunos datos para evaluar el estado del motor.

Canter (2017) realizó un estudio titulado: *“Aceites para motores de cilindros diésel marinos: Desafíos de lubricación afectados por condiciones y reglamentos de funcionamiento”*. Se planteó como objetivo discutir los problemas regulatorios y operativos clave que enfrentan los proveedores de aditivos y los fabricantes de lubricantes terminados. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básico, nivel exploratorio y diseño teoría fundamentada. Utilizó como técnica de recolección de datos la documentación y la entrevista. Como herramientas de recolección de datos utilizaron fichas de investigación y una guía de entrevista. La muestra estuvo conformada por fuentes documentales relacionados con el tema y sujetos

especialistas sobre la lubricación de cilindros en motores marinos. Los resultados establecieron teorizaciones sobre los factores de regulación y operación; combustibles con bajo contenido de azufre; combustibles múltiples; corrosión en frío; aceites base del grupo II; gas natural; emisiones de dióxido de carbono y emisiones de óxidos de nitrógeno; y retos futuros relacionado al tema central de análisis. Concluyó estableciendo que los fabricantes de lubricantes y los proveedores de aditivos deberán continuar desarrollando soluciones en el futuro para cumplir con los cambios continuos en la industria marina, particularmente en razón del uso de combustibles marinos con bajo contenido de azufre.

El Consejo Internacional de Motores de Combustión (CIMAC, 2017) realizó un estudio titulado: *“Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos”*. Se planteó como objetivo explorar la ciencia detrás de la corrosión en frío; que es y por qué ocurre; comprendiendo además el hardware involucrado, el combustible y los efectos operativos. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño teoría fundamentada. Utilizó como técnicas de recolección de datos la documentación y como herramientas de recolección de datos, fichas de investigación. La muestra estuvo conformada por unidades documentales respecto a los conceptos y temas asociados al tema central de análisis. Los resultados establecieron teorizaciones sobre los mecanismos de desgaste; la formación del ácido sulfúrico; el rol del lubricante; la corrosión en frío del cilindro; diseño de motor; configuración del motor y su impacto sobre el nivel corrosión; experiencia en servicio y operación de motores; directrices; etc. Se concluyó estableciendo que la industria marítima continúa enfrentándose a un entorno desafiante de legislación progresiva destinada a reducir las emisiones de los

buques ya que las técnicas de reducción de emisiones necesariamente tendrán un impacto en el diseño y operación del buque y del motor.

Por último, Casado (2015) realizó un estudio titulado: *“Estudio quimiométrico de aceites lubricantes marinos”*. Se propusieron como objetivo poner en marcha y optimizar un conjunto de métodos alternativos a las normas que rigen para el control y seguimiento de los lubricantes marinos en motores diésel para el análisis del contenido de insolubles y para la determinación del BN. Fue un estudio de enfoque cuantitativo, tipo básica, nivel explicativo y diseño experimental. Se hizo uso de técnicas de recolección de datos la documentación y observación. La muestra estuvo conformada por 19 muestras de los aceites lubricantes. Se realizó previamente al análisis experimental una serie de pretratamientos que facilitó el software con el fin de mejorar la calidad de los resultados. Los resultados presentaron porcentajes de insolubles, BN y la validación correspondiente de modelos tanto PCR para insolubles y PLS para BN. Se concluyó que el contenido de insolubles IP presenta problemas a la hora de llevar a cabo el análisis, ya que se invierte aproximadamente un tiempo de 130 minutos, lo que a su vez conlleva a que de la habilidad del analista se obtengan resultados acordes con un análisis adecuado.

## 2.2. Marco legal

La problemática que se suscita en la actualidad dentro de la industria marítima y en particular en la naviera por el uso de combustible con bajo contenido de azufre es una consecuencia normativa establecida por OMI a través de la implantación de las normas denominadas “OMI 2020”, las cuales se orientan a establecer límites de las emisiones de azufre proveniente de los buques mercantes.

Con relación al entendimiento adecuado del presente estudio en relación con la vinculación de las normas “OMI 2020” es necesario poder revisar los siguientes instrumentos normativos:

**-Convenio MARPOL:** El Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, denominado también MARPOL, es uno de los instrumentos normativos pilares del transporte marítimo, en la cual se establecen normas con el fin de prevenir la contaminación proveniente de las operaciones principalmente de buques mercantes.

Según OMI (2020) el Convenio MARPOL establece reglas encaminadas a prevenir y reducir al mínimo la contaminación ocasionada por los buques, llevadas a cabo tanto de manera accidental como aquellas suscitadas de las operaciones normales.

El Convenio fue adoptado en 1973 y entró en vigor el 2 de octubre de 1983, y ha sufrido a lo largo de los años modificaciones en respuesta de las nuevas evidencias relacionadas con las fuentes de contaminación proveniente de los buques (Protocolo de 1978 y 1997).

En la actualidad consta de seis anexos técnicos, los cuales son: a) Anexo I: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos; b) Anexo II: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel; c) Anexo III: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos; d) Anexo IV: Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques; e) Anexo V: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por las basuras de los buques; f) Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques.

**-Anexo VI – Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques:** El Protocolo de 1997 realizada al Convenio MARPOL introdujo un nuevo anexo, en la cual se establecen prescripciones los cuales buscan regular las emisiones ocasionadas de los buques hacia la atmósfera.

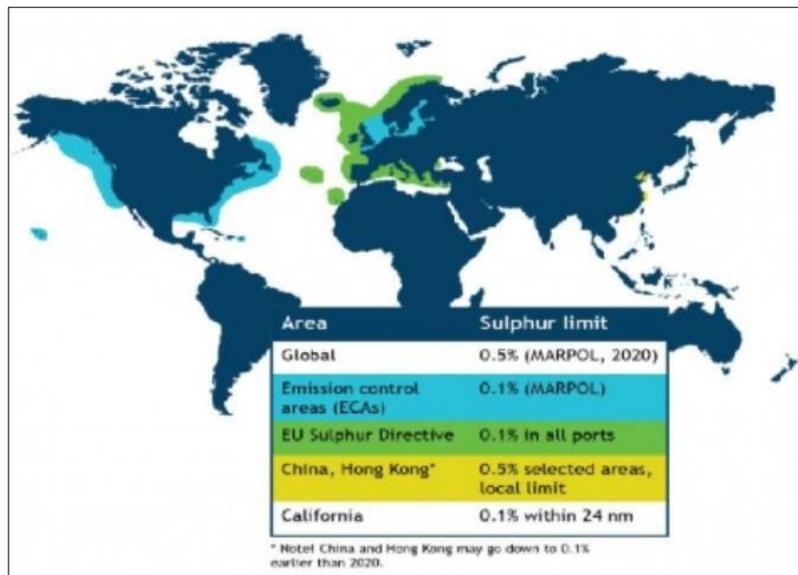
Según OMI (2020) en el anexo VI se establecen límites de emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>, así como de CO<sub>2</sub> y otros gases, prohibiéndose las emisiones deliberadas en zonas globales y zonas ECAs, respondiendo de manera concreta a la preocupación medioambiental de diversos sectores industriales.

Entro en vigor el 19 de mayo de 2005 y en la actualidad está formado por 25 reglas agrupadas en 5 capítulos. Para efectos del presente estudio, el capítulo 3 denominado “Prescripciones para el control de las emisiones de los buques” cobra relevancia, debido a que se establecen reglas que limitan el contenido de azufre en los buques (regla 14) y respecto a la disponibilidad y calidad del combustible (regla 18).

**–Regla 14 – Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y materia particulada:** La regla 14 establece que el límite de azufre utilizado o transportado para la utilización a bordo del buque no exceda a 0.50 % masa/masa, estableciendo además que para zonas ECAs el límite no excederá de 0.10 % masa/masa (OMI, 2017).

**Figura 01**

*Límite de emisiones de azufre en el combustible marino.*



*Nota.* Límites de emisiones de SO<sub>x</sub> de acuerdo con zonas globales y ECAs (<https://www.b-smartsolution.com/post/lo-que-debes-saber-sobre-imo-2020>)

La enmienda que modificó últimamente los límites de azufre en el combustible fue adoptada el 25 de octubre de 2018 por Resolución MEPC.305(73) y se denominó “Enmiendas al anexo del Protocolo de 1997 que enmienda el

Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978”.

Previo a la enmienda los límites de azufre en zonas globales eran de 3.5 % masa/masa y en zonas ECAs ya se establecía el límite de 0.1 % masa/ masa. En la actualidad, las nuevas regulaciones vinculadas con los límites en el azufre han repercutido de manera económica y operativa tanto en los proveedores de combustible (refinerías) como en los usuarios del mismo (buques mercantes).

Cabe resaltar que a través de la Resolución MEPC.280(70) denominada “Fecha de entrada en vigor de la norma de fueloil de la regla 14.1.3 del Anexo VI del Convenio MARPOL” se establece que el 1 de enero de 2020 es la fecha de implantación efectiva para que todos los buques se ajusten a la norma mundial sobre el contenido de azufre de 0.50 % masa/masa.

Con respecto a la implantación de las normas relacionadas con el límite de azufre se estableció una Resolución la cual establece directrices para la implantación uniforme en los buques, de acuerdo a lo que se establece en la regla 14 del Anexo VI del Convenio MARPOL (Resolución MEPC.320(74)).

**-Resolución MEPC.320(74) – Directrices de 2019 para la implantación uniforme del límite del contenido de azufre del 0.50 % en virtud del Anexo VI del Convenio MARPOL:** Fue adoptado el 17 de mayo de 2019 con el objetivo de garantizar la implantación uniforme del límite del contenido de

azufre del 0.50 % en razón de lo establecido en el Anexo VI del Convenio MARPOL (MEPC, 2019).

Las orientaciones establecidas en la presente resolución están destinadas para las Administraciones, Estados rectores de puertos, propietarios de buques, constructores de buques y proveedores de combustible marino. En ese sentido, se puede comprender que el impacto de la nueva norma relacionada con el azufre tiene un impacto tanto en las distintas figuras operativas donde proveedores y usuarios de combustible reglamentario son los que más resaltan.

Dentro de las directrices se señalan repercusiones en los sistemas de máquinas y combustible, por el uso tanto de destilados y residuales. Con respecto al uso de residuales se señalan, los problemas de estabilidad, compatibilidad, finos catalíticos y la lubricación de los cilindros.

MEPC (2019) establece que:

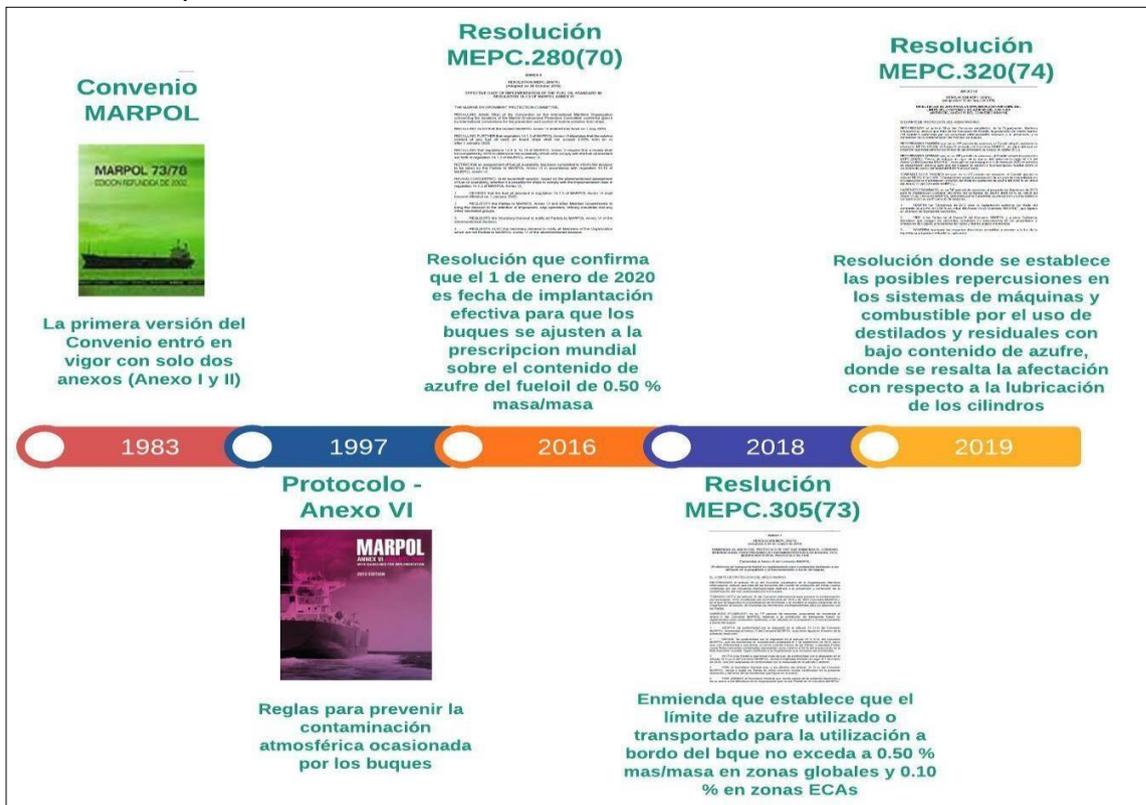
La selección de los aceites de lubricantes de los cilindros se ajustará con frecuencia al tipo de combustible que se utilice. Por eso al pasar del funcionamiento con combustibles marinos residuales a fueloiles con contenido muy bajo de azufre, en la selección de un aceite lubricante de los cilindros adecuado deberían tenerse en cuenta las recomendaciones del fabricante del motor (p. 14).

Se establece problemas con respecto a la lubricación de los cilindros, lo cual se observa por lo general en motores de dos tiempos. Por otra parte, es importante resaltar que todas las cuestiones problemáticas que resalta la directriz por el uso del nuevo combustible reglamentario con bajo contenido de azufre es establecida a partir de las experiencias de buques que han navegado en años anteriores por zonas ECAs, donde ya desde el año 2015 el límite establecido era de 0.1 % masa/masa.

La presente resolución, de acuerdo al contenido establecido señala diversas repercusiones a los cuales los sistemas de combustible y máquina principal se pueden encontrar sometidos por utilizar combustible reglamentario, ya que poseen elementos que pueden causar daños de manera irreversible.

**Figura 02**

*Línea de tiempo relacionada con las normas “OMI 2020”.*



*Nota.* La figura muestra los instrumentos normativos más importantes vinculadas con la norma de los límites de azufre en el combustible marino (Elaboración propia)

**-Regla 18 – Disponibilidad y calidad del fueloil:** La regla 18, denominado también “Disponibilidad y calidad de fueloil” establece prescripciones que buscan que se puedan establecer medidas adecuadas para que se pueda cumplir con la regla 14.

Señala que el combustible denominado reglamentario presenta las siguientes características:

- Se encuentre compuesto por mezclas de hidrocarburos derivados del refinado del petróleo, pudiendo utilizar aditivos los cuales no afecten aspectos del rendimiento de la máquina principal.
- No contener ácido inorgánico.
- No contener sustancias añadidas por desecho químico.
- No afecte significativamente al rendimiento de las máquinas.
- No sea perjudicial para el personal y la atmosfera, etc. (OMI, 2017).

En ese sentido, el combustible que se entregue o reciba debe cumplir con las especificaciones señaladas anteriormente, lo que requiere del compromiso tanto de proveedores, operadores y de las Administraciones quienes deben ejercer un control apropiado.

## **2.3. Bases teóricas**

### **2.3.1. Contaminación atmosférica ocasionado por los buques**

En la actualidad, según Oceana (2021) el comercio mundial tiene mayor movimiento vía marítima lo cual representa más del 90% de las necesidades económicas de la sociedad, por tal motivo, como cualquier otro medio de transporte, su propulsión es mediante combustibles fósiles, lo cual contribuye en el cambio climático y por ende en la acidificación de los océanos.

A lo cual, Ruano (2020) reafirma lo expuesto, ya que menciona que estos combustibles fósiles están constituidos por azufre, materiales pesados y otros componentes tóxicos, componentes que durante la combustión emiten CO<sub>2</sub> en gran nivel, además componentes volátiles, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, los cuales según Gonzales et al. (2013) indican que el 20 % de las emisiones se realizan dentro de las 12 millas del mar territorial europeo.

Por otro lado, Sin (2012) asevera que los buques en cuestión de cantidades de emisiones a la atmósfera no son grandes contribuyentes, pero, sin embargo, se ven afectados de alguna forma por las nuevas regulaciones internacionales que se van implementando para poder reducir dichas emisiones.

Según OMI (2020) la contaminación atmosférica por los buques mercantes, no solo se da por emisiones de gases contaminantes, muchas veces se

produce un efecto acumulativo por otro tipo de contaminación lo que afecta al medio natural y ocasiona las lluvias ácidas.

Además, la Organización toma estas problemáticas y las regula en el Convenio MARPOL, con el fin de controlar y disminuir progresivamente las emisiones contaminantes atmosféricas por los buques entra en vigor el Anexo VI, donde se detallan normas sobre límites de emisión SOx y NOx y además sobre la intensidad de carbono.

En base a todo lo anterior, se puede afirmar que la contaminación atmosférica producida por los buques ha ido incrementando con el pasar de los años, puesto que el 90% del intercambio comercial se lleva a cabo por medio de buques mercantes.

Es por ello que, como cualquier otro medio de transporte, el transporte marítimo internacional, hace uso de combustibles fósiles residuales los cuales contienen alta concentración de azufre por ello, al momento de realizar la combustión, los gases de escape más contaminantes son CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>.

En tal sentido, la OMI como ente regulador, actúa como líder en el proceso de reducción de gases contaminantes (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>), emitiendo una serie de regulaciones que están provistas para cambios y mejoras constantes con el fin de mitigar la contaminación atmosférica, plasmados en el Anexo VI del Convenio MARPOL y así poder cumplir con los objetivos de la Organización.

**-Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** Según OMI (2020), en el tercer estudio de la OMI con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, proporciona una estimación de 2.2% del total de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>. Es en tal sentido que la Organización toma medidas correctivas para poder reducir la contaminación por los GEI mediante el Comité de protección del medio marino.

Además, afirma que esta labor del MEPC se ve reflejado en la elaboración de medidas técnicas y operacionales para poder cumplir con las ambiciones de la Estrategia inicial de la OMI. Estas nuevas regulaciones están plasmadas en el Capítulo cuatro del Anexo VI del Convenio MARPOL, las cuales fueron diseñadas para optimizar energéticamente al buque.

Estas normas sobre la eficiencia energética son obligatorias puesto que la OMI se encuentra en una lucha contra el cambio climático y sus efectos por lo cual utilizará las reglas como instrumento para hacer frente la problemática, estas normas son el índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) para buque nuevo y el Plan de gestión de la eficiencia energética del buque (SEEMP) obligatorio para todo buque.

Es en tal sentido que el dióxido de carbono se define como un gas de efecto invernadero, de los más importantes que causan el calentamiento global y ante la problemática, la OMI plantea regulaciones de carácter obligatorio tomando en cuenta normativa operacional y técnicas para los buques tanto nuevos y existentes.

**-Óxido de nitrógeno (NOx):** De acuerdo con Bound4blue (2020) la flota mundial de buques mercantes, la cual es de aproximadamente 90 000 buques, utilizaban un combustible fósil conocido como Heavy fueloil el cual tenía gran cantidad de azufre en su composición, además hoy en día tienen un consumo diario que oscila entre 4 y 11 toneladas de combustible, por ende, el transporte marítimo representa el 15% de emisiones globales de NOx.

Según OMI (2021) establece medidas operativas para la disminución de gases contaminantes, es por ello que los límites de emisiones de los motores diésel marinos están regulados por el Convenio MARPOL y adicional a ello, controlado mediante el Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores (EIAPP).

En base a ello, el óxido de nitrógeno es un gas contaminante, en el ámbito marítimo es producido por la combustión del combustible fósil el cual representa un tercio de la contaminación mundial, por tal motivo la OMI establece regulaciones de carácter mandatorio para la reducción de estos gases ya que es uno de los principales causantes de las lluvias ácidas.

Por otro lado, García (2018) sobre las regulaciones del Convenio MARPOL, hace hincapié en la aplicación de la norma para motores diésel marinos con una potencia mayor 130 kW, además de ser reguladas en función de su año de construcción y régimen nominal del motor (rpm).

Adicional a ello, con respecto a la certificación EIAPP, lo denomina como mandatoria ya que es uno de los instrumentos por los cuales se asegura el cumplimiento de las prescripciones normativas, así mismo, debe ser aprobado por el estado de abanderamiento de la nave o por una sociedad clasificadora.

Por otro lado, la norma también establece valores para las zonas geográficas de control de emisiones (ECA) las cuales dependen de cuan ácida es la naturaleza de la tierra por donde el barco está navegando en forma costera. (Anave, 2019).

Las regulaciones están netamente ligadas y orientadas a la reducción de gases contaminantes, por lo cual implanta certificaciones obligatorias y además de ello establece zonas por las cuales se debe de reducir las emisiones en un nivel mucho menor al habitual las cuales se denominan ECA.

De esta manera, los niveles de control del óxido de nitrógeno (NOx) están regulados dependiendo del año de construcción del buque y un determinado nivel establecido a partir del régimen nominal del motor, estos niveles de emisiones son tres (I, II, III) donde el nivel III se aplica únicamente a los buques nuevos y que navegan en las zonas designadas con zonas de control de emisiones (ECA).

**Figura 03***Niveles de NOx admitidos.*

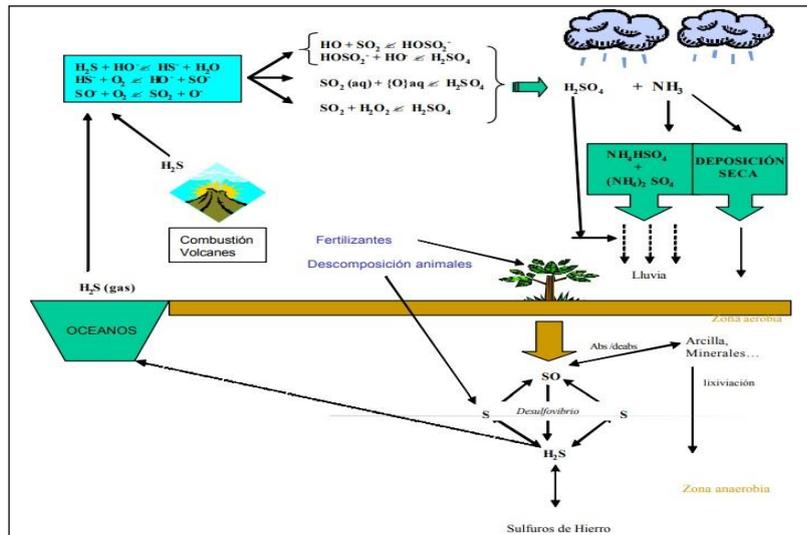
Nivel	Fecha de construcción del buque	Valor límite de emisión ponderada total del ciclo (g/kWh) n = régimen nominal del motor (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 enero 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ por ejemplo, 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 enero 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ por ejemplo, 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 enero 2016*	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ por ejemplo, 720 rpm – 2.4	2.0

*Nota.* El nivel III se aplicarán a buques que navegue en zonas de control de emisiones (ECA). (<https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/>).

**-Óxido de azufre (SOx):** Según Arrebola (2004), el óxido de azufre es uno de los principales gases contaminantes liberados a la atmósfera, de entre todos los compuestos el que tiene mayor presencia en el ambiente es el dióxido de azufre que es formado naturalmente o antropogénicamente debido a la combustión del combustible fósil y los procesos industriales.

Por otro lado, OMI (2020) ante lo expuesto afirma que el combustible usado a bordo es el derivado del petróleo crudo el cual tiene gran cantidad de azufre en su composición que es liberado en los gases de escape a la atmósfera. Además, a causa del óxido de azufre son causadas las lluvias ácidas, las cuales causan daños en los cultivos y además la acidificación de los océanos que afectan a los ecosistemas marinos.

**Figura 04**  
Ciclo del azufre.



Nota. Ciclo del azufre desde su emisión a la atmosfera hasta la precipitación como lluvia ácida.  
[https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc5101574039cd9\\_Hig.Sanid\\_Ambient.4.106-113\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc5101574039cd9_Hig.Sanid_Ambient.4.106-113(2004).pdf)

Es en tal sentido la OMI establece regulaciones que han ido cambiando con los años y se han vuelto más estrictas con respecto a los límites del contenido de azufre en los combustibles, permitiéndoles 0.50% masa/masa para los buques que naveguen fuera de las zonas de control de emisiones.

Además, la Organización también se plantea cinco ventajas con respecto al límite de azufre en los combustibles.

- Aire más limpio, se estima que se reduzca en un 77% las emisiones del óxido de azufre.
- Efectos positivos en la salud humana, las enfermedades que fueron causadas por las emisiones se verán reducidas en relación con la mortalidad.
- Combustibles de mayor calidad, debido al bajo nivel de azufre, se le considera un combustible de mejor calidad ya que se le considera limpio.

-Los armadores y propietarios de las refinerías ya se han adaptado, las partes interesadas, al igual que la OMI han reforzado la materia de orientación antes de la entrada en vigor de la normativa.

-Cambios en las autoridades encargadas del cumplimiento, los entes competentes, como el estado de abanderamiento y los estados rectores del puerto cumplirá con su labor de administrador legislativo.

Zonas de control de emisiones (ECA): García (2018) las define como zonas en las cuales se limita las emisiones de gases contaminantes del aire (SOx, NOx y partículas) que son emitidas por el transporte marítimo y fueron establecidas dependiendo de las zonas geográficas ya que las emisiones de ácido pueden afectar a estas áreas más que a otras. Además, para lograr dicha reducción de emisiones se tiene que hacer el cambio de combustible a uno de menor cantidad de Azufre.

Así mismo también hace mención a las zonas las cuales se definen como ECA, estas son:

Zona del Mar Báltico (Solo para los SOx).

Zona del Mar del Norte (Solo para los SOx).

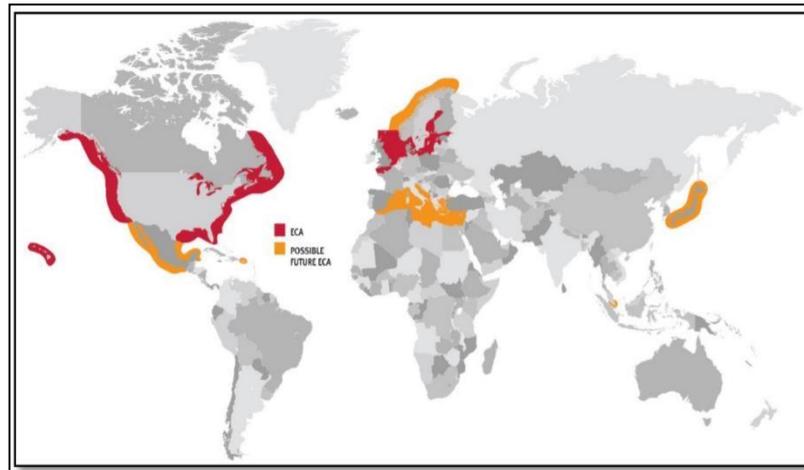
Zona de Norteamérica (Para SOx, NOx y PM).

Zona del mar Caribe de los Estados Unidos (Para SOx, NOx y PM).

Esa así que hoy en día se han desarrollado diferentes formas para cumplir con estas reglamentaciones, desde el cambio de combustible por uno de bajo azufre o por uno alternativo como el GNL, hasta la implementación de una torre de lavado de gases de escape.

**Figura 05**

*Zonas de control de emisiones de sustancias contaminantes.*



*Nota.* Las zonas marcadas muestran la geografía cuya característica principal es tener tierra con un nivel elevado de acidez. (<http://ingmaritima.blogspot.com/2017/06/zonas-eca.html>)

El límite general actual de contenido de azufre en los combustibles marinos es de 3.5% y el nivel más estricto que hace referencia a los buques que naveguen dentro del área de SECA tiene un porcentaje de 0.1%, estas zonas están detalladas en el Convenio MARPOL.

**Figura 06**

*Niveles de SOx permitidos dentro y fuera de las Zonas ECA.*

Fuera de una ECA establecida para limitar las emisiones de SOx y de materia particulada	En un ECA establecida para limitar las emisiones de SOx y de materia particulada
4,5% masa/masa antes del 1 de enero de 2012	1,5% masa/masa antes del 1 de julio de 2010
3,5% masa/masa a partir del 1 de enero de 2012	1% masa/masa a partir del 1 de julio de 2010
0,5% masa/masa a partir del 1 de enero de 2020*	0,1% masa/masa a partir del 1 de enero de 2015

*Nota.* El buque, para cumplir estas regulaciones deberá hacer uso de combustibles de bajo nivel de azufre en su composición. (García, 2018. P.31).

### **2.3.2. Motores marinos**

De acuerdo con Alfa Laval (2020) El mercado de los combustibles marinos se encuentra en zozobra debido a que la industria se encuentra en una transición de fases entrando a la era baja en azufre, la que está diseñada para reducir las cantidades que los buques emiten de azufre a la atmósfera.

La OMI, en enero del 2020 ha introducido un límite máximo de azufre de 0.5% a nivel mundial lo que ha provocado un cambio considerable dentro del mercado de los combustibles que los buques utilizan, ya que se ha tenido que considerar nuevas medidas para evitar sobrepasar el límite de emisión (Argus, 2022).

De acuerdo con Alvarez Riveira (2020) un motor diésel marino da referencia a un motor que puede ser el principal o auxiliar en una embarcación, tiene que ser capaz de proporcionar una elevada potencia continua para de esta manera realizar largas travesías a una velocidad constante.

Es importante tener en cuenta las características y principios que tiene cada motor marino, ya que dependiendo de esto se dará el debido mantenimiento que se requiera, ya sea para barcos de pequeñas dimensiones o barcos de grandes dimensiones.

De esta manera lo que la OMI busca es reducir las emisiones de azufre a la atmósfera para reducir la contaminación ambiental, así mismo prestándole más

atención a generadores de los gases de azufre como son los motores que producen la propulsión de los buques los cuales tienen 2 tipos, los motores de dos tiempos y los motores de cuatro tiempos.

**-Motor de dos tiempos:** Se hace referencia a un motor de combustión interna que lleva a cabo 4 fases del ciclo termodinámico, las que son la admisión, compresión, explosión y escape los cuales los realizan en dos movimientos lineales del pistón, es decir que se realiza una explosión por cada vuelta que el pistón realiza al cigüeñal (Autonocion.com, 2018).

De acuerdo con ComoFunciona (2022) afirma que los motores de dos tiempos o también llamados motores de dos ciclos son máquinas sencillas, en comparación con los motores de cuatro tiempos ya que realiza la totalidad de su ciclo en una sola vuelta del cigüeñal o dos carreras del pistón.

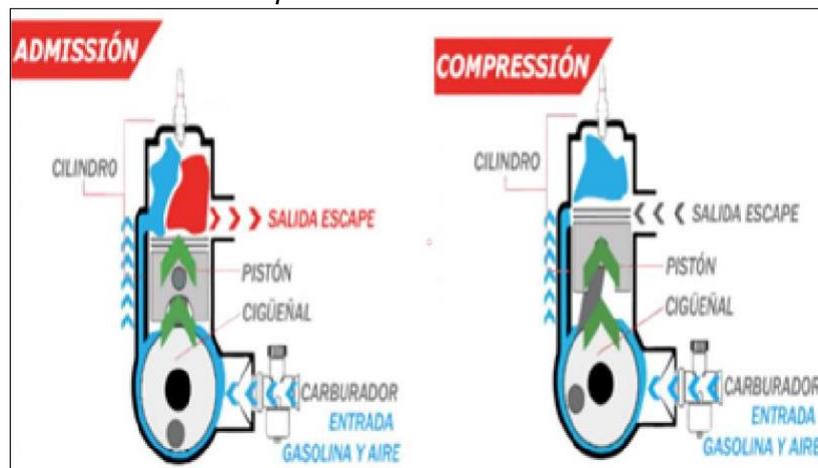
Este tipo de motor es muy usado cuando no se necesita de un motor que aporte mucha potencia, y para dar propulsión a embarcaciones o vehículos de tamaños de chicos a medianos, son usados básicamente en herramientas de utilidad diaria que necesitan de un motor para poder funcionar, siendo mucho más básicas.

Fases del motor de dos tiempos: De acuerdo con Autonocion (2020) el que señala que los motores de dos tiempos presentan cuatro tiempos que hacen cuatro fases las que se mencionarán a continuación:

- **Admisión/Compresión:** Es la primera fase donde se desplaza verticalmente hacia la culata desde el punto muerto inferior, y durante el recorriendo ascendente, va abriéndose la lumbrera de admisión a la altura del cárter lo que va permitir la mezcla de aire aceite y combustible, iniciando la compresión de mezcla en la parte superior del pistón.

**Figura 07**

*Fase Admisión- Compresión.*

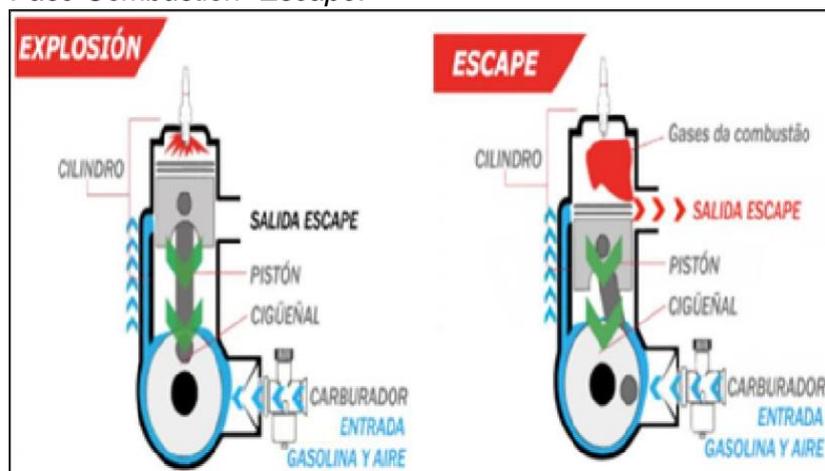


*Nota.* La primera fase del motor de dos tiempos son la admisión – compresión. (<https://www.motoscoot.net/blog/como-funciona-motor-dos-tiempos/>)

- **Combustión/Escape:** Es el segundo tiempo donde el pistón alcanza el punto muerto superior donde concluye la fase de compresión, mientras la carrera desciende al pistón se produce la liberación de la lumbrera de escape por donde se expulsan los gases procedentes de la combustión.

## Figura 08

Fase Combustión- Escape.



Nota. Segunda fase del motor de dos tiempos la combustión – escape. (<https://www.motoscoot.net/blog/como-funciona-motor-dos-tiempos/>)

Partes del motor de dos tiempos: Las partes del motor pueden ser tanto fijas como móviles, de las cuales dentro de las partes fijas (autonocion.com, 2020) tenemos:

- Culata: Es la etapa que cierra el cilindro y forma parte de la cámara de combustión.
- Cilindro: Pieza fundida, fabricada en hierro o aluminio en su interior se desplaza el pistón.
- Cáster: Es donde se almacena el aceite que va ser recirculado.

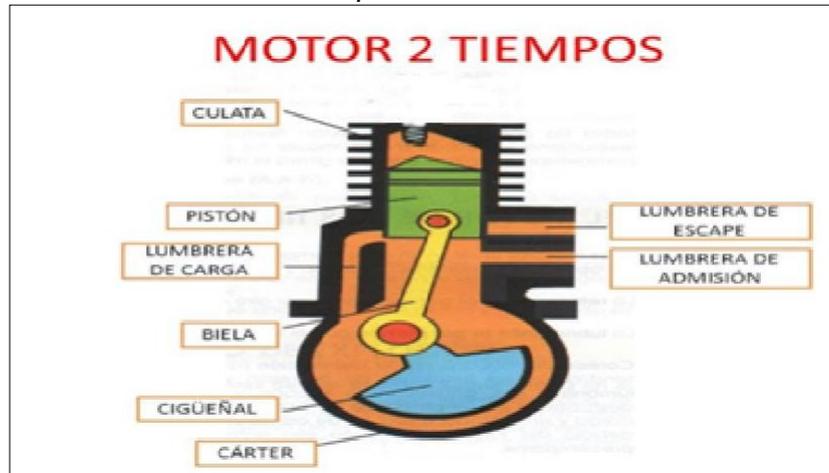
De la misma manera también presenta parte móviles las cuales se describirán a continuación:

- Pistón: Pieza cilíndrica de aleación de aluminio, permite comprimir el aire y combustible elevando la temperatura en la cámara de combustión.
- Biela: Elemento mecánico sometido a esfuerzos de tracción y compresión, transmite el movimiento articulado del cigüeñal al pistón.

- Cigüeñal: Eje acodado con contrapesos, encargado de convertir el movimiento rectilíneo en circular o a la inversa.

### Figura 09

Partes del motor de 2 tiempos.



Nota. Se mencionan las partes tanto fijas como móviles del motor de dos tiempos. (<https://como-funciona.co/un-motor-de-2-tiempos/>)

Características: Las características más sobresalientes del motor de dos tiempos son las siguientes (ComoFunciona, 2022):

- Trabaja de forma que solo requiere dos carreras del pistón o una vuelta del cigüeñal para funcionar.
- El motor de dos tiempos tiene una explosión cada una vuelta del cigüeñal, lo que produce más potencia y más consumo de combustible.

Ventajas: De acuerdo con Autonoción.com (2020), el motor de dos tiempos presenta las siguientes ventajas:

- Carecen de válvulas de admisión y escape, por lo que son más livianos, sencillos y económicos.
- Tiene un mantenimiento mucho más sencillo y presenta menos averías.

**-Motor de cuatro tiempos:** Motor de combustión interna que realiza un ciclo completo de admisión en cuatro fases, una primera de admisión del

combustible, seguida de la compresión y la explosión y finaliza en el escape, el cigüeñal del motor realiza dos vueltas completas. Este motor es el más empleado en la actualidad, ya que proporciona un rendimiento y eficiencia mejorada, con el único inconveniente que presenta un costo más elevado (helloauto, 2022).

De acuerdo con Prime source (2021) señala que el diseño del motor de cuatro tiempos es ligeramente más complejo que el de dos tiempos el cual incluye un compartimiento para el aceite, haciendo que los gases de emisiones de los motores de cuatro tiempos sean más limpios y respetuosa para el medio ambiente.

De acuerdo a lo estipulado por la OMI, los motores de cuatro tiempos, aunque son más complejos, están cobrando más importancia en el medio marítimo, ya que son lo que producen las emisiones más limpias de azufre, lo que es requerido en la actualidad.

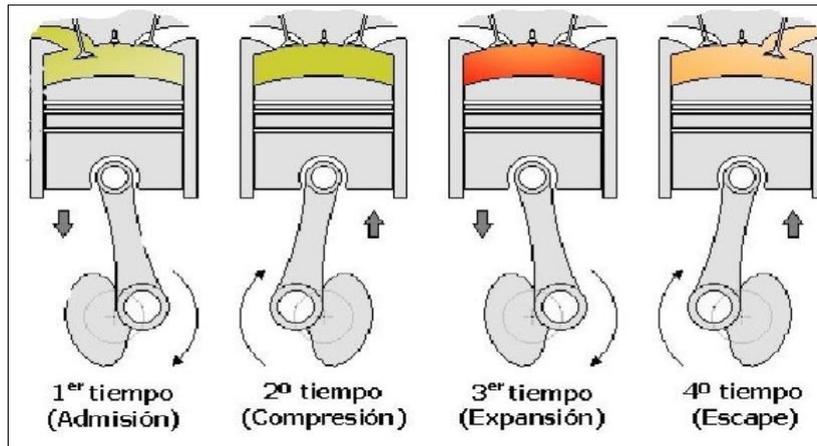
Fases del motor de dos tiempos: De acuerdo con autonocion.com, 2020 el que señala que los motores de cuatro tiempos presentan 4 fases importantes las cuales se mencionarán a continuación:

- Admisión: El pistón desciende, se abre la válvula de admisión lo que permite el ingreso del aire con la gasolina al cilindro, mientras que la válvula de escape se mantiene cerrada.
- Compresión: El pistón asciende y la válvula de admisión se cierra, debido a que el escape también continúa cerrado consiguiendo que el pistón comprima la mezcla de aire y combustible.

- Explosión: El pistón alcanza el máximo de su recorrido, debido a la compresión que se genera elevando la temperatura.
- Escape: Sube el pistón, pero la válvula de escape se encuentra abierta permitiendo la salida de los gases quemados.

**Figura 10**

*Fases del motor de 4 tiempos.*



*Nota.* Cuatro tiempos del motor de 4 tiempos los que son la admisión, compresión, expansión y escape. ([https://aminoapps.com/c/mundo-motor/page/blog/como-son-las-fases-de-un-motor-de-cuatro-tiempos/Pr56\\_E2HmudxD5nk2p3LW6BrG3NPxBqoEa](https://aminoapps.com/c/mundo-motor/page/blog/como-son-las-fases-de-un-motor-de-cuatro-tiempos/Pr56_E2HmudxD5nk2p3LW6BrG3NPxBqoEa))

Partes del motor de cuatro tiempos: El motor de cuatro tiempos presenta partes fijas como móviles las cuales son parte del motor como partes fijas tenemos (Motocross trail, s.f.):

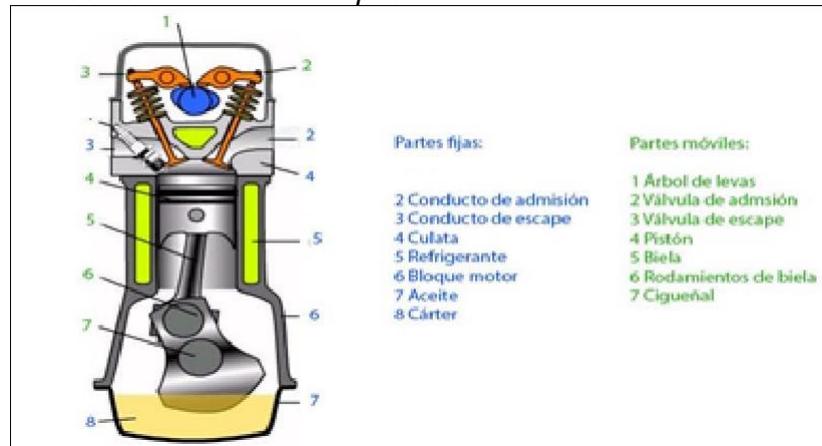
- Culata: Tapa del cilindro que se encuentra en la parte superior de la cabeza del motor.
- Cilindro: Pieza de aluminio donde se encuentra el pistón.
- Cárter: Lugar donde se almacena el aceite (lubricante)

Las partes móviles del motor de cuatro tiempos se mencionarán a continuación:

- **Árbol de levas:** Estructura que trabaja de la mano con el cigüeñal con la principal función de apertura y cierre de las válvulas.
- **Pistón:** Se desplaza dentro del cilindro, encargado de la presión del fluido.
- **Válvulas:** Facilitan la entrada y salida de combustible al interior del cilindro.
- **Cigüeñal:** Se conecta con la biela por intermedio de la manivela, es el encargado de producir los movimientos para mover el pistón.

**Figura 11**

*Partes del motor de 4 tiempos.*



*Nota.* Se mencionan las partes tanto fijas como móviles del motor de dos tiempos. (<https://como-funciona.co/un-motor-de-2-tiempos/>)

Características: Las características más sobresalientes del motor de cuatro tiempos son las siguientes (ComoFunciona, 2022):

- Se basa en un funcionamiento de cuatro tiempos (fases) al igual que el motor de dos tiempos.
- Los motores de cuatro tiempos completan el ciclo termodinámico en 2 giros del cigüeñal.
- El cárter sirve como reservorio del aceite (lubricante).

Ventajas: De acuerdo con Motocroos trail (s.f.) menciona las principales ventajas del motor de cuatro tiempos:

- Suele generar la reducción del consumo de los combustibles si se pone en comparación con los motores de dos tiempos.
- Al no realizar una mezcla entre el aceite y el combustible hace que la explosión genere menos cantidad de gases por tanto menos emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Las fases del motor de cuatro tiempos se dan con un ligero retardo entre ellas lo que reduce las vibraciones.
- Generan un menor desgaste de las partes mecánicas por la excelente lubricación.

### **2.3.3. Combustibles marinos**

Los combustibles marinos son sustancias que tienen la capacidad de liberar energía cuando suelen oxidarse, necesitando de un carburante para poder llevar a cabo la función correspondiente. En ese sentido, se puede establecer que de la energía química del combustible se genera energía mecánica la cual mueve el motor de un buque (Rentingfinders, 2021).

Dicha sustancia suele ser quemada en los procesos de combustión del motor principal generando que el buque pueda propulsar y de dicha forma poder cumplir con las operaciones que demandan de las funciones comerciales mismas.

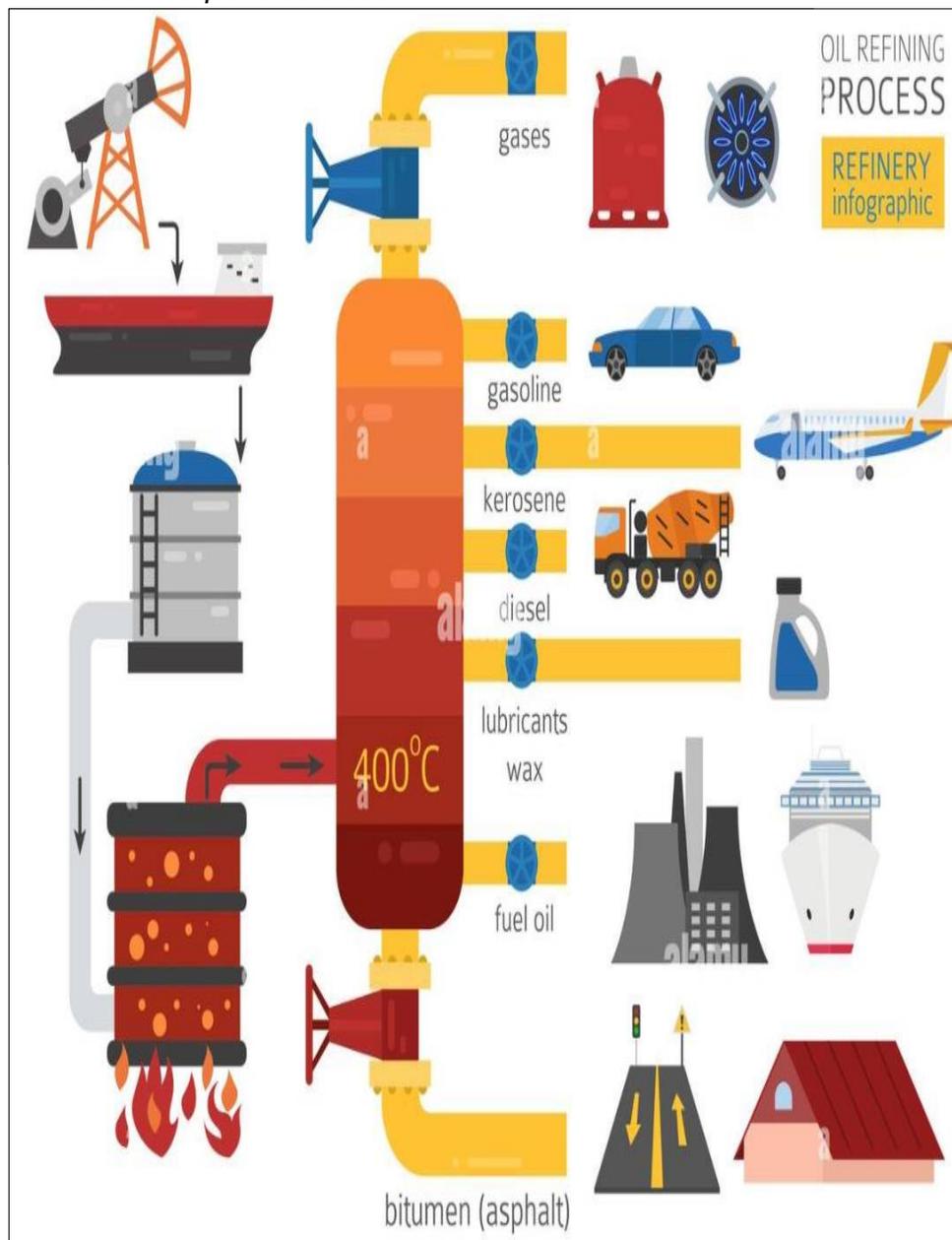
Se sabe que años atrás los buques propulsaban con carbón o “bunker”, por lo que dicho término caló hasta la actualidad y que a pesar de que los sistemas

de propulsión han ido modificándose, de igual manera el combustible marino en la actualidad son productos obtenidos de la destilación del petróleo crudo.

De la refinación del petróleo crudo se obtienen productos tales como gases licuados, gasolina, kerosene, diésel, aceites lubricantes, combustibles residuales (óptimo para motores marinos) y asfaltos. Dicho proceso suele realizarse en las refinerías que cuentan con los sistemas especializados para poder destilar el crudo y poder obtener diversas variantes para ser utilizados en diversas áreas, tanto domésticas como industriales.

**Figura 12**

*Destilación del petróleo crudo.*



*Nota.* La destilación del petróleo es el proceso por el cual se obtienen los derivados del crudo mediante el aumento de la temperatura para llevar el crudo a distintos puntos de ebullición (<https://www.zoilorios.com/noticias/como-es-la-destilacion-del-petroleo-y-para-que-sirve>).

Según López (2015) los combustibles marinos son de dos tipos:

**-Combustible residual:** Se obtiene a través del proceso de refino del crudo, poseen mayor viscosidad y se encuentran disponibles en diferentes variantes, con alto y bajo contenido de azufre. Se suele

caracterizar por ser un combustible negro y pastoso, difícil de limpiar el cual recibe el nombre también de Marine Fuel Oil (MFO). Entre los más utilizados destaca los de 380 cSt y los de 180 cSt, existiendo además los intermedios que se obtienen a través de la combinación con destilados (gasóleos o diésel).

**-Combustible destilado:** Se corresponden con los gasoil marine (MGO) y diésel marino (MDO). El gasoil marino es más ligero y de mayor calidad, por lo que el precio resulta ser más costoso. A su vez, el diésel es de menor calidad, pero de bajo precio. Una de las principales diferencias entre el MGO y el MDO es que el primero no contiene componentes residuales, mientras que el segundo contiene algunos componentes residuales.

Según MEPC (2019), los combustibles marinos deben seguir especificaciones de las normas ISO 8217: 2017 y considera lo siguiente:

- Combustibles destilados marinos (DM), lo cual según la ISO 8217:2017 puede ser DMA, DMB, DMX, DMZ).
- Combustibles marinos residuales (RM), lo cual según la ISO 8217:2017 puede ser RMD 80, RMG 380).
- Combustible marino con contenido ultra bajo de azufre (ULSFO), lo cual según la ISO 8217:2017 el ULSFO-DM con un contenido máximo de azufre de 0.1 % masa/masa, ULSFO-RM con un contenido máximo de azufre del 0.5 % masa/masa.
- Combustible marino pesado con contenido de azufre (HSHFO) cuyo contenido de azufre es superior a 0.5 % masa/masa.

Si bien es cierto, existe una nomenclatura convencional respecto a la denominación de combustibles marinos a bordo de los buques, tomando en consideración las especificaciones que señala la norma ISO 8217:2017 la correspondencia o denominación es la siguiente:

<b>Nomenclatura convencional</b>	<b>Norma ISO 8217:2017</b>
<b>Combustibles marinos destilados</b>	
-MGO	-DMA
-MDO	-DMB -DMC
<b>Combustibles marinos residuales</b>	
-IFO 180 cSt	-RME 180
-IFO 380 cSt	-RMG 380 -RMH 380 -RMK 380
(Lopez, 2015)	

Sobre la norma ISO 8217:2017 llamada también “Productos del petróleo – Combustibles (clase F) – Especificaciones de combustibles marinos” establece un conjunto de requerimientos que deben cumplir los combustibles marinos para el uso tanto en motores diésel marinos y calderas, previamente al tratamiento que se suele aplicarse a bordo de manera usual a través de sistemas propios del buque (sedimentación, centrifugación y filtración) (ISO, 2020).

**Figura 13**

Parámetros establecidos por la norma ISO 8217:2017 – Combustibles marinos destilados.

<b>ISO 8217 2017 FUEL STANDARD</b>		<b>ISO 8217 2017 Fuel Standard for marine distillate fuels</b>								
<b>MARINE DISTILLATE FUELS</b>										
<b>Limit</b>	<b>Parameter</b>	<b>DMX</b>	<b>DMA</b>	<b>DFA</b>	<b>DMZ</b>	<b>DFZ</b>	<b>DMB</b>	<b>DFB</b>		
Max.	Viscosity at 40°C (mm²/s)	5.500	6.000		6.000		11.00			
Min.	Viscosity at 40°C (mm²/s)	1.400	2.000		3.000		2.000			
Max.	Micro Carbon Residue at 10% Residue (% m/m)	0.30	0.30		0.30		-			
Max.	Density at 15°C (kg/m³)	-	890.0		890.0		900.0			
Max.	Micro Carbon Residue (% m/m)	-	-		-		0.30			
Max.	Sulphur (% m/m)	1.00	1.00		1.00		1.50			
Max.	Water (% V/V)	-	-		-		0.30			
Max.	Total sediment by hot filtration (% m/m)	-	-		-		0.10			
Max.	Ash (% m/m)	0.010	0.010		0.010		0.010			
Min.	Flash point (°C)	43.0	60.0		60.0		60.0			
Max.	Pour point in Winter (°C)	-	-6		-6		0			
Max.	Pour point in Summer (°C)	-	0		0		6			
Max.	Cloud point in Winter (°C)	-16	Report		Report		-			
Max.	Cloud point in Summer (°C)	-16	-		-		-			
Max.	Cold filter plugging point in Winter (°C)	-	Report		Report		-			
Max.	Cold filter plugging point in Summer (°C)	-	-		-		-			
Min.	Calculated Cetane Index	45	40		40		35			
Max.	Acid Number (mgKOH/g)	0.5	0.5		0.5		0.5			
Max.	Oxidation stability (g/m³)	25	25		25		25			
Max.	Fatty acid methyl ester (FAME)	-	-	7.0	-	7.0	-	7.0		
Max.	Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1.4 at 60°C) (µm)	520	520		520		520			
Max.	Hydrogen sulphide (mg/kg)	2.00	2.00		2.00		2.00			
	Appearance	Clear & Bright							-	

The above is a service for informational purposes only. Dan-Bunkering assumes no responsibility for any errors or omissions.

Nota. Los parámetros se encuentran establecidos en función a la denominación propia de las normas ISO 8217:2017 (<https://es.scribd.com/document/373106081/ISO-8217-2017>)

**Figura 14**

Parámetros establecidos por la norma ISO 8217:2017 – Combustibles marinos residuales.

<b>ISO 8217 2017 FUEL STANDARD</b>		<b>ISO 8217 2017 Fuel Standard for marine residual fuels</b>										
<b>MARINE RESIDUAL FUELS</b>												
Limit	Parameter	RMA 10	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMG				RMK		
						180	380	500	700	380	500	700
Max.	Viscosity at 50°C (mm <sup>2</sup> /s)	10.00	30.00	80.00	180.0	180.0	380.0	500.0	700.0	380.0	500.0	700.0
Max.	Density at 15°C (kg/m <sup>3</sup> )	920.0	960.0	975.0	991.0	991.0				1010.0		
Max.	Micro Carbon Residue (% m/m)	2.50	10.00	14.00	15.00	18.00				20.00		
Max.	Aluminium + Silicon (mg/kg)	25	40		50	60						
Max.	Sodium (mg/kg)	50	100		50	100						
Max.	Ash (% m/m)	0.040	0.070			0.100				0.150		
Max.	Vanadium (mg/kg)	50	150			350				450		
Max.	CCAI	850	860			870						
Max.	Water (% V/V)	0.30	0.50									
Max.	Pour point (upper) in Summer (°C)	6		30								
Max.	Pour point (upper) in Winter (°C)	0		30								
Min.	Flash point (°C)	60.0										
Max.	Sulphur (% m/m)	To comply with statutory requirements as defined by purchaser										
Max.	Total Sediment, aged (% m/m)	0.10										
Max.	Acid Number (mgKOH/g)	2.5										
	Used lubricating oils (ULO): Calcium and Zinc; or Calcium and Phosphorus (mg/kg)	The fuel shall be free from ULO, and shall be considered to contain ULO when either one of the following conditions is met: Calcium > 30 and zinc > 15; or Calcium > 30 and phosphorus > 15.										
Max.	Hydrogen sulphide (mg/kg)	2.00										

The above is a service for informational purposes only. Dan-Bunkering assumes no responsibility for any errors or omissions.

Nota. Los parámetros se encuentran establecidos en función a la denominación propia de las normas ISO 8217:2017 (<https://es.scribd.com/document/373106081/ISO-8217-2017>)

#### **2.3.4. Teoría de los lubricantes**

La teoría de los lubricantes comprende una serie de elementos fundamentales en el diseño, fabricación y operación de las máquinas que aporta herramientas que permiten seleccionar el sistema de lubricación y las diferentes características que debe poseer el lubricante para poder proteger de forma adecuada una máquina o un elemento mecánico.

Para efectos del presente trabajo de investigación se puede decir que la teoría de los lubricantes emana de una ciencia denominada tribología (tribos= fricción, Logos= sentido) que en la actualidad comprende el estudio no solo de la fricción, sino de la lubricación, el desgaste y otros aspectos relacionados con la vida útil de los equipos como la ingeniería, física, química y metalurgia (García, 2016).

La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la lubricación, la fricción y el desgaste de partes móviles o estacionarias de una máquina. La lubricación, la fricción y el desgaste tienen una función fundamental en la vida de las partes de una máquina, como por ejemplo los motores marinos de los buques mercantes.

De lo antes expuesto se puede establecer que la tribología es la ciencia que estudia la lubricación, fricción y desgaste que existe entre dos cuerpos metales, lo que permite buscar un punto medio entre la fluidez del líquido y las partes

metálicas, evitando así el desgaste abrasivo y proporcionando un funcionamiento adecuado y sobre todo económico.

Así también, el estudio de la interacción de las superficies móviles entre sistemas naturales y artificiales, responden al sistema tribológico en el cojinete, eje y lubricación con una estructura determinada por elementos influyentes en la base, el contra cuerpo, el lubricante y el medio predominante (GGB, 2019)

Los motores marinos de los buques mercantes son de gran importancia en la actualidad, debido a las diferentes aplicaciones industriales a los que son sometidos, es por ello que se debe analizar el correcto funcionamiento de los mismos con respecto a la fricción, desgaste y lubricación para proporcionar un funcionamiento óptimo.

Para poder reducir estos problemas de fricción, el desgaste y la lubricación de motores de los buques mercantes se debe contar con un recurso humano (oficiales del departamento de máquinas) altamente capacitado con respecto a la teoría de lubricantes para así poder prolongar la vida útil del motor y reducir los costos operacionales.

La lubricación, la fricción y el desgaste tienen una función fundamental y esencial en la vida de los elementos de máquinas, como por ejemplo en los motores marinos de los buques mercantes. A continuación, se va hablar de cada uno de estos:

**-Fricción:** Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto, fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra, es decir que es la fuerza de resistencia al movimiento entre dos cuerpos en contacto. Existen dos tipos de rozamiento o fricción (Casado, 2015).

-Fricción estática: El coeficiente de fricción estático se define como el coeficiente de rozamiento correspondiente a la fuerza máxima que debe ser vencida para que se inicie el movimiento macroscópico entre dos cuerpos.

-Fricción dinámica o cinética: Se define el coeficiente de rozamiento cinético como el coeficiente de rozamiento bajo condiciones de movimiento macroscópicos de movimiento relativo entre dos cuerpos.

**-Desgaste:** El proceso del desgaste se define como la pérdida de material de la interfase de dos cuerpos, cuando se ajusta a un movimiento relativo bajo la acción de una fuerza. Se ha identificado seis tipos principales de desgaste (Rodríguez, 2007).

-Desgaste por adherencia: Esta forma de desgaste ocurre cuando dos superficies se deslizan una contra otra bajo presión. El desgaste por adherencia se produce por la temperatura y la presión entre las pequeñas superficies en contacto.

-Desgaste por abrasión: Este tipo de desgaste se desarrolla en una superficie dura sobre otra más blanda, cabe mencionar que este tipo de desgaste se puede presentar en estado seco o bajo la presencia de un fluido.

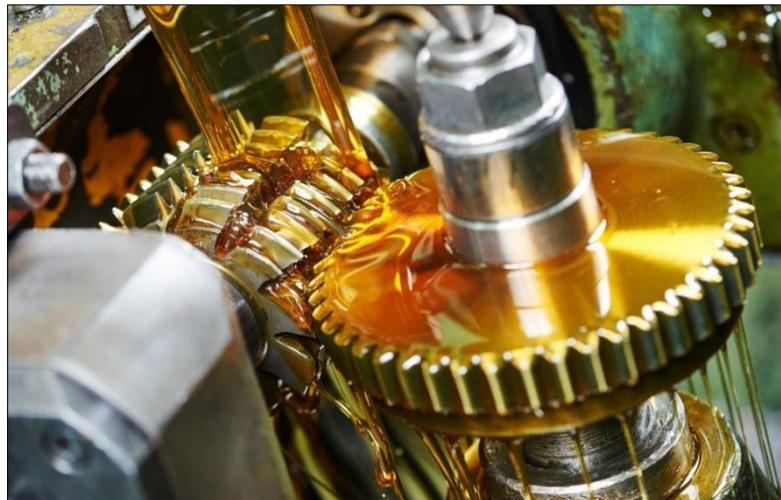
-Desgaste por corrosión: Es producida por elementos nocivos, que en combinación con la superficie metálica dan lugar a productos de reacción que, aunque son posteriormente eliminados por el frotamiento, ocasionan pérdidas de peso y de materiales.

-Desgaste por erosión: Este desgaste ocasiona pérdidas de material en la superficie por el contacto con un líquido que contiene en suspensión cierta cantidad de partículas abrasivas. La naturaleza de este desgaste es la opuesta al de abrasión.

-Desgaste por fatiga superficial: Se produce de cargas periódicas en las superficies de contacto, se forman habitualmente partículas de carga que provocan fatiga en el material.

**Figura 15**

*Portada de un tipo de lubricante en una parte del motor.*



*Nota. La lubricación es interponer un agente lubricador entre dos elementos, ya que el objetivo es reducir el rozamiento y la temperatura de los elementos en contacto (<https://ingenieromarinero.com/lubricantes-tribologia/>).*

**-Lubricación:** Según Casado (2015) la lubricación es la acción de implementar un mediador líquido, sólido o gaseoso entre dos superficies que se encuentran en interacción física directa, inmersas en un movimiento

constante, con el objetivo de disminuir el grado de fricción entre dichos cuerpos.

El principio y propósito fundamental de la lubricación es la interposición de un agente lubricador entre dos mecanismos en contacto constante, estando sometidos a un movimiento relativo y determinado, con lo cual se busca reducir el efecto de rozamiento y el grado de temperatura que se pueda desarrollar entre las superficies en contacto (Meng et al., 2018).

Por lo tanto, se define a la lubricación como la interposición de un agente intermediario que puede ser de naturaleza líquida, sólida o gaseosa para reducir el efecto de fricción y el grado de temperatura que se pueda alcanzar por la interacción física entre dos superficies que están inmersas en un determinado movimiento a intervalos constantes.

Asimismo, la lubricación es un asunto primordial que concierne al ámbito del transporte marítimo, tomando en cuenta que los buques son operados mediante múltiples sistemas complejos que están compuestos por mecanismos que se encuentran en constante rozamiento y movimiento, como los presentes en los motores marinos utilizados a bordo.

Para que los agentes intermediarios o lubricantes puedan cumplir eficazmente con la finalidad por la cual fueron diseñados y aplicados en los motores marinos, que está relacionada a combatir la fricción de los mecanismos dentro de los mismos, tienen que poseer ciertas propiedades y

funciones, sobre las cuales serán clasificados (Casado, 2015; Meng, 2018; Guo et al., 2018; Nagata et al., 2012; Londres, 2012).

### **Figura 16**

*Lubricación en un motor de 2 tiempos.*



*Nota.* Los motores de 2 tiempos presentan 2 sistemas de lubricación, uno para el pistón y el cilindro y otro para las piezas móviles del sistema. (<https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/lubricantes/marinos/2t/index.cshtml>)

-Propiedades: Los lubricantes utilizados en la industria marítima cuentan con propiedades idóneas que sirvan para poder menguar las situaciones adversas que se presentan ante la fricción excesiva que puedan tener los componentes dentro de las unidades de los motores que desencadenaría en afectaciones graves a los mismos.

- Viscosidad: Es la propiedad más importante de los lubricantes líquidos, en este caso, los aceites. En términos técnicos, es la resistencia interna a cualquier movimiento de sus moléculas o, por otro lado, la resistencia ante el deslizamiento de una capa de aceite sobre otra, comúnmente conocida como la resistencia a fluir.
- Índice de viscosidad: Este valor se obtiene de la relación que existe entre la temperatura y la viscosidad del fluido. La relación establece que a mayor temperatura menor viscosidad, quiere decir, que presenta

una relación inversamente proporcional. Normalmente es medida en temperaturas de 40°C o 100°C.

- Stokes: Es una unidad que señala la viscosidad cinemática que presenta el aceite. Esta es la unidad más utilizada a bordo para referirse a la viscosidad del lubricante, la cual muestra la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad, que tiene como unidad en el SI, el  $m^2/s$ .
- Color aparente: Mediante el color que posee un aceite, es posible establecer una idea a primera vista sobre el grado de pureza del mismo.
- Densidad: Refiere a la cantidad de masa en un determinado volumen. Esta propiedad es muy importante dentro de un lubricante, debido a que tiene incidencia dentro de la viscosidad del mismo. La densidad es obtenida por la relación entre la masa específica y el volumen. Para los aceites, la densidad se toma a una temperatura base de 15°C.
- Nivel de acidez: La acidez está determinada por la capacidad de una determinada sustancia para aumentar la cantidad de protones en agua. Es importante porque los lubricantes deben tener un nivel bajo de acidez para evitar la corrosión en las partes del motor y neutralizar los efectos ácidos del azufre. Esta capacidad es medida por su BN.
- BN (base number): Este valor nos indica el nivel de neutralización que tiene el aceite ante los ácidos, en otras palabras, la capacidad básica del lubricante.
- Punto de Inflamación: Es aquella temperatura en la cual el aceite empieza a generar gases inflamables los cuales, en presencia de calor, pueden combustionar. Este punto debe ser el más elevado posible para

que el lubricante no represente un peligro que pueda ocasionar un incendio.

- Punto de Congelación: Es aquella temperatura en la cual el lubricante pierde las características propias de un fluido y empieza a solidificarse y crear problemas para su aplicación a bajas temperaturas. Los aceites deben ser diseñados para que esta temperatura sea la menor posible para su normal operación en condiciones de bajas temperaturas.

-Funciones: los lubricantes deben cumplir con funciones elementales que permitan la protección integral de las partes componentes de las unidades del motor principal, concernientes al rozamiento, limpieza, refrigerante, entre otros. Entre las principales funciones se expone:

- Reducir el efecto de rozamiento: Es la función principal de los lubricantes, el permitir que las piezas que están en constante fricción sean protegidas por una película de aceite que brinde disminución en la fricción para poder alargar la vida útil del motor.
- Protección ante la corrosión: Esta propiedad atiende directamente a la capacidad alcalina del lubricante, la cual se logra a través de los aditivos añadidos permitiendo que el agente lubricante pueda mantener sus características en presencia de altas temperaturas durante largos periodos y evitar la acción corrosiva del azufre en las piezas metálicas.
- Refrigeración: Los lubricantes proveen de un efecto refrigerante a las partes del motor controlando su temperatura de trabajo disminuyéndola en un porcentaje considerable y evitando la dilatación o deformación de los componentes fuera de lo admisible, este es un efecto

consecuente de las propiedades de los aceites en combinación con los aditivos añadidos a los lubricantes.

- Limpieza del motor: Mediante esta función el lubricante es capaz de extraer las impurezas producto de la combustión tales como las cenizas, carbonilla y óxidos y, así evitar la formación de lodos, por otro lado, mediante la dispersión es posible que las impurezas puedan ser removidas con el lubricante para que luego sean atrapadas mediante los filtros.
- Sellado: Las propiedades relacionadas a la viscosidad del lubricante permiten la creación de un sellado en la cámara de combustión para evitar el escape de los gases producto de la ignición del combustible.

-Clases de lubricantes: Los lubricantes pueden ser clasificados por el origen y composición que poseen o por la viscosidad que presentan, estas son las características más representativas de los aceites que permiten clasificarlos en estos dos grandes grupos.

- Por su origen: Depende del proceso de fabricación al cual fueron sometidos para su obtención. Pueden ser:

-Minerales: Son los aceites obtenidos en el primer momento de fabricación, son extraídos del petróleo a través del proceso de destilación fraccionada, pudiendo ser parafínicos, naftalénicos o aromáticos.

-Sintéticos: Son aquellos aceites obtenidos por medio de la combinación de subproductos petrolíferos a través de procesos de

sinterización obteniendo un lubricante de mejores propiedades frente a los minerales. Estos pueden ser poliglicoles, fosfato esterres, polialfaoleifinas, entre otros.

-Semisintéticos: Este aceite se obtiene a través de la combinación de aceites minerales y sintéticos en proporciones variables, se agregan aditivos para mejorar las propiedades del mismo.

- Por la viscosidad que presentan: Tomando en cuenta la viscosidad, es posible clasificarlos en monogrados y multigrados, clasificación adoptada por la SAE que, básicamente, se toma a dos temperaturas, - 18°C y 99°C.
- Monogrado: Son aquellos aceites que trabajan a un determinado parámetro de temperatura o un rango muy limitado asignándoles un grado de viscosidad expresado en centistokes.
- Multigrado: Son aquellos que poseen un grado de viscosidad variable en diferentes condiciones, generalmente son acompañados por la letra "W" que representa su utilización y conservación de propiedades a temperaturas muy bajas.

**Figura 17**

*Clasificación SAE de los lubricantes.*

Grado de SAE	Temperatura mínima de uso en °C	Viscosidad Cinemática en cSt a 100°C	Viscosidad Cinemática en cm <sup>2</sup> /min a 100°C
0 W	-30	3,8	2,28
5W	-25	3,8	2,28
10W	-20	4,1	2,46
15W	-15	5,6	3,36
20W	-10	5,6	3,36
25W	-5	9,3	5,58
20		5,6-9,3	3,36-5,58
30		9,3-12,5	5,58-7,5
40		12,5-16,3	7,5-9,78
50		16,3-21,9	9,78-13,14
60		21,9-26,1	13,14-15,66

*Nota.* La SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) clasifico a los lubricantes por la viscosidad que presentan a una determinada temperatura. ([https://ingenieromarino.com/lubricantes-tribologia/#71-Por\\_su\\_Viscosidad](https://ingenieromarino.com/lubricantes-tribologia/#71-Por_su_Viscosidad))

- Aditivos: Ante las condiciones variables del funcionamiento de un motor marino, surge la necesidad que añadir distintos aditivos con el propósito de cuidar los mecanismos involucrados dentro del sistema, permitiendo alargar de la vida útil del motor. Entre los aditivos que se utilizan se encuentran:
  - Anticorrosivo.
  - Detergentes.
  - Antidesgaste.
  - Antioxidantes.
  - Dispersantes.
  - Antibacteriales.
  - Catalizadores de BN.

## **CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3.1. Diseño de la Investigación**

De acuerdo con las características taxonómicas del presente estudio, tomando en cuenta las posturas establecidas por Hernández y Mendoza (2018), Valderrama (2018) y Vara (2015) se determina que es de ruta cualitativa, tipo básica, nivel exploratorio y diseño fenomenológico.

Hernández y Mendoza (2018) señalan que los estudios cualitativos se caracterizan por ser inductivos, interpretativos, iterativos y recurrentes, la cual se enfoca en comprender los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con un contexto, donde no se utiliza a la estadística como herramienta principal de análisis.

En ese sentido, en correspondencia con el presente estudio, para lograr el objetivo señalado no se utilizó procedimientos de análisis estadístico, ya que se hace un análisis interpretativo tomando en cuenta las situaciones problemáticas

relacionadas con los motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en relación con la lubricación, cuyo procedimiento se llevó a cabo de manera flexible e iterativa.

Por otra parte, con respecto a los estudios de tipo básica, Valderrama (2018) señala que la investigación de tipo básica es aquella que recoge información de la realidad para poder traspasar las fronteras del conocimiento teórico y científico sobre una línea de investigación, sin pretender establecer soluciones prácticas respecto a una problemática establecida.

Bajo lo señalado por el autor, el presente estudio es de tipo básica ya que al plantear conocer las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes no se proveen soluciones prácticas que conlleven a mejorar condiciones, ya que solo se ahonda en el conocimiento sobre la problemática referida dentro del contexto marítimo vinculado a la operación de buques mercantes.

Así también, con respecto a los estudios de nivel exploratorio, Hernández y Mendoza (2018) señalan que son aquellos cuyo propósito es examinar un fenómeno o problema de investigación nuevo o poco estudiado, donde existen muchas dudas o se quieren abordar desde nuevas perspectivas.

La postura señalada por los autores se corresponde con el presente trabajo de investigación, ya que con respecto a la temática abordada no existe mucha información de carácter técnico y científico, ya que la problemática sobre el uso

de combustibles con bajo contenido de azufre y las repercusiones en la lubricación en motores marinos se encuentran actualmente siendo analizados, ya que la norma medioambiental de restricción de límites de azufre plantea todo un reto dentro de la industria naviera.

Con respecto al diseño fenomenológico, Vara (2015) señala que son aquellos que se caracterizan por centrarse en la subjetividad de las personas, poniendo énfasis en cómo entienden el mundo que los rodea. Se basa en la aplicación de técnicas de recolección de datos tales como el análisis de contenido, entrevistas y grupos focales.

Así también, Hernández y Mendoza (2018) sobre el diseño fenomenológico señalan que caracterizan a estudios que exploran, describen y comprenden las experiencias de personas con respecto a un fenómeno, la cual se identifica en un primer momento y puede ir variando de acuerdo a las perspectivas y diferentes miradas hasta en encontrar un sentido común.

### **3.2. Muestreo**

De acuerdo con lo establecido por Hernández y Mendoza (2018) en un estudio cualitativo el muestreo refleja las premisas del investigador acerca de lo que constituye una base de datos creíble, confiable y válida para abordar el planteamiento del problema.

En ese sentido, los muestreos en la investigación cualitativa suelen ser no probabilísticos, la cual se determina durante o después de la inmersión inicial, siendo tentativa y que puede ajustarse en cualquier momento del estudio. Dicho tipo de muestreo además no busca generalizar resultados sino más bien profundizar en el fenómeno que se estudia.

Tomando en cuenta el proceso que se realizó, las elecciones de las unidades de información se pueden explicar a través de dos grupos de muestras no probabilísticas conformados por unidades documentales y sujetos. En ese sentido se estableció un muestreo no probabilístico por conveniencia y otra en cadena o por redes.

Según Hernández y Mendoza (2018) el muestro por conveniencia están formados por los casos disponibles a los cuales tenemos acceso, mientras que el muestreo en cadena o por redes es aquella donde se identifica a un sujeto y se le pregunta si conoce a otras personas quienes pueden proporcionar más datos o ampliar la información.

En ese sentido, la muestra documental estuvo conformada por 08 unidades de información que se corresponden con el muestreo no probabilístico por conveniencia y los 13 sujetos conformados por oficiales de máquinas de nivel gestión y superintendentes, quienes representan al muestreo no probabilístico en cadena o por redes.

En la siguiente tabla se puede visualizar una descripción más específica de las unidades de información que componen los dos tipos de muestreos no probabilísticos utilizados en el presente trabajo de investigación, quienes fueron elegidos de manera flexible.

**Tabla 01**  
**Muestra**

Muestreos no probabilístico	Tipo de unidades	Unidades de información	Cantidad			
Por conveniencia	Documentales	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)</li> <li>- Impacto de límites de azufre de 2020 en aspectos de tribología en motores de dos tiempos (Affolter et al., 2019)</li> <li>-Una guía para las inquietudes sobre los combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020 (Thomas et al., 2019)</li> <li>-Lubricación de motores marinos después del 2020 (Alfa Laval, 2018)</li> <li>-Una descripción general de los lubricantes de motor en los buques (Shipinsigth, 2020)</li> <li>-Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2017)</li> <li>-VPS identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN (Ship &amp; Bunker, 2020)</li> <li>-Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y como reducir el desgaste (MAN Diesel &amp; Turbo, 2017)</li> </ul>	08			
En cadena o por redes	Sujetos	Informantes				
		Etiqueta	Cargo	Experiencia en la mar	Nacionalidad	Cantidad
		E1	Jefe de máquinas	28 años	Española	13
		E2	Jefe de máquinas	24 años	Peruano	
		E3	Jefe de máquinas	22 años	Ruso	
		E4	Primero de máquinas	17 años	Polaco	
		E5	Superintendente	19 años	Español	
		E6	Superintendente	21 años	Peruano	
		E7	Jefe de máquinas	25 años	Filipino	
E8	Primero de máquinas	17 años	Peruano			
E9	Superinten	19 años	Peruano			

E10	dente Jefe de máquinas	21 años	Peruano
E11	Jefe de máquinas	26 años	Español
E12	Primero de máquinas	17 años	Peruano
E13	Jefe de máquinas	22 años	Ruso

---

### 3.3. Sistema de categorías

Dentro de la investigación cualitativa, la estrategia metodológica de la construcción de la teoría se encuentra determinado por un sistema de categorías tanto de primer orden (categoría principal) categorías de segundo orden (subcategorías) y categorías de tercer orden (indicadores) (Farfán, 2008).

En ese sentido, las categorías representan a temas, interpretaciones o aspectos de análisis los cuales surgen del criterio del propio investigador y/o de la información la cual se recopila en la fase de campo del proceso investigativo llevada a cabo de manera iterativa.

A continuación, se establece la matriz categorial que formula los ejes principales de análisis del presente estudio, sobre los cuales se construye la teoría que responde a cada uno de los objetivos específicos y al objetivo general en correspondencia con la problemática planteada.

**Tabla 02***Matriz categorial*

Esquema	
Categoría de análisis: Repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre.	
Espacio: Buques mercantes.	
Subcategoría de análisis: Lubricación en motores de dos tiempos; lubricación en motores de cuatro tiempos; y, acciones para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación.	
Subcategorías	Indicadores
Lubricación en motores de dos tiempos	-Formación de ácido sulfúrico -Número Base -Lubricación de cilindros
Lubricación en motores de cuatro tiempos	-Afectación -Problemas -Lubricación actual -Proyección futura
Acciones para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación	-Corrosión en frío -Daños por excesiva lubricación -Insuficiente detergentes y dispersantes en la lubricación de cilindros -Finos catalíticos

### 3.4. Técnicas para la recolección de datos

#### 3.4.1. Técnica

Se utilizó en el presente estudio como técnicas de recolección de datos la documentación y la entrevista, los cuales se correspondieron con las condiciones necesarias para responder al problema de investigación, ya que a través de dichas técnicas se pudo obtener información relevante.

### **3.4.2. Instrumento**

Según Hernández y Mendoza (2018) en un estudio de naturaleza cualitativa la recolección de datos ocurre en ambientes naturales y cotidianos de los participantes o unidades de información, donde el propio investigador es el medio físico de obtención y análisis de datos, ya que es quien observa, revisa documentos, entrevista, procesa la información y obtiene conclusiones.

Bajo lo señalado por los autores, el instrumento de recolección de datos del presente estudio queda representado por los investigadores autores del presente estudio, ya que son ellos quienes revisaron documentos (unidades documentales) y realizaron las entrevistas para poder obtener información que pueda satisfacer necesidades cognoscitivas en relación con el problema planteado.

Es importante mencionar que dentro del proceso de recolección de datos se hizo uso de herramientas de recolección de datos tales como fichas de investigación y guía de entrevista, que en conjunto constituyeron medios auxiliares para la obtención de información en relación con el objetivo planteado. (Ver Anexo 3).

### **3.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de los datos**

El procesamiento y análisis de los datos se realizó de manera constante, ya que es una característica de un estudio cualitativo la cual por ser iterativo y

flexible pone atención a nuevas fuentes de información que puedan ir apareciendo durante el proceso.

Con respecto a la documentación, el procesamiento y análisis de datos se caracterizó por realizar un análisis de contenido, a través del cual se extrajeron interpretaciones preliminares que conllevaron a establecer algunas problemáticas relacionadas con la lubricación en los combustibles marinos.

Así también, con respecto a la entrevista, para poder capturar las unidades temáticas de significación se aplicaron técnicas de corte y clasificación de palabras clave, a través de los cuales se pudieron extraer las categorías emergentes finales que aportaron con información que sumado a las interpretaciones preliminares permitieron establecer las teorizaciones en correspondencia con los objetivos específicos y general.

Es importante mencionar, que el procesamiento y análisis de los datos se realizó con la ayuda de software computarizados tales como el programa Microsoft Word, ATLAS.ti v7 y Lucidchart, los cuales facilitaron el proceso empírico en correspondencia con la problemática planteada.

### **3.6. Rigor cualitativo**

Según Hernández y Mendoza (2018) existen diversos criterios para establecer el rigor científico de una investigación cualitativa, siendo la validez, la confiabilidad

y la transferencia aquellos criterios que son considerados por muchos investigadores en la gran mayoría de procesos.

La validez corresponde a que el investigador pueda mostrar lo que realmente los datos quieren plasmar, la confiabilidad en establecer una información que provenga de la triangulación de la información y la transferencia un aspecto reflexivo donde se determina si los resultados pueden aplicarse a otros contextos (Hernández y Mendoza, 2018).

Con respecto a la validez fue determinado en el caso de las unidades documentales y entrevistados a través de técnicas de relectura constante de la información recopilada, mientras que la triangulación se estableció en las teorizaciones que se corresponden con una triangulación de técnicas de recolección de datos, unidades documentales y entrevistados.

Con respecto a la transferencia, el presente estudio no puede ser transferido a otros contextos, ya que se toma en cuenta el ámbito vinculado a la operación de buques mercantes, donde los problemas relacionados con la lubricación de motores marinos presentan características muy particulares a los que se puede suscitar en otro contexto industrial.

Considerando en ese sentido, que los estudios cualitativos permiten estudiar el contexto y las personas como un todo, la problemática observada y los resultados que se proyectan en el presente trabajo de investigación son acordes con la

operación de buques mercantes que consumen combustible con bajo contenido de azufre.

### **3.7. Procedimientos**

Los procedimientos que se siguieron en el presente trabajo de investigación fueron los siguientes:

-Establecida la idea central de estudio (lubricación de motores marinos en la nueva era de uso de combustible con bajo contenido de azufre) se realizó una búsqueda de bibliografía científica, técnica y jurídica, lo que permitió poder elaborar un marco referencial base, considerando el marco legal relacionado con los límites de azufre, el marco teórico que plasmo una visión general del tema y sus conceptos asociados.

-En un segundo momento se seleccionaron los antecedentes que dieron el soporte teórico y metodológico del presente estudio, los cuales en su mayoría fueron internacionales e indirectos.

-Se elaboró una primera matriz categorial, la cual plasmó los primeros asuntos de interés, que con la ayuda de las primeras unidades de información y las siguientes se fue afinando hasta poder tener una saturación de la información adecuada en relación de unidades documentales y entrevistados.

-Posteriormente se determinó las características metodológicas del presente trabajo de investigación, tomando en consideración autores de material bibliográfico relacionado con la investigación científica, a través de los cuales

se pudo detallar la estrategia llevada a cabo para responder al objetivo de investigación.

-Con la matriz categorial definida y las unidades de información elegidas, se procedió a realizar un proceso de validación tanto de las unidades documentales como de la guía de entrevista a expertos que están relacionados con asuntos marítimos, quienes brindaron el juicio correspondiente que avala el presente trabajo de investigación (Ver Anexo 4).

-Luego se organizaron los resultados en correspondencia con la estructuración de planteamiento del problema, estableciendo teorizaciones con coherencia metodológica en relación del objetivo general y específicos presentados.

-Por último, se realizaron las discusiones, conclusiones y recomendaciones en correspondencia con el aporte del trabajo de investigación presentado en los resultados del presente informe de tesis.

### **3.8. Aspectos éticos**

A los sujetos que fueron entrevistados se envió un consentimiento informado en donde se detallan las características de la información solicitada, enfatizando en principios de confidencialidad, anonimato y protección de los datos con respecto a las versiones y posturas establecidas (Ver Anexo 5).

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

Los resultados que fueron obtenidos a través de la documentación y entrevistas se establecen considerando cada una de las subcategorías de análisis e indicadores, que en conjunto detallan cada uno de los aspectos que forman parte del tema central de estudio (Repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre).

La información documental fue establecida a partir de un análisis de contenido, triangulado con las fuentes elegidas, que sumado a las ideas principales de las entrevistas realizadas conllevaron a solventar los argumentos lógicos que responden a cada objetivo específico de estudio y general correspondientemente.

Es importante resaltar que las teorizaciones establecidas responden de manera lógica al planteamiento del estudio, ya que las fuentes de información documental y las unidades compuestas por sujetos proveyeron datos acordes con las necesidades cognoscitivas en razón del objetivo planteado y la línea de investigación.

**4.1. Conocer cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes, 2021.**

**4.1.1. Examinar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buque mercantes.**

**Subcategoría de análisis: Marco legal**

**Documentación**

Aspectos de lubricación de la operación con combustible bajo en azufre

El ácido sulfúrico es altamente corrosivo y debe neutralizarse para evitar la corrosión de los componentes del cilindro.

Los parámetros operativos y de diseño del motor de dos tiempos pueden tener una gran influencia en el grado de ataque corrosivo para cualquier contenido de azufre dado en el combustible.

Las propiedades lubricantes proporcionan la lubricación mecánica necesaria. Además, el lubricante lleva base (llamada también alcalinidad) que neutraliza cualquier ácido formado. La base (BN) consiste principalmente en carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO<sub>3</sub>). Después de la reacción con ácido, se forma sulfato de calcio (yeso – CaSO<sub>4</sub>).

La base sin reaccionar ( $\text{CaCO}_3$ ) puede formar un tipo de depósito muy duro. En el motor diésel de cruceta de dos tiempo s, este depósito puede formarse en la cabeza del pistón. Si se forma un exceso de depósito, la película de lubricante se puede romper y se pueden producir rozaduras o un desgaste severo repentino.

Aunque la neutralización es importante, algunos diseñadores de motores consideran que cierto grado de corrosión mantiene abierta la estructura metálica de la superficie de la camisa del cilindro, lo que permite que el aceite lubricante se adhiera mejor a la superficie asegurando una buena película de aceite.

Por las razones anteriores, es importante que se mantenga un equilibrio adecuado entre la base proveniente del aceite lubricante y el nivel de azufre del combustible para evitar depósitos excesivos y mantener abierta la estructura metálica de la camisa del cilindro.

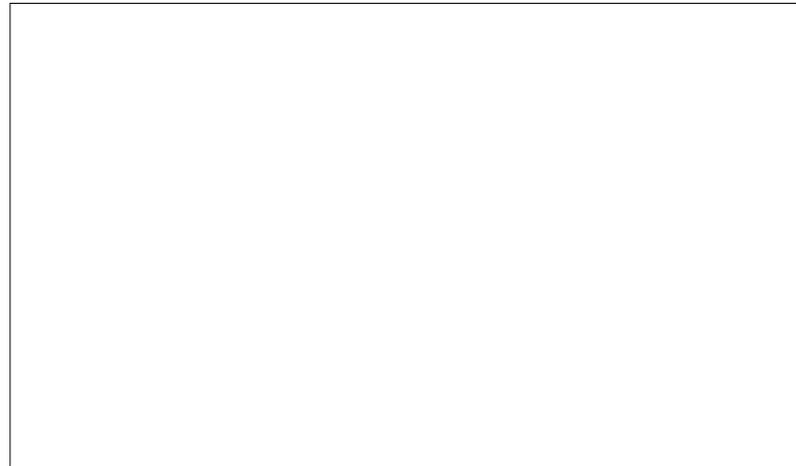
#### Experiencia con combustible bajo en azufre en motores de dos tiempos

Históricamente, los diseñadores de motores informan que en la década de 1970 los combustibles con bajo contenido de azufre solo estaban disponibles en unos pocos lugares. En la década de 1990, los diseñadores de motores, específicamente Wärtsilä y MAN Diesel, comenzaron a notar algunos problemas con los motores que habían estado operando con LSHFO y aceites para cilindros estándar 70 BN. Específicamente, se observaron instancias de pulido de la camisa que provocaron raspaduras.

Las causas de dicha raspadura son: a) Todo el ácido formado durante la combustión se neutralizó debido al exceso de base que se inyectó en el cilindro. No hubo corrosión para mantener abierta la estructura de grafito de la pared del revestimiento, lo que dio como resultado una superficie pulida del orificio. Una superficie pulida del orificio es similar a un espejo, lo que dificulta que el lubricante se adhiera a la superficie, lo que provoca la ruptura de la película de aceite b) La base sin reaccionar (BN) formó depósitos duros en la parte superior de la cabeza del pistón y en el área de la ranura del anillo.

**Figura 18**

*Depósito de carbonato de calcio en la cabeza del pistón.*



*Nota.* Los depósitos son evidenciados excesivamente. (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre, 2007, p. 9)

**Figura 19**

*Depósito de carbonato de calcio en la cabeza del pistón.*



*Nota.* Pulido en la camisa por ruptura de la película de lubricación debido a la neutralización de todos los ácidos. (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre, 2007, p. 9)

(Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)

### Lubricantes para combustibles post 2020

El aceite lubricante del cilindro es un elemento de diseño vital del motor marino de dos tiempos. Las funciones principales del lubricante para cilindros son lubricar y sellar la interfaz entre el anillo del pistón y la camisa del cilindro, proteger las superficies metálicas contra la corrosión y limpiar los componentes de la cámara de combustión.

Debido al alto contenido de azufre generalizado en los combustibles marinos y los problemas subsiguientes con la corrosión de las camisas de los cilindros, los lubricantes de los cilindros aún se identifican predominantemente por su número base (BN) como indicación de su capacidad de neutralización de ácidos. Sin embargo, debido a las regulaciones de MARPOL, el número base de aceites lubricantes para cilindros en uso se dividirá bimodalmente entre aceites lubricantes con BN muy bajo y BN alto. Los aceites de bajo BN se utilizarán para combustibles con < 0.50 % de azufre que cumplen con las normas mundiales, combustibles con < 0.10 % de azufre que cumplen con las zonas ECA y para operaciones con GNL/gas. Los aceites con alto contenido de BN se utilizarán predominantemente para motores equipados con depuradores que opten por utilizar combustibles con un alto contenido de azufre, hasta un 3.50 % de azufre.

Como se mencionó anteriormente, la cartera actual de aceites con alto contenido de BN se utilizará principalmente para operaciones de depuración. No habrá cambios significativos en el enfoque de formulación de estos aceites, ya que el número base seguirá siendo el parámetro más importante. Dependiendo del contenido de azufre de los combustibles, se utilizarán

aceites con BN 70, BN 100 o el nuevo lubricante BN 140 en el mercado ya que no habrá límite de contenido de azufre en el combustible para los buques equipados con tecnología de depuración de emisiones.

Se supone que en el futuro la mayoría de los buques utilizarán combustible con bajo contenido de azufre y, por lo tanto, la distribución del número de base en el mercado cambiará hacia valores de BN más bajos. El menor contenido de aditivo base de lubricantes con bajo BN es a la vez una oportunidad y un desafío para el desarrollo de aceites y motores: Los aceites recién formulados tienen que mantener el mismo rendimiento que los aceites de alto BN, especialmente cuando se utilizan combustibles residuales de bajo contenido de azufre. Sin embargo, esta también es una oportunidad para enfocar el desarrollo del aceite en otras propiedades lubricantes que pueden haber tenido una prioridad menos en años anteriores.

(Affolter et. al., 2019)

#### Uso de combustible con bajo contenido de azufre y el impacto en la lubricación de cilindros

El gran cambio a VLSFO para cumplir con el requisito de las normas “OMI 2020” de 0.50 % de azufre en el combustible también cambiará los requisitos de CLO, que es un tema de incertidumbre y preocupación. Los problemas y los éxitos con el uso de CLO con VLSFO se observarán detenidamente más allá de 2020, y se debe prestar atención a los últimos boletines de OEM de motores sobre CLO. En el pasado, el uso de CLO con alto contenido de azufre generalmente significaba que se disponía de una excelente detergencia para la limpieza de pistones y cilindros. Los CLO de BN más bajos aplicables a VLSFO puede

tener una detergencia inadecuada, lo que se puede generar depósitos a base de combustible. Sin embargo, el uso de CLO de BN más altos puede causar depósitos a base de combustible. Sin embargo, el uso de CLO de BN más altos puede causar depósitos de los no combustibles en los aditivos.

(Thomas et. al., 2019)

**Análisis:**

De acuerdo con la información técnica recopilada, se puede establecer que los lubricantes poseen una alcalinidad que de no reaccionar produce depósitos de carbono, lo que representa un daño perjudicial que principalmente ataca a la cabeza del pistón.

Por otra parte, un nivel de corrosión leve es recomendable en la superficie de la camisa, ya que a través del mismo se puede formar una adecuada película de aceite que facilite las funciones de lubricación en los componentes.

En ese sentido, bajo la repercusión señalada es importante que los operadores de motores marinos de dos tiempos en la nueva eran del uso de combustible con bajo contenido de azufre deban buscar un equilibrio entre el aceite lubricante y el nivel de azufre del combustible, de tal manera que se evite depósitos de carbono y se pueda mantener abierta niveles de corrosión leve que puedan ayudar a la lubricación del cilindro.

El tema relacionado con los lubricantes y el BN se han venido observando ya desde hace algunos años, pero en la actualidad cobra mayor relevancia por la implementación del uso de combustibles con bajo contenido de azufre por las normas OMI 2020. Antes el uso de lubricante se establecía con un numero base de 70, considerándose hasta cierto punto como un estándar, lo que al ser observado en casos menores de motores de dos tiempos donde se utilizaban combustibles con bajo contenido de azufre evidenció espejos en la camisa del cilindro, lo que conllevó a plantear un recambio en el número base al utilizar combustibles con bajo contenido de azufre.

En ese sentido, se puede establecer que la repercusión en la lubricación de motores marinos por el uso con combustible con bajo contenido de azufre tiene que ver con la formación de depósitos de carbono y la observación de espejos en la camisa del cilindro siempre y cuando se utilice un número base inadecuado.

## Entrevista

### **-Formación de ácido sulfúrico**

1. ¿Ha tenido alguna experiencia respecto a la formación de ácido sulfúrico por un mal uso de aceites lubricantes en el motor principal?	
Descripción de las entrevistas-grabaciones-anotaciones	Codificación (Unidades temáticas de significación)
<p>E1:</p> <p>Bueno de acuerdo a mi experiencia, en un mantenimiento que tuve a una de mis unidades de mi motor principal, <u>pude apreciar que alrededor de la camisa del cilindro se ubicaba muchos depósitos de componentes que ocasionaban la oxidación</u>, lo que se pudo encontrar es que debido a la lubricación que estábamos usando no era la correcta, debido a que <u>cada tipo de lubricante dispone de un BN diferente lo cual es proporcional al uso de combustible</u> que se usa, es por eso que debemos de leer el manual de uso de combustible de la maquina principal. Lo que recomiendo desde mi punto de vista es que la correcta lubricación de la cámara de combustión no ocasiona sedimentos sólidos en la cabeza del pistón.</p>	<p>-En camisa de cilindro se ubicaban muchos depósitos de componentes que ocasionan la oxidación.</p> <p>-Cada tipo de lubricante dispone de un BN diferente lo cual es proporcional al uso de combustible.</p>
<p>E2:</p> <p>Claro, es una pregunta muy interesante porque debido al bajo contenido de azufre de los combustibles marinos establecidos por la OMI 2020, <u>debemos de estar pendientes en el tipo de lubricante que usamos y esto es por recomendación de las empresas fabricantes</u>, es por ello que cuando hubo una inspección se produjo una inspección en una de mis unidades para determinar si cumplían con los estándares establecidos. Recuerdo que vino una empresa fabricante, el cual nos <u>informó que la lubricación que se estaba realizando era muy mala con relación al tipo de lubricante</u>, es por ello que se orientó a que use un debido lubricante para el beneficio de la camisa del pistón.</p>	<p>-Debemos de estar pendientes en el tipo de lubricante que usamos.</p> <p>-La lubricación que se daba era muy mala o poco eficiente con el tipo de combustión realizada.</p>

<p>E3:</p> <p>Con relación a la pregunta, si he tenido casos en los cuales he sido testigo de la reparación del contenido abrumador en la cabeza del pistón y esto se debe al mal manejo de los combustibles, <u>pero el mal manejo de los lubricante se debe muchas veces a que los mismos operarios no disponen de los conocimientos teóricos en el uso adecuados de estos tipos de lubricantes ya sean con BN altos o bajos</u>, ya sea de acorde al tipo de lubricación que se deba de realizar en la cámara de combustión al pistón. Considero, <u>que es primordial conocer los principales componentes de los lubricantes</u>, así como el tipo de combustible que se esté usando.</p>	<p>-El mal manejo de los lubricantes por la misma operación con el desconocimiento teórico de los tipos de lubricantes con bajo BN altos o bajos.</p> <p>-Es primordial conocer los principales componentes del lubricante.</p>
<p>E4:</p> <p>El ácido sulfúrico de acuerdo a mi experiencia <u>está presente en la combustión de los combustibles en la cámara de combustión</u> es por ello que el uso correcto del lubricantes es primordial porque de no disponer de <u>un correcto BN en el lubricante que vaya acorde a los criterios del fabricante</u> y alterar el mantenimiento puede hacer que se ocasionen problemas internos en la maquina principal, lo que ocasionaría no solo daños económicos, sino también ocasionar accidentes a los operadores.</p>	<p>-Está presente en la combustión de los combustibles en la cámara de combustión.</p> <p>-Un correcto BN en el lubricante que vaya acorde a los criterios del fabricante.</p>

<p>E5:</p> <p>En este contexto, considero que muchas veces nos ha pasado que a bordo disponemos de la oportunidad de abrir una unidad ya sea por mantenimiento o porque se debe de cambiar por el uso o tiempo de vida de esta máquina, a pesar de ello <u>lo más importante en el funcionamiento del motor principal es la lubricación o ciclo tribológico</u>, debido a que de no realizarse un correcto mantenimiento se puede ocasionar muchas irregularidades, lo que provoca fallos graves, considero que se deben de realizar más mantenimientos periódicos, porque con las nuevas regulaciones con el nuevo uso de combustible se debe de usar un nuevo tipo de lubricante.</p>	<p>-Lo más importante en el funcionamiento del motor principal es la lubricación o ciclo tribológico.</p>
<p>E6:</p> <p>Mi opinión está basada a las descripciones que hacen las empresas que producen los diferentes tipos de motores, así como los lubricantes, con ese preámbulo. Te comento que las personas que disponen de un correcto conocimiento de cómo se maneja el sistema de lubricación, encontrará con facilidad y lograr con mayor entendimiento que es lo que ocurre en el interior de la cámara de combustión, a pesar de ello, <u>considero que la formación de los ácidos sulfúricos son fuentes de daños masivos a la cámara de combustión</u>, así como el exceso de lubricantes.</p>	<p>-Considero que la formación de los ácidos sulfúricos son fuentes de daños masivos a la cámara de combustión.</p>
<p>E7:</p> <p>Considero que en la <u>cámara de combustión se generan los sulfatos que por la acides que disponen hacen que las paredes de la camisa</u>, se vea corroída pero es ahí donde ingresa los lubricantes actuando de forma oportuna, cuidando el rozamiento que se pueda producir por la falta de aceites lubricantes, es por ello que <u>los encargados de realizar el correcto mantenimiento, tienen la obligación de realizar una inspección constante</u>, tender un registro de cuantas horas de trabajo está realizando para actuar de forma rápida y segura.</p>	<p>-En la cámara de combustión se generan los sulfatos que por la acides que disponen hacen que las paredes de la camisa se vean corroída.</p> <p>-Los encargados de realizar el correcto mantenimiento, tiene la obligación de realizar una inspección constante.</p>

<p>E8:</p> <p>Bueno desde mi punto de vista puedo decirte <u>la formación del ácido sulfúrico es normal en la cámara de combustión</u>, pero se debe de controlar la alteración de los residuos, es por ello que <u>la correcta lubricación de las partes es esencial para el correcto funcionamiento</u>. Sin embargo, muchas veces los mantenimientos no son los adecuados. Recuerdo una vez, me paso algo curioso, porque en la cámara de combustión encontramos remantes sólidos en la cabeza del pistón lo que significa que <u>el mantenimiento de estos no era el correcto, y todo ello hubiera pasado a mayores</u>, porque se podría atascar y proporcionar una contrapresión o hasta incluso el paro de toda la maquina principal.</p>	<p>-La formación de ácido sulfúrico es normal en la cámara de combustión.</p> <p>-El manteamiento de estos no era el correcto, y todo ello hubiera pasado a mayores.</p>
<p>E9:</p> <p>Referido a este tema, lo he escuchado muy seguido en estos últimos años y considero que la <u>lubricación de la cámara donde se realiza la corrida del pistón es importante</u>, porque de pasar los gases de escape, a donde se encuentra la biela podría generarse una explosión y consigo una contrapresión en la válvula de seguridad lo que generaría un desastre en la sala de máquinas. <u>Espero consideren las empresas de lubricación un medio de limpieza o lubricación de las partes involucradas</u> para que no se ocasionen severos daños al pistón.</p>	<p>-Lubricación de la cámara donde se realiza la corrida del pistón es importante.</p> <p>-Espero consideren las empresas de lubricación un medio de limpieza o lubricación de las partes involucradas.</p>
<p>E10:</p> <p>Con la finalidad de poder responder a tu pregunta te puedo dar mención o un acercamiento de la teoría de cómo se produce la combustión, en la cámara de expansión en los motores de 4 tiempos es muy diferente al de 2 tiempos, pero <u>la lubricación en ambos casos es importante porque de fallar la tribología entre las partes</u>, se podría generar rozamientos indebidos, lo cual podrían provocar alteraciones en el contenido del lubricante, hasta incluso se podrían dar las incrustaciones en las partes del motor. Ahora, tienes que tener claro que <u>en la cámara de combustión siempre se producen los que son los ácidos sulfúricos, lo que se tiene que hacer es regular con los lubricantes con un correcto BN</u>.</p>	<p>-La lubricación es importante porque de fallar la tribología entre las partes se podrían generar rozamientos indebidos.</p> <p>-En la cámara de combustión siempre se producen los que son los ácidos sulfúricos, lo que se tiene que hacer es</p>

	regular con los lubricantes con un correcto BN.
<p>E11:</p> <p>Bueno por lo que supongo es que debido a combustión interna del motor principal en donde se producen estos gases y ácidos, los cuales provocan la corrosión de las partes del motor, es ahí donde ingresan <u>los lubricantes formado una correcta película de lubricante</u>, y provoca el correcto funcionamiento de las partes, por lo tanto, el correcto mantenimiento es lo óptimo para que se pueda lograr un correcto funcionamiento. A todo ello, me ha pasado muchas veces, que <u>la cámara de combustión no está lubricado correctamente y se producen capas en la cabeza del pistón lo cual provoca que alteraciones en la máquina principal.</u></p>	<p>-Los lubricantes forman una correcta película de lubricante.</p> <p>-La cámara de combustión no está lubricado correctamente y se producen capas en la cabeza del pistón lo cual provoca alteraciones en la MP.</p>
<p>E12:</p> <p>Bueno en se conoce que en la cámara de combustión se realiza una explosión y expansión del pistón, lo cual provoca que <u>ácidos que pueden alterar las paredes del cilindro</u>, considero además que el correcto uso de los lubricantes es esencial a la hora de determinar un correcto funcionamiento de las partes. <u>No he tenido la oportunidad de ver este tipo de fallas porque los motores son optimizados adecuadamente</u>, al menos que se alteren los componentes de los combustibles con una disminución o exceso de contenido de azufre.</p>	<p>-Ácidos que pueden alterar las paredes del cilindro.</p> <p>-No he tenido la oportunidad de ver este tipo de fallas porque los motores son optimizados adecuadamente.</p>
<p>E13:</p> <p>Por mi apreciación personal te puedo decir que esto es común en los motores de 2 y 4 tiempos, pero cabe señalar que <u>la lubricación juega un papel importante a la hora del funcionamiento de las partes involucradas</u>, considero la lubricación debe ser lo óptimo, sin alterar las funciones de propulsión del buque. Y bueno, supongo que estos casos deben se suscitarse <u>por el cambio de combustible, es por ello que el BN tiene que variar</u>, es ahí donde entra el operario que debe de disponer de un control claro del mantenimiento de las partes.</p>	<p>-La lubricación juega un papel importante a la hora del funcionamiento de las partes involucradas.</p> <p>-Por el cambio de combustible, se debe de realizar el correcto cambio de lubricante por la alteración del</p>

	BN en el sistema de lubricación.
--	----------------------------------

2. ¿Cómo se puede manejar una situación donde se evidencia la aparición de ácido sulfúrico por una inadecuada lubricación?	
Descripción de las entrevistas-grabaciones- anotaciones	Codificación (Unidades temáticas de significación)
<p>E1:</p> <p>La aparición de ácido sulfúrico en la camisa del cilindro es la consecuencia de que el uso del lubricante, contiene un nivel de BN muy bajo puesto que el contenido de carbonato de calcio que se encuentra en el lubricante no es suficiente en relación al contenido de azufre que presente en el combustible usado en ese momento, por esta razón en el proceso de combustión se desprende mayor cantidad de ácido sulfúrico el cuál no puede ser neutralizado con la poca cantidad de carbonato de calcio, es así que se puede encontrar ácido sulfúrico en las paredes de la camisa, por ello <u>es imprescindible usar un lubricante que sea acorde al contenido de azufre del combustible usado, tomando en cuenta las guías brindadas por el fabricante, sabiendo también que el número BN será menor puesto que el combustible usado contiene un menor porcentaje de azufre.</u></p>	<p>-Está relacionada con el nivel de BN el cuál es determinado en función del contenido de azufre en el combustible de uso por la nave.</p>
<p>E2:</p> <p>Por mi experiencia a bordo la cuál es más de 24 años, he podido observar que la aparición de ácido sulfúrico se da por una mala selección del lubricante puesto que esta se utiliza en función al tipo de combustible usado, en este caso si encontramos residuos de ácido sulfúrico es porque no ha logrado ser neutralizado por el carbonato de calcio que contiene el lubricante, por esta razón <u>se recomienda aumentar el nivel de BN para así aumentar la cantidad de base presente en el lubricante y así poder neutralizar todo el ácido sulfúrico producido en el proceso de la combustión.</u></p>	<p>-Está determinada por el nivel BN del lubricante usado, el cual se utiliza en función al contenido de azufre contenido en el combustible.</p>

<p>E3:</p> <p>Para yo tomar la mejor decisión en lo que respecta a manejar esta situación, la cuál es la aparición de ácido sulfúrico en las paredes del cilindro, primero tengo que saber por qué razón no está siendo limpiada por el lubricante, esto es debido a que se está utilizando un combustible de contenido de azufre alto, por ello la formación de ácido sulfúrico, luego de la reacción química de combustión, es en mayor grado que el carbonato de calcio <math>\text{CaCo}_3</math> contenido en el lubricante, <u>en consecuencia el aumento de del BN del lubricante usado, será suficiente para poder neutralizar los ácidos formados en la reacción química de combustión.</u></p>	<p>-Se está utilizando un combustible con contenido de azufre muy superior a lo cotidiano.</p> <p>-Cambiar el lubricante a uno con un BN de mayor grado acorde al porcentaje de azufre. Esto quiere decir aumentar la base de <math>\text{CaCo}_3</math>.</p>
<p>E4:</p> <p>La mejor forma de manejar estos casos es realmente sencilla, solo se tiene que <u>aumentar el nivel de BN (base number) en el lubricante usado para así poder neutralizar todo el ácido sulfúrico producido por la combustión del combustible</u>, el cuál es evidentemente alto en contenido de azufre. Aunque este cambio de lubricante no es muy usual en los motores marinos, pero debido a la coyuntura se volverá un cambio necesario con el fin de preservar la vida útil de la maquina principal.</p>	<p>-El uso del lubricante debe ser el recomendado por el fabricante del motor, este es en función al combustible utilizado respecto al contenido de azufre que contiene el mismo. Cuidado la relación entre <math>\text{CaCo}_3</math> y ácidos.</p>

<p>E5:</p> <p><u>El uso de un combustible alto en azufre</u> , también genera un aumento en la formación de ácido sulfúrico y estas queda impregnada en la camisa del cilindro y en la parte superior de los cilindros, por esta razón cuando encontramos este contenido en la camisa del motor es porque no se está usando un combustible adecuado con respecto al tipo de combustible que está usando la nave, es decir el lubricante no está neutralizando los ácidos formados en la combustión, en consecuencia quedan residuos de ácido sulfúrico en las paredes del cilindro, <u>esto se puede manejar aumentando el nivel de BN y realizando una óptima velocidad de lubricación del combustible.</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se está utilizando un combustible alto en azufre.</li> <li>-Cambiar el lubricante a uno con un BN de mayor grado.</li> <li>-Optimización de la velocidad de lubricación.</li> </ul>
<p>E6:</p> <p>En mi opinión esta se debe a que la lubricación no es la correcta, pudiendo ser que <u>la velocidad de bombeo del aceite no logre una correcta lubricación</u>, o peor aún, que no sea lo suficientemente fuerte para poder limpiar las impurezas desprendidas en un proceso de combustión interna, por otro lado también pudiera ser <u>que aumentando el nivel de carbonato de calcio</u> pueda neutralizar todos los ácidos y así eliminar las impurezas de ácido sulfúrico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La velocidad de bombeo del lubricante no es suficiente para remover todas las impurezas.</li> <li>-Aumentar el nivel de carbonato de calcio (BN).</li> </ul>
<p>E7:</p> <p>La presencia de ácido sulfúrico en la camisa de los cilindros puede ser por 2 razones, una por el <u>poco caudal de lubricación que es suministrado a estas partes móviles</u> de la unidad o también por la <u>mala selección de lubricante para este tipo de combustible alto en azufre</u>. Una situación de manejo sería como recomienda el fabricante MAN el cuál te dice que se tiene que utilizar un lubricante con el nivel de BN de 70 cuando se utilice un combustible con contenido de azufre menor a 1.5%.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Existen 2 razones, a causa del suministro de lubricante bajo y BN muy bajo para tal contenido de azufre en el combustible.</li> </ul>

<p>E8:</p> <p>Bajo mi punto de vista si tenemos una formación de ácido sulfúrico en estas partes del motor es porque <u>el lubricante que se está usando en aquel momento no es el adecuado</u>, por ello se necesita <u>cambiar el BN</u> a otro, no hay mejor decisión que seguir la recomendación del fabricante la cuáles han sido hechas por expertos, <u>lo cual es 70 BN</u> para un combustible mayor a 2 % de contenido de azufre.</p>	<p>-Uso inadecuado de lubricante, el que debe ser usado es uno con un BN de 70.</p>
<p>E9:</p> <p>La única razón que se tiene cuando se puede observar la aparición de ácido sulfúrico en las paredes del cilindro, es que este no está siendo limpiado como se debe por los aditivos del lubricante o no está siendo neutralizado con el carbonato de calcio suficiente, esto se tiene que manejar con la <u>optimización de la velocidad del caudal de suministro de lubricante</u> o también con <u>el cambio del nivel superior de BN para así poder neutralizar todos los ácidos</u> que son creados a partir de la combustión en la cámara de combustión.</p>	<p>-Optimizar el caudal de suministro de lubricante.</p> <p>-Eleva el nivel de BN en el lubricante.</p>
<p>E10:</p> <p>El manejo de este tipo de situaciones se tiene que hacer luego de un análisis e inspección luego de la observación del fenómeno, esta puede ser que se haya adquirido un combustible con un contenido de azufre muy alto, esto quiere decir que luego del proceso de combustión este va desprender mucha más cantidad de ácido el cuál quedara sin neutralizar en la camisa del cilindro, generando corrosión de estas partes tan importantes, así como delicadas. <u>Otra opción también es el cambio de lubricante con un porcentaje de carbonato de calcio más elevado.</u></p>	<p>-Cambio de lubricante con un porcentaje de carbonato de calcio más elevado.</p>
<p>E11:</p>	

<p>En lo que a mí respecta yo podría deducir que la aparición de ácido sulfúrico en la camisa u otras partes de la unidad es porque los aditivos de los lubricante que deberían de limpiar no lo están realizando de manera correcta, o tal vez el combustible tiene un contenido muy alto en azufre, en tal caso, <u>si es que se tiene de una navegación de 1 a 2 semanas a más se tendrá que cambiar de lubricante a uno que contenga un nivel de BN más alto y así este poder neutralizar el ácido sulfúrico formado por la combustión.</u></p>	<p>-Debido al nivel elevado de azufre en el combustible se procede a cambiar el BN del lubricante.</p>
<p>E12:</p> <p>En mis años como 1er ingeniero no he tenido problemas relacionados con este tipo de apariciones de ácido sulfúrico, puedo creer que, si no hay una correcta lubricación con un caudal suficiente para poder remover todas las impurezas que se adhieren a la camisa del motor, es porque <u>falta aumentar la velocidad hacia una velocidad óptima, así pudiendo limpiar esta capa de ácido sulfúrico.</u></p>	<p>-Se tiene que aumentar el nivel de caudal de lubricación y así formar la película mínima necesaria.</p>
<p>E13:</p> <p>Puedo deducir de forma rápida y concisa de que la presencia de ácido sulfúrico es sencillamente porque el aditivo que contiene el lubricante actualmente llamado BN, no es el suficiente para poder neutralizar todo el ácido sulfúrico provocado por la combustión del motor, <u>por ello se tiene que seguir la guías brindadas por los expertos, la cuál es la recomendación del fabricante, también en adición a ello se puede también aumentar la velocidad de suministro de aceite para así pode remover cualquier tipo de impurezas que se encuentren en el motor.</u></p>	<p>-Usar el BN adecuado el cual tiene que ser de mayor grado.</p> <p>-Usar recomendaciones del fabricante.</p>

**-Número Base**

3. ¿Qué tipo de BN posee el lubricante que utiliza en el motor de su buque?	
Descripción de las entrevistas-grabaciones- anotaciones	Codificación (Unidades temáticas de significación)
<p>E1:</p> <p>Lo general antes de las normas IMO 2020, era la utilización de un lubricante de un Base Number alto, debido a que el lubricante tenía como propósito neutralizar los altos contenidos de azufre que se generaban durante la combustión del fuelóleo, sin embargo, hoy en día el BN es mucho menor, debido a que ahora el azufre en los combustibles es menor, como mínimo 0.5%, esto hace que no requiera un BN alto. <u>Normalmente en el barco que estoy los sistemas principales del motor suelen tener un BN que oscila entre 5 y 12, conteniendo detergentes para evitar los depósitos de carbón en el motor principal del barco.</u></p>	<p>-El BN oscila entre 5 y 12 para el sistema principal del barco, para así evitar los depósitos de carbón.</p>
<p>E2:</p> <p><u>El BN utilizado en los lubricantes que empleamos en la nave están por debajo de lo que se venía utilizando anteriormente, debido a que los combustibles de hoy en día tienen una menor concentración de ácido sulfúrico, lo cual genera que los lubricantes tengan propiedades alcalinas menores, por lo que he leído puedo considerar que es un tema aun en discusión. En el barco que estoy actualmente utilizamos un combustible de bajo porcentaje de azufre por ende se utiliza un BN menor eliminar en su mayoría los sedimentos del combustible.</u></p>	<p>-El BN utilizado en los lubricantes que empleamos en la nave están por debajo de lo que se venía utilizando anteriormente.</p> <p>-Se utiliza un BN de acuerdo al contenido de azufre a utilizarse.</p>

<p>E3:</p> <p>El BN que se recibe en mi buque es alrededor de 70 BN, debido a que en este buque se sigue utilizando el combustible de 3.5% en concentración de azufre porque nosotros poseemos una torre de lavado, es por esa razón que el BN se mantiene en ese rango, sin embargo, sí estoy enterado que en <u>los buques que se propulsa con un combustible reglamentario IMO 2020 con un contenido de 0.5% necesitan un BN menor</u></p>	<p>-Los buques que se propulsa con un combustible reglamentario IMO 2020 con un contenido de 0.5% necesitan un BN menor.</p>
<p>E4:</p> <p>En el buque utilizamos lo que es un lubricante con un BN menor que lo que se venía utilizando anteriormente, <u>trabajamos con un BN de 30, lo cual es debido a que nosotros tenemos que utilizar el combustible de bajo contenido de azufre</u>, lo cual hace que el lubricante no sea muy alcalino, que también tiene sus desventajas en ese aspecto, debido a que la limpieza de las unidades del motor principal no se limpia del todo porque el nivel de detergencia se ve mermado por el reducido BN, <u>cuestión que pone más complicaciones al trabajo normal del motor principal.</u></p>	<p>-Trabajamos con un BN de 30, lo cual es debido a que nosotros tenemos que utilizar el combustible de bajo contenido de azufre.</p> <p>-Cuestión que pone más complicaciones al trabajo normal del motor principal.</p>
<p>E5:</p> <p><u>Por lo general los barcos mercantes utilizan motores de dos tiempos para la máquina principal utilizando dos sistemas de lubricación</u>, la primera para los cilindros y la otra para el Cárter. Bueno, en los buques de la compañía se utiliza hoy en día un lubricante con propiedades alcalinas limitadas, quiere decir que se utiliza un BN menor a comparación de los que se venía utilizando antes de las normas OMI 2020, <u>el BN que se utiliza es el de 40 debido a que no es necesario que sea muy alcalino</u>, debido además que esta condición puede dañar las paredes del cilindro puliéndolo lo cual genera un daño físico a estas partes de las unidades del motor.</p>	<p>-Los motores marinos utilizan dos tipos de sistemas de lubricación.</p> <p>-El BN que se utiliza es el de 40 debido a que no es necesario que sea muy alcalino.</p>

<p>E6:</p> <p>El combustible que se utilizan en los distintos buques de la flota de la compañía es de características de bajo contenido de azufre, por debajo del 0.5% debido a que la empresa petrolera con la que trabajamos nos provee de este combustible, <u>es por esta misma razón que se utilizan lubricantes con bajo BN para que se pueda combatir el azufre correctamente</u>, debido a que si se utiliza un lubricante con un BN elevado como se venía utilizando anteriormente puede acarrear daños al motor.</p>	<p>-Es por esta misma razón que se utilizan lubricantes con bajo BN para que se pueda combatir el azufre correctamente.</p>
<p>E7:</p> <p>En los buques que he estado en esta compañía, la gran mayoría utiliza lubricantes de bajo BN porque la llegada de los combustibles de bajo contenido de azufre lo demanda, sin embargo, hay ciertos buques que se utiliza las torres de lavado lo cual permite al buque seguir utilizando combustibles de 3.5% de azufre. <u>El BN que manejamos en este buque es de 30, debido a que no se requiere demasiado que contrarreste al azufre.</u></p>	<p>-El BN que manejamos en este buque es de 30, debido a que no se requiere demasiado que contrarreste al azufre.</p>
<p>E8:</p> <p>Bueno, <u>el BN del lubricante utilizado en este buque es de 50</u>, de la marca Repsol, para así evitar los depósitos de carbón, debido a que he estado en otros buques que utilizan otro tipo de lubricante y el poder de detergencia y de neutralización no es el mismo, por el contrario, este aceite se desempeña de una manera óptima.</p>	<p>- El BN del lubricante utilizado en este buque es de 50, para así poder evitar los depósitos de carbón.</p>
<p>E9:</p> <p>Los lubricantes utilizados en los buques de la compañía son en su mayoría de un BN bajo, <u>alrededor de 40, por otro lado, este nivel de BN es utilizado debido a que el combustible con</u></p>	<p>-Alrededor de 40, por otro lado, este nivel de BN es</p>

<p>bajo contenido de azufre no demanda un grado de neutralización elevado, pero que al bajar el BN de los lubricantes, el nivel de detergencia también baja, permitiendo la acumulación de residuos de carbono en la camisa de pistón y en sus anillos.</p>	<p>utilizado debido a que el combustible con bajo contenido de azufre no demanda un grado de neutralización elevado.</p>
<p>E10:</p> <p>Hablando de BN, en el buque utilizamos dos tipos de lubricantes para la lubricación del pistón y del cilindro, y otro para la lubricación de las piezas móviles de la máquina principal como las que se pueden encontrar en el cárter, <u>este aceite es de un BN muy bajo, de 5 si mal no recuerdo</u>. Todo esto es consecuencia de la utilización de los combustibles con bajo contenido de azufre, esto conllevaría a diseñar otro tipo de motores que puedan cumplir con las características y <u>además nuevos aditivos que vayan de la mano</u>.</p>	<p>-Este aceite es de un BN muy bajo, de 5 si mal no recuerdo.</p> <p>-Además nuevos aditivos que vayan de la mano.</p>
<p>E11:</p> <p><u>El lubricante utilizado para el cilindro de la máquina principal es de un BN de 40, debajo de los 70 u 80 que se utilizaba anteriormente, esto ha traído algunos puntos en contra en relación a la limpieza del cilindro, debido a que el lubricante de ahora no limpian correctamente y no extrae como se quisiera las formaciones de carbono de dentro del cilindro, <u>esta problemática debe ser atendida por los fabricantes debido a que una acumulación desmedida de estos residuos pueden dañar a las diferentes partes de las unidades de la máquina principal.</u></u></p>	<p>- El lubricante utilizado para el cilindro de la máquina principal es de un BN de 40.</p> <p>-Esta problemática debe ser atendida por los fabricantes debido a que una acumulación desmedida de estos residuos puede dañar a las diferentes partes de las unidades de la máquina principal.</p>
<p>E12:</p> <p>El BN que se maneja para los lubricantes del sistema de lubricación de la máquina principal son de bajo grado de alcalinidad, son de 50 y de 5 respectivamente, uno que utilizamos para</p>	<p>-Son de bajo grado de alcalinidad, son de 50 y de 5 respectivamente.</p>

<p>el cilindro y el pistón y otro que utilizamos para las partes del cárter debido a que uno trabaja en condiciones diferentes que el otro. Esta disminución del BN se debe a la aparición y exigencia de la utilización de los combustibles con bajo contenido de azufre.</p>	
<p>E13:</p> <p>El lubricante juega un papel importante a la hora de querer alargar la vida útil del motor, hoy en día que se utiliza un combustible de bajo contenido de azufre ha obligado a la industria a adaptarse, diseñando nuevos lubricantes con un BN bajo, para no alcalinizar en exceso los ácidos generados por el azufre, lo cual sería dañino para la camisa del cilindro. <u>En mi buque puntualmente se utiliza un BN de 37, lo cual se corresponde con las exigencias que son demandadas</u> para mantener las piezas en óptimas condiciones.</p>	<p>-En mi buque puntualmente se utiliza un BN de 37, lo cual se corresponde con las exigencias que son demandadas.</p>

<p>4. ¿Por qué es importante regular el BN en el sistema de lubricación de cilindros?</p>	
<p>Descripción de las entrevistas-grabaciones-annotaciones</p>	<p>Codificación (Unidades temáticas de significación)</p>
<p>E1:</p> <p>Hoy en día, es muy importante mantener un BN acorde a las exigencias que se presentan por utilizar combustibles con bajo contenido de azufre, debido <u>a que esto generará en menor proporción ácidos que puedan corroer las piezas metálicas de las unidades de la máquina principal, debido que mantener un BN acorde es importante,</u> porque si se mantiene un BN alto puede dañar la camisa, además es importante que las industrias encargadas desarrollen un nuevo paquete de aditivos que aumenten el nivel de detergencia debido a que es posible que se generen más depósitos de carbono en los anillos del pistón que puedan traer consecuencias.</p>	<p>-A que esto generara en menor proporción ácidos que puedan corroer las piezas metálicas de las unidades de la máquina principal, debido que mantener un BN acorde es importante.</p> <p>-Es una problemática que sigue en estudio y desarrollo hoy en día.</p>

<p>Desde mi punto de vista <u>es una problemática que sigue en estudio y desarrollo hoy en día</u>, debido a que se necesita una amplia evidencia que pueda establecer oportunidades de mejora en relación a los lubricantes.</p>	
<p>E2:</p> <p>Es importante porque de esa manera se puede obtener el equilibrio buscado respecto a la lubricación de las piezas de la máquina principal. <u>La utilización de combustibles con bajo contenido de azufre ha conllevado a que los lubricantes se amolden a esta nueva realidad debido a que las condiciones en las que se producen ácidos de azufre no son las mismas</u>, se generan en menor proporción lo cual demanda que los aceites tengan un BN reducido que no sobrepase en alcalinidad al azufre, debido a que si se produce este fenómeno es posible que dañe la camisa del cilindro. Por otro lado, este bajo nivel de BN merma en términos de detergencia y dispersión a las propiedades del lubricante, problemática que tiene que ser abordada también sin ninguna duda. <u>Así también el sistema principal lubrica los cojinetes principales, las levas y cruceta.</u></p>	<p>-La utilización de combustibles con bajo contenido de azufre ha conllevado a que los lubricantes se amolden a esta nueva realidad debido a que las condiciones en las que se producen ácidos de azufre no son las mismas.</p> <p>-El sistema principal lubrica los cojinetes principales, las levas y la cruceta.</p>
<p>E3:</p> <p>Desde mi punto de vista, es muy importante que las diferentes compañías inviertan en poder conseguir y desarrollar un paquete de aditivos acorde a las exigencias que se tienen dentro de la industria marítima que está sufriendo un cambio respecto a los combustibles de bajo contenido de azufre que se han implantado. <u>Esto conllevaría a que el BN de los lubricantes sea reducido para que las propiedades alcalinas de los lubricantes no puedan dañar a las partes del cilindro como pueden ser la camisa y los anillos del pistón</u>, esto además afecta de manera indirecta al disminuir el poder de detergencia de los lubricantes lo cual generaría una creciente en la acumulación de residuos de carbón en los anillos del pistón o en la propia camisa.</p>	<p>-Esto conllevaría a que el BN de los lubricantes sea reducido para que las propiedades alcalinas de los lubricantes no puedan dañar a las partes del cilindro como pueden ser la camisa y los anillos del pistón.</p>

<p>E4:</p> <p>Considero que regular el BN dentro de los lubricantes utilizados para los cilindros es importante debido a que en estos se presenta la mayor concentración de azufre debido a la combustión que se genera en el mismo, <u>lo cual será objeto de ajuste debido a que la utilización de combustibles de bajo contenido de azufre cambia las reglas del juego obligando a que este BN sea menor, para que sus propiedades alcalinas no afecten las piezas de las unidades.</u> El BN sirve para neutralizar y controlar los niveles de acidez generados. Además, considero que es de vital importancia que se puedan hacer estudios en estos años para que las empresas puedan hacer un seguimiento de cómo se desarrollan estos lubricantes con las diferentes partes metálicas del motor principal.</p>	<p>-Lo cual será objeto de ajuste debido a que la utilización de combustibles de bajo contenido de azufre cambia las reglas del juego obligando a que este BN sea menor, para que sus propiedades alcalinas no afecten las piezas de las unidades.</p>
<p>E5:</p> <p>Bueno, en mi opinión es importante regular el <u>BN de los lubricantes para que se puedan ajustar a las nuevas características de la quema de los combustibles con bajo contenido de azufre,</u> debido a que estos cambian sus propiedades en relación a la generación de los ácidos que promueven la corrosión, con lo cual un BN demasiado alto puede llegar a dañar la camisa o generar acumulaciones de residuos sólidos en la cabeza del pistón.</p>	<p>-BN de los lubricantes para que se puedan ajustar a las nuevas características de la quema de los combustibles con bajo contenido de azufre.</p>

<p>E6:</p> <p>Es importante debido a que los diferentes combustibles con bajo contenido de azufre que se vienen utilizando <u>obligan a modificar los lubricantes en términos de BN, para poder buscar el equilibrio con los ácidos generados por el azufre</u>. Esta problemática es actual, debido a que hasta el día de hoy no se logra establecer con claridad las repercusiones que se puedan dar por la utilización de lubricantes con bajo BN, debido a la falta de antecedentes y evidencia que pueda permitir establecer algunas oportunidades de mejora sobre las cuales se puedan plantear mejoras.</p>	<p>-Obligan a modificar los lubricantes en términos de BN, para poder buscar el equilibrio con los ácidos generados por el azufre.</p>
<p>E7:</p> <p>Tomando en cuenta las normas que obligan a la reducción del azufre dentro de los combustibles, los lubricantes deben ajustarse a esta nueva realidad, lo cual involucra principalmente al <u>BN, el cual debe ser reducido para poder establecer un equilibrio y neutralizar los ácidos de azufre que se generan por la combustión de una manera eficiente e idónea</u>, sin sobrepasar esa neutralidad que pueda generar un daño a nivel químico de los componentes de las unidades de la máquina principal.</p>	<p>-BN, el cual debe ser reducido para poder establecer un equilibrio y neutralizar los ácidos de azufre que se generan por la combustión de una manera eficiente e idónea.</p>
<p>E8:</p> <p>Desde mi punto de vista, el regular el BN dentro de la composición de los lubricantes es importante para que sea compatible con las funciones que debe cumplir dentro del sistema de mecanismos pertenecientes a la máquina principal <u>tomando en cuenta que hoy en día los combustibles con bajo contenido de azufre demandan que los lubricantes puedan corresponderse con esta nueva situación que se presenta, permitiendo que los ácidos sean menores que antes y que no requiera un lubricante con un BN elevado</u>. Además, dentro de la lubricación de los cilindros, el BN es diferente que el utilizado en las piezas móviles, debido a las características de trabajo a las cuales se someten los lubricantes.</p>	<p>-Tomando en cuenta que hoy en día los combustibles con bajo contenido de azufre demandan que los lubricantes puedan corresponderse con esta nueva situación que se presenta, permitiendo que los ácidos sean menores que antes y que no requiera un lubricante con un BN elevado.</p>

<p>E9:</p> <p>Considero que la importancia de regular el BN dentro del sistema de lubricación, especialmente la del cilindro, <u>recae sobre los cambios que se tiene que hacer por el efecto de los combustibles con bajo contenido de azufre, los cuales deben regular las propiedades alcalinas del lubricante permitiendo establecer un equilibrio neutralizando en una medida adecuada los ácidos procedentes del azufre.</u> Por otro lado, es importante que se mantengan en desarrollo nuevos aditivos para poder adaptarse a esta nueva normativa, puesto que mayormente los aditivos vienen en paquetes los cuales ya tienen en su fórmula detergentes y dispersantes, impidiendo la libre implementación de alcalinos al lubricante.</p>	<p>-Recae sobre los cambios que se tiene que hacer por el efecto de los combustibles con bajo contenido de azufre, los cuales deben regular las propiedades alcalinas del lubricante permitiendo establecer un equilibrio neutralizando en una medida adecuada los ácidos procedentes del azufre.</p>
<p>E10:</p> <p>Desde mi punto de vista, es importante que el BN sea regulado para hacer frente a las nuevas complicaciones que se originan por la utilización de los combustibles de bajo contenido de azufre, lo cual hace que el BN baje dentro de un lubricante con el objetivo de establecer una neutralización equilibrada para afectar a nivel químico ninguna de las partes del motor, también <u>es importante tomar en cuenta que estas disminuciones de BN también conllevan una disminución en la detergencia de los lubricantes, propiciando el origen de la acumulación de residuos de carbono en la camisa y en los anillos del pistón.</u></p>	<p>-Es importante tomar en cuenta que estas disminuciones de BN también conllevan una disminución en la detergencia de los lubricantes, propiciando el origen de la acumulación de residuos de carbono en la camisa y en los anillos del pistón.</p>
<p>E11:</p> <p>La regulación del BN dentro de los lubricantes es importante, debido a que el azufre que presentan los combustibles de hoy en día es mucho menor que antes, llegando como máximo a 05%, <u>lo cual los lubricantes deben tener un BN que se traduce en el grado de neutralización que tiene el lubricante sobre los ácidos del azufre.</u></p>	<p>-Lo cual los lubricantes deben tener un BN que se traduce en el grado de neutralización que tiene el lubricante sobre los ácidos del azufre.</p>

<p>E12:</p> <p>Los nuevos combustibles con bajo contenido de azufre por debajo de 0.5% demandan que los lubricantes puedan corresponderse químicamente a la nueva composición de azufre y por ende la generación de ácidos, <u>estos nuevos lubricantes deben tener un BN bajo para se pueda obtener un equilibrio idóneo para evitar la corrosión en la camisa de cilindro o la acumulación de residuos alcalinos en la cabeza del pistón.</u></p>	<p>-Estos nuevos lubricantes deben tener un BN bajo para se pueda obtener un equilibrio idóneo para evitar la corrosión en la camisa de cilindro o la acumulación de residuos alcalinos en la cabeza del pistón.</p>
<p>E13:</p> <p>Considero que sí es necesario darle la importancia necesaria a la regulación del BN en el sentido que se debe usar un BN bajo tomando en cuenta el bajo contenido de azufre que manejan los combustibles marinos de hoy en día. Además, <u>el BN debe ser bajo debido a que el nivel de azufre no es el mismo que antes, se ve considerablemente reducido de 3.5% a 0.5% con lo que consecuentemente, las formaciones de ácido disminuyen y los lubricantes deben tener un BN más bajo para no sobrepasar la alcalinidad necesaria</u> para establecer un equilibrio idóneo que permita el normal desempeño del lubricante.</p>	<p>-El BN debe ser bajo debido a que el nivel de azufre no es el mismo que antes, se ve considerablemente reducido de 3.5% a 0.5% con lo que consecuentemente, las formaciones de ácido disminuyen y los lubricantes deben tener un BN más bajo para no sobrepasar la alcalinidad necesaria.</p>

**-Lubricación de cilindros**

<p>5. ¿Cuál es la importancia de un monitoreo adecuado de la lubricación de cilindros?</p>	
<p>Descripción de las entrevistas-grabaciones- anotaciones</p>	<p>Descripción de las entrevistas-grabaciones- anotaciones</p>

<p>E1:</p> <p>La importancia de un monitoreo adecuado de la lubricación de los cilindros es para <u>evitar solidificaciones por el exceso del carbonato en la cabeza del pistón</u>, o que va provocar un mal funcionamiento del pistón lo que con el tiempo puede acabar en una falla la que implique una reposición total de todos los sistemas que se hayan visto afectados por el inadecuado funcionamiento.</p>	<p>-Evitar solidificaciones por el exceso del carbonato en la cabeza del pistón.</p>
<p>E2:</p> <p>El monitoreo que se le hace al cilindro es importante como todo mantenimiento, en este caso <u>el lubricante en relación al BN debe tener una relación con el combustible que el motor utiliza</u>, ya que es importante mantener proporcional las cantidades que se va a utilizar para evitar en un futuro el desgaste o mal funcionamiento del pistón.</p>	<p>-El lubricante en relación con el BN tiene que tener relación con el combustible que se va emplear.</p>
<p>E3:</p> <p>En base a mis años de experiencia en máquinas es importante un monitoreo de casi todos los sistemas, ya que observando o escuchando se sabe cuando algo no está funcionando correctamente. Considero que es importante el monitoreo de la lubricación de los cilindros ya que buscamos <u>evitar la corrosión dentro de la camisa del cilindro por la oxidación que se puede dar por el exceso de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</u>.</p>	<p>-Evitar la corrosión por el exceso de ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en la camisa del cilindro.</p>
<p>E4:</p> <p>Desde mi punto de vista considero que <u>el equilibrio entre la base (BN) que posee el lubricante con relación al nivel de azufre que tiene el combustible es importante</u> ya que de esta manera <u>se pueden evitar depósitos excesivos</u> provocados por la reacción química dentro del motor, pistón o en la camisa del cilindro.</p>	<p>-El equilibrio entre la base (BN) que tiene el lubricante en relación con el nivel de azufre del combustible, evitando depósitos excesivos.</p>

<p>E5:</p> <p>Es importante el mantenimiento correcto del motor, ya que es un parte fundamental e irremplazable para el buque, en este caso considero que <u>la relación entre el lubricante con el del BN tiene que ver con el tipo de combustible que se va a utilizar</u>, ya que de esta manera se va poder tener una idea de cuanta es la proporción que se necesita para que los gases que se crean en la cámara no saturen ni el pistón ni generen algún tipo de desgaste.</p>	<p>-La relación entre el lubricante con el BN tiene que tener relación con el combustible que se va a utilizar.</p>
<p>E6:</p> <p>La importancia de un monitoreo es el de poder ver si con el paso del tiempo y el uso del motor pueda <u>formarse una solidificación</u> que se adhiera a la cabeza del pistón la cual está formada por gases carbonatados formando deposiciones, lo que <u>provocaría una ruptura en la película que el lubricante genera para evitar desgastes o roces</u> dentro de la camisa del cilindro.</p>	<p>-De formarse deposiciones en la cabeza del pistón ocasionará que la película del lubricante se rompa produciendo desgastes severos.</p>
<p>E7:</p> <p>Considero que la importancia de un monitoreo adecuado de la lubricación de los cilindros se da por <u>la proporción adecuada de las cantidades entre el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en conjunto con el del carbonato que es componente del lubricante</u>, de esta manera se evita un exceso de solidificaciones o generara mucha oxidación, los cuales provocan un desgaste y provocan un mal funcionamiento a largo tiempo.</p>	<p>-La proporción de cantidades entre el ácido sulfúrico y el carbonato es importante.</p>

<p>E8:</p> <p>Bajo mi punto de vista, la importancia del monitoreo es importante en cualquier aspecto, más cuando nos referimos a equipos críticos que son de suma importancia, ahora si nos referimos al monitoreo adecuado de la lubricación considero importante <u>tener en cuenta el número base (BN) que contiene el lubricante ya que éste tiene que presentar relación con el combustible.</u></p>	<p>-El lubricante en relación con la base (BN) tiene que mostrar relación con el combustible.</p>
<p>E9:</p> <p>El monitoreo es importante en cualquier equipo que sea fundamental para la navegación, en este caso nos referimos al motor, el cual es imprescindible para un buen monitoreo de la lubricación de los cilindros es <u>de importancia considerar el combustible a usar, si se usa un lubricante con mayor BN no habrá problema alguno</u> ya que al cambiar de combustible cuando se entra a zonas ECAs si bien es cierto va generar deposiciones al volver a usar el IFO se eliminarán, lo cual no va provocar ningún problema.</p>	<p>- El tipo de combustible es importante para usar de manera proporcionar el lubricante que contiene el BN necesario para evitar desgastes.</p>
<p>E10:</p> <p>Con mi experiencia a bordo, puedo comentar que la importancia del monitoreo adecuado de la lubricación de los cilindros busca el <u>poder evitar concentraciones altas de solidificaciones de yeso que son el resultado del proceso químico entre el lubricante y el combustible,</u> generando solidificaciones en la cabeza del pistón.</p>	<p>-Se busca evitar concentraciones de solidificaciones de yeso resultado del proceso químico en la cabeza del pistón.</p>
<p>E11:</p> <p>Si se habla de la importancia del monitoreo de la lubricación del cilindro considero que es importante <u>no permitir que se dé la oxidación dentro de la camisa del cilindro, por el exceso de gases de ácido sulfúrico (S<sub>2</sub>HO<sub>4</sub>),</u> lo cual producirá que las paredes de la camisa del cilindro se dañen produciendo desgastes y rozamientos.</p>	<p>-No permitir que se dé la corrosión dentro de la camisa del cilindro por el exceso de S<sub>2</sub>HO<sub>4</sub>.</p>

<p>E12:</p> <p>La importancia de un monitoreo adecuado de la lubricación de cilindros, se encuentra en el <u>mantener un equilibrio entre el BN que el lubricante tiene con los niveles de azufre del combustible</u>, ya que con esto se podrá saber cuánto es la reacción química que se va dar.</p>	<p>-Mantener un equilibrio entre el BN del lubricante con los niveles de azufre del combustible.</p>
<p>E13:</p> <p>Es importante recalcar <u>que el número BN si es alto no va causar ningún problema ya que cuando se usa el IFO y se pasa al Diésel o viceversa no va provocar ningún daño ya que al regresar al IFO los depósitos que se hayan formado irán desapareciendo paulatinamente</u>, lo que sí es importante recordar es que el tiempo tiene que ser corto cuando se use el Diésel ya que éste no necesita de tanta concentración de BN.</p>	<p>-El cambio de combustible al entrar a zonas ECAs con respecto al BN que se debe emplear.</p>

<p>6. ¿Cómo se debe llevar a cabo la lubricación de cilindros por el uso de combustible con bajo contenido de azufre a partir de las normas OMI 2020?</p>	
<p>Descripción de las entrevistas-grabaciones-annotaciones</p>	<p>Codificación (Unidades temáticas de significación)</p>
<p>E1:</p> <p>Bueno en primer lugar desde mi punto de vista, ahora después de estas últimas regulaciones de combustible con bajo en azufre, nos ha obligado a poner <u>mayor atención y énfasis en las propiedades de los lubricantes, donde la cantidad de BN es esencial dependiendo de la cantidad de azufre que tenga el combustible</u>. Antes quizás el BN usado era correspondiente a la detergencia, pero desde que la normativa 2020 entro en vigor, nos vemos en la obligación de que ciertos aceites necesiten mayor detergencia.</p>	<p>-Poner mayor atención y énfasis en las propiedades de los lubricantes, donde la cantidad de BN es esencial dependiendo de la cantidad de azufre que tenga el combustible.</p>

<p>E2:</p> <p>Bajo mi experiencia, una cuestión importante para mantener un buen estado de los componentes del motor en especial la de los cilindros, es importante <u>vigilar las condiciones térmicas en las que se lleva el proceso</u>, ya que es una de las formas para mantener las propiedades de los lubricantes y pueda cumplir sus funciones tanto de limpieza como de recubrimiento ante las fricciones del pistón con la camisa.</p>	<p>-Vigilar las condiciones térmicas en las que se lleva el proceso.</p>
<p>E3:</p> <p>Existen distintos parámetros que se debe de cumplir, pero de entre todos el más importante es el de <u>elegir que aceite se deberá de usar dependiendo del tipo de combustible residual se está usando</u>, ya que para uno con bajo contenido de azufre según la normativa del MARPOL, se deberá de usar un aceite lubricante con BN bajo para los cilindros, ya que así cumplirá con su labor de neutralizar la alcalinidad del combustible.</p>	<p>-Elegir que aceite se deberá de usar dependiendo del tipo de combustible residual que se está usando.</p>
<p>E4:</p> <p>Bueno, para llevar a cabo el proceso de lubricación se debe de tener en cuenta muchas cosas entre ellos el nivel de mantenimiento de los componentes del motor, al igual que <u>el tipo de combustible que se utiliza para la combustión, ya que eso determinará el tipo de aceite lubricante que se usará</u>, en el caso ahora de los bajos niveles de azufre en el combustible según norma, existen <u>solo 2 que se pueden elegir para los niveles más bajos de azufre y para los de nivel 3.5%</u>.</p>	<p>-El tipo de combustible que se utiliza determinará el tipo de aceite lubricante que se usará.</p> <p>-Solo 2 que se pueden elegir para los niveles más bajos de azufre y para los de nivel 3.5%.</p>

<p>E5:</p> <p>Debemos de tener en cuenta primero las propiedades que ahora muestran los lubricantes debido a las nuevas normas 2020, donde los primordiales según teoría <u>son detergencia y dispersancia, la detergencia hace posible que no se almacenen sedimentos</u> que se forman en el pistón debido a la condensación del azufre, puesto que su formación causa un desgaste abrasivo en la camisa del cilindro.</p>	<p>-Los aditivos detergentes y dispersantes son de suma importancia para la selección del lubricante a utilizar.</p>
<p>E6:</p> <p>Desde mi punto de vista, la formación de sedimentos en los pistones, es el nuevo problema que traen consigo los combustibles bajos en azufre, así como también lo fueron las ceras parafinas y los finos catalíticos, es por tal motivo que <u>ahora se está teniendo en cuenta para los aceites lubricantes el BN que ayuda al combustible de esta naturaleza a neutralizar la acidez del combustible</u>, además de ello se considera las propiedades que tiene el aceite como la detergencia y la dispersancia.</p>	<p>-Ahora se está teniendo en cuenta para los aceites lubricantes el BN que ayuda al combustible de esta naturaleza a neutralizar la acidez del combustible.</p>
<p>E7:</p> <p>La operatividad de la máquina se debe de mantener por medio de los mantenimientos y la correcta lubricación, por tal motivo se pueden presentar muchas fallas si alguno de estos falla, se debe de tener mucho cuidado al hacer los mantenimientos como al elegir el aceite lubricante, ya que este dependerá del tipo de combustible que se usa para la combustión, en los cilindros, <u>la lubricación solo se encarga de sellar y lubricar la interfaz entre el anillo del pistón y la camisa, es por ello que el BN debe de corresponder hoy en día al porcentaje de azufre del combustible que se usa.</u></p>	<p>-La lubricación solo se encarga de sellar y lubricar la interfaz entre el anillo del pistón y la camisa, es por ello que el BN debe de corresponder hoy en día al porcentaje de azufre del combustible que se usa.</p>

<p>E8:</p> <p>Hoy en día hay más problemas por el uso de combustibles con bajo contenido de azufre que por la naturaleza ácida de este componente hace que se produzca una oxidación importante de tal forma que se formen ciertos depósitos en el pistón, es por ello <u>que la elección de un buen aceite lubricante que pueda neutralizar esa alcalinidad, es de suma importancia y aparte que mantenga su propiedad de dispersancia para mantener en suspensión partículas de carbono que afecten.</u></p>	<p>-La elección de un buen aceite lubricante que pueda neutralizar esa alcalinidad, es de suma importancia y aparte que mantenga su propiedad de dispersancia para mantener en suspensión partículas de carbono que afecten.</p>
<p>E9:</p> <p>Las nuevas normas sobre la reducción del contenido de azufre en los combustibles, nos han forzado a también elegir otro tipo de lubricantes para nuestros motores, ya que siendo estos de dos tiempos, necesitamos un aceite distinto para los cilindros, por tal motivo es que <u>las propiedades de estos deben de ser precisas para así reducir los riesgos en la formación de sedimentos, en los pistones, es por eso que el nivel de detergencia es de suma importancia así como la dispersancia para mantener en suspensión los compuestos carbonosos.</u></p>	<p>-El nivel de detergencia y dispersancia es de suma importancia en el lubricante, el cuál es seleccionado en función al porcentaje de azufre contenido en el combustible utilizado.</p>
<p>E10:</p> <p>Bueno, bajo mi experiencia, el nivel de BN es esencial, ya que depende del tipo de combustible que se usa, el nivel de BN a usar; hoy en día debido a la normativa 2020 de los combustibles y su nivel bajo de azufre, es que para buques que naveguen en zonas de control, <u>se usará un lubricante con BN mucho menor, pero eso acarrearía otros problemas de acidificación debido a las propiedades alcalinas del combustible.</u></p>	<p>-La selección adecuada del lubricante para los motores de 2 tiempos es tomada en función al tipo de combustible que se utilizará, tomando en cuenta el porcentaje de azufre que contenga el mismo.</p>

<p>E11:</p> <p>Las últimas normas 2020 sobre la cantidad de azufre, también es correspondiente a los aceites lubricantes, ya que se disminuirá el nivel de BN dependiendo del tipo de combustible que se usa. Por otro lado, <u>las lubricaciones de los cilindros se llevarán a cabo teniendo en cuenta las propiedades de detergencia y dispersancia de los aceites lubricantes</u>, ya que ayudarán en la limpieza y evitarán la formación de depósitos en el pistón y además ayudarán en la suspensión de elementos carbonosos.</p>	<p>-Es de suma importancia los aditivos detergentes y dispersantes que se encuentran en el lubricante, el cuál es indicado respecto al nivel de BN (Base Number).</p>
<p>E12:</p> <p><u>Las lubricaciones de los cilindros se realizarán por medio de un aceite lubricante con un BN correspondiente al combustible que se use y a las propiedades de detergencia y dispersancia</u>, estas propiedades son muy independientes el uno con la otra y hoy en día se puede conseguir lubricantes con mayor nivel de detergencia para evitar la formación de sedimentos en los pistones, lo cual no es correspondiente al grado de BN que se debe de usar dependiente del tipo de combustible usado.</p>	<p>-Se debe de utilizar un lubricante que este diseñado acorde al tipo de combustible que se utiliza.</p> <p>-El nivel de BN debe de ser acorde al porcentaje de combustible utilizado.</p>
<p>E13:</p> <p>Bajo mi punto de <u>vista la forma en la que debemos de llevar a cabo la lubricación en los cilindros, dependerá mucho del nivel de detergencia de los lubricantes</u>, puesto que la problemática que presentan los combustibles bajos en azufre, se debe a la alcalinidad producido por el azufre, ya que el BN al ser menor no puede cumplir su principal labor de reducir el nivel de alcalinidad del combustible.</p>	<p>-La lubricación de los cilindros depende también de la capacidad y calidad de los aditivos detergentes que contiene el BN.</p>

**Teorización parcial sobre el primer objetivo específico:** Los motores marinos de dos tiempos poseen dos sistemas de lubricación independientes. En primer lugar, se tiene el aceite del sistema principal, la cual es por lo general alimentado por dos bombas. Dicho tipo de aceite suele tener un BN de 5 y 12, conteniendo detergentes para evitar los depósitos de carbón. Dichos tipos de aceites o lubricantes poseen además inhibidores de herrumbre y oxidación y están fabricados para poder desplazar el agua. El lubricante del sistema principal lubrica los cojinetes principales, las levas y cruceta, donde el aceite es tratado en un purificador centrífugo para eliminar lodos, agua, partículas de carbón y otros elementos, siendo luego recirculado constantemente.

Con respecto al uso de combustible con bajo contenido de azufre no existe algún tipo de repercusión en dicho sistema, siempre y cuando no exista contaminación con el aceite utilizado en los cilindros ya que una fuga podría ocasionar problemas en los cojinetes, ya que, el BN es mayor al que se utiliza en dicha zona.

-Poniendo énfasis en la lubricación de los cilindros la cual se contamina con productos de la combustión a través de los gases de escape necesita una formulación de ácido significativa (BN). El lubricante de los cilindros se inyecta directamente en la cámara de combustión, muchas veces de manera sincronizada, lubricando anillos, camisa del cilindro y cumpliendo una de las funciones más importantes que es la neutralización de ácido.

-El aceite utilizado en la lubricación de cilindros suele quemarse y agotarse de manera parcial, por lo que suele drenarse y almacenarse para luego ser desechado. Dicho de otra forma, no suele reutilizarse.

-El uso de combustible con bajo contenido de azufre requiere un BN más bajo, por lo que se pueden producir problemas con la capacidad de detergencia lo que puede generar depósitos a base de combustible. Por otra parte, el uso de un BN más alto puede traer consecuencias de depósitos de los no combustibles en los aditivos, produciéndose residuos de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que se posicionan por lo general en la parte superior de los anillos del pistón formando depósitos duros y que repercuten generando espejos en la camisa del cilindro, que al generarse una pobre película de lubricante provoque que los anillos se puedan atascar, romperse y provocar un desgaste irreversible.

-Otra de las repercusiones que se pueden observar tiene que ver con el cambio de combustible en zonas ECAs, donde los buques deben ingresar utilizando combustibles con porcentaje por debajo de 0.1 % masa/masa. Al utilizar un lubricante con un BN excesivo no adecuado los depósitos se acumularán en el cilindro de manera lenta, pero si luego se cambia al nuevo combustible residual existen altas probabilidades que de dichos depósitos se eliminen de manera paulatina. En ese sentido, cuando existan períodos intermitentes de cambio de combustible un BN alto es aceptable, siempre y cuando dicha acción se realice en un corto tiempo. Dicha situación determina que los operadores deban establecer una gestión adecuada para poder eliminar o reducir la formación de depósitos y evitar corrosión.

-Frente a dichos escenarios, con la masificación del uso de combustibles marinos con bajo contenido de azufre, los requerimientos para la lubricación de cilindros es toda una incertidumbre, ya que con la situación actual nuevos problemas y éxitos se verán en años siguientes. Si bien es cierto existe una gran variedad de lubricantes para los cilindros, la variación típica

de los motores brinda una apertura al uso de múltiples aceites de cilindros, ya que ninguno es ideal para los nuevos desafíos encontrados. Debe de haber una correlación entre la formación de ácido y el total de base introducida. La cual depende del combustible con cantidad de azufre. El mantener una película adecuado y minimizar los depósitos de carbonato de calcio exige un nivel de limpieza que es todo un reto en la actualidad para los fabricantes de lubricantes quienes deben garantizar que los anillos del cilindro se puedan mover libremente.

-Bajo lo mencionado, la nueva situación que somete el uso de combustibles con bajo contenido de azufre en los motores marinos de buques mercantes conllevan a que los fabricantes de los lubricantes además de poder solucionar las problemáticas que se pueden ir observando, agregado de otros nuevos que puedan aparecer, tener la capacidad para enfocarse en otras propiedades que años anteriores no tuvieron la misma atención.

**4.1.2. Identificar qué repercusiones presenta la lubricación en motores marinos de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes.**

**Subcategoría de análisis: Lubricación en motores de cuatro tiempos**

**Documentación**

Experiencia con combustible bajo en azufre en motores de cuatro tiempos

Aunque se ha demostrado que los problemas relacionados con el uso de combustible con bajo contenido de azufre tienen un impacto más pronunciado en el motor de dos tiempos, dicho tipo de combustible también se utilizará en motores diésel marinos de cuatro tiempos.

En conversaciones con los principales fabricantes de motores de cuatro tiempos, está claro que, según su experiencia, no anticipan ninguna preocupación significativa cuando se use combustible con bajo contenido de azufre, ni requieren el uso de un aceite de motor de BN más bajo cuando funcionan con este tipo de combustible por períodos intermitentes.

En el caso de operación continua en combustibles con bajo contenido de azufre, pueden ser necesario usar un aceite lubricante 20-40 BN (según lo que indique el diseñador del motor) para motores de cuatro tiempos (en lugar de los aceites 40-55 BN

usados con combustible con bajo contenido de azufre) para evitar depósitos excesivos en la cámara de combustión, los conductos de gases de escape y turbocompresor.

Sin embargo, se requiere más experiencia operativa para determinar si se plantearán problemas a futuro. Los fabricantes de motores son los encargados de proporcionar recomendaciones más específicas sobre dichos asuntos.

(Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)

#### Lubricantes para motores de velocidad media (4 tiempos, troncal)

A diferencia del lubricante del sistema en un motor diésel de cruceta, el lubricante del cárter en un motor de cuatro tiempos y velocidad media está continuamente expuesto a productos de combustión.

Sin embargo, el enfoque del lubricante para estos motores no será significativamente diferente de los lubricantes usados hoy en día con aceites combustibles que poseen un contenido promedio de azufre aproximadamente de 2.5 % masa/masa. Aunque 0.5 % masa/masa es un nivel de azufre más bajo presente en la mayoría de combustibles residuales usados actualmente sigue siendo una cantidad significativa, que requiere un BN suficiente para neutralizar los subproductos ácidos de la combustión.

En la mayoría de los casos, es probable que el contenido de componentes residuales (como asfaltenos) sea menor que en los combustibles marinos pesados actuales; sin embargo, aún se requerirá un buen nivel de dispersancia de asfaltenos.

Los subproductos comerciales actuales son capaces de cumplir con los requisitos de lubricación, y es improbable un cambio hacia un BN más bajo (por ejemplo, 12-40 en lugar de 30-40) y un BN muy alto (por ejemplo, 50 o 55).

En condiciones normales de consumo de aceite, los aceites de motor de pistón troncal no requieren cambios completos de aceite durante varios años, siempre que las condiciones de combustión permanezcan normales y el aceite no se diluya por la contaminación del combustible residual crudo.

Por las razones anteriores, los motores de pistón troncal que queman combustibles residuales están mejor equipados con purificadores/separadores centrífugos de funcionamiento continuo de capacidad suficiente, que limpian su aceite lubricante mediante la eliminación de agua, hollín y otros contaminantes.

Basado en la normativa vigente para el uso de combustible marino bajo en azufre y en las próximas iniciativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la industria marina, es probable que los siguientes combustibles marinos coexistan en la próxima década: Combustibles ultrabajo en azufre (MGO o MDO); combustible con muy bajo contenido de azufre (VLSFO); Combustible con alto contenido de azufre (HFO) siempre y cuando utilice un sistema de limpieza de gases de escape; gas natural licuado (GNL) o gas licuado de petróleo (GLP), Biocombustible: Aceite vegetal hidrogenado (HVO) o éster metílico de ácido graso (FAME).

El funcionamiento de cada uno de dichos combustibles podría afectar el aceite lubricante a utilizar.

(Alfa Laval, 2018)

**Análisis:**

De la información documental establecida, se puede comprender que en los motores de cuatro tiempos no existen repercusiones significativas y que puedan causar problemas en los componentes de la máquina, ya que poseen un sistema de lubricación donde existen depuradores y filtros que garantizan la calidad del aceite lubricante, lo cual le permite poder actuar y eliminar hollín, agua y otros contaminantes.

Otro punto importante a resaltar tiene que ver que, con la masificación del uso de combustibles con bajo contenido de azufre, existen probabilidades de que en los motores de cuatro tiempos a futuro no presenten cambios relevantes en el sistema de lubricación, sin embargo, las nuevas experiencias llevadas a cabo del año 2020 por la implantación de la regla pueda establecer nuevos escenarios sujetos a ser analizados tanto por los fabricantes de los lubricantes como por los operadores que operan buques mercantes.

## Entrevista

### **-Afectación**

7. ¿Por qué los motores de cuatro tiempos tienden menos a ser afectados con el uso de combustibles con bajo contenido de azufre?	
Descripción de las entrevistas-grabaciones-anotaciones	Codificación (Unidades temáticas de significación)
E1:  Desde mi punto de vista y como se expone en diferentes documentos que he podido tener acceso, los motores de 4 tiempos no son muy afectados en temas de lubricidad, debido a que el sistema utilizado por los motores de 4 tiempos, que normalmente se usan a bordo para los generadores, es el mismo para la lubricación del pistón y los otros componentes de la máquina. Por ese motivo, también considero que <u>los lubricantes usados en estos sistemas no van a sufrir mayor cambio respecto a sus propiedades en relación al BN, debido a que los motores de 4 tiempos poseen todo un sistema de limpieza</u> compuesto por depuradores, filtros, bombas, etc.	-Los lubricantes usados en estos sistemas no van a sufrir mayor cambio respecto a sus propiedades en relación al BN, debido a que los motores de 4 tiempos poseen todo un sistema de limpieza.
E2:  En base a mi experiencia navegando, puedo opinar que los motores de 4 tiempos no sufren tantas repercusiones como los motores de 2 tiempos <u>debido a que estos últimos no poseen un sistema de limpieza exhaustivo, así como los de 4 tiempos, además de que presentan constante contacto con los gases de la combustión</u> , esto genera que su duración sea menor y de que el BN del lubricante utilizado para esos motores sea menor que el habitual. <u>En los motores de 4 tiempos ya se utiliza un lubricante con un BN relativamente bajo, podría decir entre 40 o 50, lo cual, sumado a un sistema de limpieza basado en bombas centrífugas y filtros, se logra obtener una limpieza mayor en el lubricante utilizado.</u>	-Debido a que estos últimos no poseen un sistema de limpieza exhaustivo, así como los de 4 tiempos, además de que presentan constante contacto con los gases de la combustión.

<p>E3:</p> <p>Considero que este fenómeno se debe puntualmente a que los combustibles utilizados hoy en día de bajo contenido de azufre afectan a <u>los motores de 2 tiempos en el sentido de que el BN o el nivel de neutralidad que poseen debe ser mejorado para evitar corrosión dentro de las piezas de este motor, sin embargo, en los motores que poseen un funcionamiento de 4 tiempos la lubricación se maneja por un solo sistema de recirculación del lubricante</u>, en dicho sistema existen filtros, depuradores y otros mecanismos que sirven para eliminar impurezas, residuos de carbono, agua presente, entre otros, este sistema permite que el lubricante no se desgaste profundamente y pueda tener una duración adecuada. Esta es la principal razón por la cual considero que los motores e 4 tiempos no son tan afectados en términos de lubricidad en comparación a los motores de 4 tiempos.</p>	<p>-Los motores de 2 tiempos en el sentido de que el BN o el nivel de neutralidad que poseen debe ser mejorado para evitar corrosión dentro de las piezas de este motor, sin embargo, en los motores que poseen un funcionamiento de 4 tiempos la lubricación se maneja por un solo sistema de recirculación del lubricante.</p>
<p>E4:</p> <p>Puedo indicar que en los motores de 4 tiempos las repercusiones <u>no presentan mayores afecciones respecto a la lubricidad porque estos motores funcionan con un sistema de recirculación de aceite lubricante</u>, con lo cual, estos lubricantes pueden ser limpiados y purificados para mantener sus propiedades por periodos más largos y así mantener protegido a los mecanismos del motor, caso contrario que se presenta en motores de 2 tiempos, en los cuales el aceite no recircula y se mantiene durante menos tiempo en funcionamiento dentro del sistema.</p>	<p>-No presentan mayores afecciones respecto a la lubricidad porque estos motores funcionan con un sistema de recirculación de aceite lubricante.</p>

<p>E5:</p> <p>Bueno, tomando en cuenta el funcionamiento o cómo se maneja la lubricación en esos motores, por ser de media y alta velocidad, poseen un sistema de recirculación del lubricante, provisto de diferentes filtro, depuradores, separadores de agua, entre otros, los cuales cumplen la función de mantener el aceite lo más limpio posible para mantener las piezas del motor como el pistón, las bielas, la camisa del cilindro en óptimas condiciones de lubricidad, neutralizando los aceites provenientes de la combustión, a <u>lo cual esta purificación del aceite genera un panorama alentador ante el cambio a combustibles de bajo contenido de azufre</u>, lo cual no se repite en los motores de 2 tiempos, los cuales presentan un sistema de lubricación muy diferentes debido a que poseen un sistema independiente para las piezas móviles y para el cilindro y el pistón.</p>	<p>- Lo cual esta purificación del aceite genera un panorama alentador ante el cambio a combustibles de bajo contenido de azufre.</p>
<p>E6:</p> <p>En base a lo que he podido evidenciar en diferentes buques durante mis años de experiencia, <u>casi siempre la purificación y limpieza del lubricante utilizado en los motores de 4 tiempos es la óptima</u>, esto debido al sistema cerrado de recirculación de aceite que presentan provee un mecanismo sobre el cual el aceite recogido después de la aplicación a las piezas puede ser limpiado con el objetivo de mantener las propiedades del mismo a través del tiempo. Este sistema permite que el lubricante entre más limpio a comparación de un motor de 2 tiempos, con lo cual las propiedades de neutralización se mantienen durante más tiempo, inhibiendo la necesidad de operar con un lubricante de un BN mayor.</p>	<p>-Casi siempre la purificación y limpieza del lubricante utilizado en los motores de 4 tiempos es la óptima.</p>

<p>E7:</p> <p>Desde mi experiencia, considero que <u>los motores de 4 tiempos presentan menos afectaciones en relación a la lubricidad que ofrecen los lubricantes utilizados, debido a que estos tienen una purificación mayor al contar sus sistemas con depuradoras, filtros, separadores de agua, etc.</u> Además, considero que no habrá muchos cambios en relación a los aceites por tener los lubricantes utilizados para un motor de 4 tipos un bajo nivel de BN.</p>	<p>-Los motores de 4 tiempos presentan menos afectaciones en relación a la lubricidad que ofrecen los lubricantes utilizados, debido a que estos tienen una purificación mayor al contar sus sistemas con depuradoras, filtros, separadores de agua.</p>
<p>E8:</p> <p>Considero que esta situación se da debido a la falta de instalación de un sistema de limpieza de aceite en la utilización de motores de 2 tiempos, debido a que estos necesitan un nivel de limpieza mayor al operar a bajas velocidad, <u>situación que no se repite con los motores de 4 tiempos debido a que estos tienen diferentes purificadores y separadores de agua</u> y residuos provenientes de la combustión.</p>	<p>-Situación que no se repite con los motores de 4 tiempos debido a que estos tienen diferentes purificadores y separadores de agua.</p>
<p>E9:</p> <p>En base a los buques de la compañía en la que laboro, todos los buques operan con motores de 2 tiempos para la máquina principal y los generadores eléctricos con un sistema de 4 tiempos, en los cuales no se presenta mayor problema al operar con combustibles de bajo contenido de azufre en relación a la lubricación, puesto que, <u>estos motores poseen un sistema de recirculación el cual limpia el aceite lo cual le permite mantener sus propiedades de lubricante.</u></p>	<p>-Estos motores poseen un sistema de recirculación el cual limpia el aceite lo cual le permite mantener sus propiedades de lubricante.</p>

<p>E10:</p> <p>Es algo que se puede deducir si se conoce el funcionamiento del sistema de lubricación del motor de 4 tiempos, este sistema mantiene un alto nivel de limpieza del mismo debido a que el mismo sistema es para toda la unidad, <u>por eso recoge más impurezas y es necesario tener elementos que ayuden a su limpieza como purificadores, filtros, separadores de agua entre otros. Por lo tanto, el BN no debe ser modificado sustancialmente a mi parecer, debido a que a esas condiciones mantiene un correcto poder de detergencia en el sistema, cosa que es igual en un motor de 2 tiempos.</u></p>	<p>-Por eso recoge más impurezas y es necesario tener elementos que ayuden a su limpieza como purificadores, filtros, separadores de agua entre otros. Por lo tanto, el BN no debe ser modificado sustancialmente a mi parecer.</p>
<p>E11:</p> <p>Es un poco difícil especificar las razones, <u>pero considero que debe ser por la purificación que obtiene el lubricante de un motor de 4 tiempos, que, por estar en constante lubricación, sus propiedades se mantienen en el tiempo</u>, normalmente su duración es de años, sin embargo, en los motores de 2 tiempos es más complicado mantener las propiedades del mismo, debido a que en el cilindro las condiciones a las que se somete el aceite son diferentes además de estar en constante contacto con los gases de escape generados por la combustión, lo cual hace que este lubricante tenga un alto grado de BN.</p>	<p>-Pero considero que debe ser por la purificación que obtiene el lubricante de un motor de 4 tiempos, que, por estar en constante lubricación, sus propiedades se mantienen en el tiempo.</p>
<p>E12:</p> <p>En mi opinión, debido a la constante contaminación de residuos de carbono que provienen de la cámara de combustión que caen al cárter, <u>el sistema de lubricación que opera un motor de 4 tiempos debe estar compuesto por múltiples mecanismos que permitan la limpieza de estos contaminantes, y, en relación a la composición de los lubricantes, considero que un paquete de aditivos con un énfasis especial en los dispersantes es crítico</u>, debido al alto nivel de impurezas que pueda contener, lo que obliga a que los filtros puedan actuar y limpiar lo máximo</p>	<p>-El sistema de lubricación que opera un motor de 4 tiempos debe estar compuesto por múltiples mecanismos que permitan la limpieza de estos contaminantes, y, en relación a la composición de los lubricantes, considero que un paquete de aditivos con un</p>

posibles estas impurezas. Esa sería la necesidad que pienso que conllevaría a hacer modificaciones a los lubricantes.	énfasis especial en los dispersantes es crítico.
<p>E13:</p> <p>Los motores de 4 tiempos poseen menos alteraciones frente a los combustibles con bajo contenido de azufre debido a que ya algunos pueden operar con menores concentraciones del mismo, <u>además hablando de lubricación, estos lubricantes que se utilizan para los motores de 4 tiempos operan con un BN relativamente menor que en el de 2 tiempos, aproximadamente 40, lo cual hace un poco más manejable su utilización o reducción del mismo en dichos motores.</u></p>	-Además hablando de lubricación, estos lubricantes que se utilizan para los motores de 4 tiempos operan con un BN relativamente menor que en el de 2 tiempos, aproximadamente 40, lo cual hace un poco más manejable.

**-Problemas**

8. ¿Ha evidenciado últimamente algún problema relacionado con fallas de lubricación en motores de cuatro tiempos?	
Descripción de las entrevistas-grabaciones-annotaciones	Codificación (Unidades temáticas de significación)
<p>E1:</p> <p>Con respecto a tu pregunta, en mi experiencia como marino mercante y por los diferentes buques que estado no he tenido problemas en los motores de cuatro tiempos (generadores auxiliares) o también llamado troncales, esto puede ser por que los motores de cuatro tiempos tienen un <u>solo sistema de lubricación donde existen depuradores y filtros que garantizan la calidad del aceite de lubricante.</u></p>	-Los motores de cuatro tiempos tienen un solo sistema de lubricación donde existen depuradores y filtros que garantizan la calidad del aceite.

<p>E2:</p> <p>Por mi experiencia a bordo la cuál es más de 24 años, nunca he tenido problemas en los motores de cuatro tiempos (generadores auxiliares) <u>ya que estos motores tienen un único sistema de lubricación y los daños que puedan ocasionar son mínimos y pueden ser controlados por los oficiales de máquinas.</u></p>	<p>-Los motores tienen un único sistema de lubricación.</p>
<p>E3:</p> <p>En mis años de experiencia a bordo de toda clase de buques mercantes puedo decir que no ya que a diferencia de los motores de dos tiempos <u>no existen muchas repercusiones respecto al motor de cuatro tiempos</u> ante el uso de combustible con bajo contenido de azufre, debido a que estos tipos de motores se <u>utiliza un solo sistema de lubricación utilizando separadores y depuradores centrífugos los cuales brindan alta calidad del aceite.</u></p>	<p>-No existen muchas repercusiones en los motores de cuatro tiempos.</p> <p>-Se utiliza un solo sistema de lubricación utilizando separadores y depuradores centrífugos los cuales brindan alta calidad del aceite.</p>
<p>E4:</p> <p>Durante mi experiencia como jefe de máquinas puedo afirmar que nunca he tenido problemas graves en los motores de cuatro tiempos o más conocidos como troncales, debido a que es por un <u>solo sistema que tiene este tipo de motores ya que así permiten mantener la calidad del lubricante de manera óptima.</u></p>	<p>-No he tenido problemas en los motores de cuatro tiempos.</p>

<p>E5:</p> <p>Durante todos mis años de experiencia <u>nunca he tenido inconvenientes ni problemas con los motores de cuatro tiempos</u> y si los he tenido han sido problemas que se han solucionado de forma rápida.</p>	<p>-Nunca he tenido problemas en los motores de cuatro tiempos.</p>
<p>E6:</p> <p>En mis años como 1er ingeniero <u>no he tenido problemas relacionados con este tipo de motores de cuatro tiempos</u>, en cambio los motores de dos tiempos siempre habido problemas porque aquí <u>se utiliza dos tipos de lubricantes uno para los cilindros y otro para el Carter en cambio en los de cuatro tiempos se utiliza un solo sistema y por ende un solo lubricante</u>, lo cual no suelen haber daños mayores como en los de cuatro tiempos.</p>	<p>-No he tenido problemas.</p> <p>-El motor de dos tiempos se utiliza dos tipos de lubricantes.</p> <p>-EL motor de cuatro tiempos se utiliza un solo lubricante.</p>
<p>E7:</p> <p>En lo que respecta a tu pregunta puedo decir que en algunos <u>casos si he tenido problemas con los motores de cuatro tiempos</u>, debido al contenido de azufre que tienen los combustibles para poder operar estos tipos de motores, aunque los daños no son tan graves y pueden ser controlados a tiempo.</p>	<p>-En algunos casos si he tenido problemas en los motores de cuatro tiempos.</p>

<p>E8:</p> <p>En algunos casos si he tenido problemas, pero solamente leves, debido a que los motores de cuatro tiempos al <u>quemar combustibles residuales están mejor equipados con purificadores/separadores centrífugos de funcionamiento continuo de capacidad suficiente,</u> que limpian su aceite lubricante mediante la eliminación de agua, hollín y otros contaminantes.</p>	<p>-Los motores de cuatro tiempos están mejores equipados con purificadores centrífugos de funcionamiento continuo de capacidad suficiente.</p>
<p>E9:</p> <p>Por mis años de experiencia <u>he podido evidenciar pocas situaciones negativas con respecto a los motores de cuatro tiempos</u> debido a que este tipo de motor <u>tiene un solo sistema de lubricación, lo cual cuenta con piezas altamente sofisticados para poder mantener la calidad del aceite lubricante.</u></p>	<p>-Evidenciado pocas situaciones negativas.</p> <p>-Los motores de cuatro tiempos tienen un solo sistema de lubricación.</p>
<p>E10:</p> <p>Con respecto a tu pregunta te puedo decir que en toda mi experiencia <u>no he tenido muchos problemas con respeto a los motores de cuatro tiempos,</u> debido que estos motores tienen separadores y depuradores centrífugos que brindan una buena y optima lubricación del aceite ene le sistema.</p>	<p>-No he tenido muchos problemas.</p>
<p>E11:</p> <p><u>Si he tenido problemas, pero nada de lo fuera de común,</u> debido a que los motores de cuatro tiempos, <u>los aceites de motor de pistón troncal no requieren cambios completos de aceite durante varios años,</u> siempre que las condiciones de combustión permanezcan normales y el aceite no se diluya por la contaminación del combustible residual crudo.</p>	<p>-Si he tenido problemas, pero nada de lo fuera de común.</p> <p>-Los aceites de motor de pistón troncal no requieren cambios completos de aceite durante varios años.</p>

<p>E12:</p> <p>Si he tenido algunos problemas con el combustible que se utiliza en los motores de cuatro tiempos ya que aumenta la posibilidad de contaminación microbiana. En ese sentido, sería todo un riesgo para motores de cuatro tiempos que estén inactivos durante períodos prolongados. En ese sentido, la problemática estaría vinculado en los motores auxiliares de los buques, ya que en gran mayoría suelen ser troncales de cuatro tiempos, donde <u>se podrían evidenciar repercusiones ante un desconocimiento o mala gestión por parte de los operadores (departamento de máquinas).</u></p>	<p>-Si puede haber repercusiones debido a un desconocimiento o mala gestión por parte de los operadores (departamento de máquinas).</p>
<p>E13:</p> <p>Durante todos mis años de experiencia <u>nunca he tenido inconvenientes ni problemas con los motores de cuatro tiempos y si los he tenido han sido problemas que se han solucionado de forma rápida.</u></p>	<p>-Nunca he tenido problemas en los motores de cuatro tiempos.</p>

### -Lubricación actual

9.- ¿Cómo se realiza la lubricación actual en motores de cuatro tiempos?	
Descripción de las entrevistas-grabaciones- anotaciones	Codificación (Unidades temáticas de significación)
<p>E1:</p> <p>Bueno desde mi experiencia puedo decirte que la lubricación que se realiza <u>en un motor de 4 tiempos es muy diferente a como se viene realizando con el motor de 2 tiempos</u>, por lo general es escasa la contaminación que puede ocurrir con los gases no contaminantes, sin embargo <u>el mantenimiento con estos equipos deberá de ser lo más apropiado posible</u>, para evitar problemas de calidad hacia el lubricante, <u>por otro lado considero que no existen muchos casos</u></p>	<p>-Existe una lubricación diferente entre los motores de 2 y de 4 tiempos.</p> <p>-El mantenimiento deberá de ser el apropiado.</p>

<p><u>que se asemejen a los casos de los motores de 2 tiempos</u>, pero obviamente un correcto mantenimiento ayuda a que no ocurran sucesos extremos.</p>	<p>-No existen muchos casos referidos a casos complejos a los motores de 2 tiempos.</p>
<p>E2:</p> <p>Considerando que la lubricación en los motores de 4 tiempos es más limpia, debido a que no existe un enlace directo con la cámara de combustión, <u>la lubricación no será periódicamente porque existe un proceso de circulación en el interior del cárter</u>, aunque se tiene que pasar inspección a los filtros, para descartar cualquier indicio de contaminación, es más se considera que se debe de extraer una muestra para su posterior <u>envió al laboratorio, con los resultados que nos proporcionen podremos conocer si el lubricante se encuentra en buen estado.</u></p>	<p>-La lubricación no será periódicamente porque existe un proceso de circulación en el interior del cárter.</p> <p>-Con los resultados del laboratorio se pueden conocer si el lubricante se encuentra en buen estado.</p>
<p>E3:</p> <p>En el buque en el cual navego cuenta con un motor de 4 tiempos, <u>no hemos tenido algún incidente grave porque considero que la lubricación que se viene realizando</u>, no requiere de métodos de constante cambio de lubricante, solo es necesario realizar constantes controles de los filtros así como <u>el chequeo de la viscosidad del lubricante y para determinar ello, es por medio de la ficha técnica de informe</u> por el cual se es necesario realizar un contante chequeo, esperemos con este nuevo combustible con bajo contenido de azufre venga con buenas instancias en relación a la contaminación que se podría generar en el cárter.</p>	<p>-No hemos tendido algún incidente grave porque considero que la lubricación que se viene realizando es la adecuada.</p> <p>-El chequeo del estado del lubricante es por medio de la ficha técnica considerando que se debe de mantener en ese estado continuo.</p>

<p>E4:</p> <p>Desde mi punto de vista, <u>la lubricación de las partes del motor principal es fundamental porque de no realizarlo de forma adecuada podría generar problemas graves</u>, hasta la pérdida de alguna unidad, si es que se trata del motor principal, sin embargo, considero que las empresas que se dedican a ver todo este tema están más informadas, y de hecho que deben de realizar estudios previos antes de su lanzamiento al mercado. Para finalizar, <u>considero que la forma de lubricar va de la mano con la forma del mantenimiento que tiene la maquina principal y sus compontes.</u></p>	<p>-La lubricación de las partes del motor principal es fundamental para no generar problemas graves.</p> <p>-La forma de lubricar va de la mano con el mantenimiento de la maquina principal y sus componentes.</p>
<p>E5:</p> <p>La lubricación en cualquier buque es parecido solo vario en el tipo de motor que se disponga, es por ello que para que la lubricación sea la adecuada el correcto de <u>uso del BN será efectivo a la hora de lubricar, muchas veces con el nuevo uso del combustible marino se debe de evaluar constantemente la calidad del lubricante que se está aplicando</u> al sistema de lubricación. Además, el lubricante contiene aditivos que ayudan a desplazar las sustancias que se crean en la cámara de combustión, permitiendo que el lubricante sea óptimo.</p>	<p>-El BN que se utiliza es el de 40 debido a que no es necesario que sea muy alcalino.</p>
<p>E6:</p> <p>La lubricación en mi buque se realiza de una forma concisa, <u>se comienza por el principio de que el lubricante en cárter es la misma en toda la circulación</u> debido a que dispone de una válvula de succión lo cual hace la recirculación desde principio a fin, pasando por medio de filtros, y enfriadores, <u>para mantener una constante información del lubricante que se está usando</u>, sin embargo <u>las filtraciones de los no combustibles puede afectar el lubricante en uso</u>, y el uso del BN es importante a la hora del uso.</p>	<p>-Se comienza porque el lubricante en cárter es la misma en toda la circulación.</p> <p>-Para mantener una constante información del lubricante se usa filtros en el sistema de lubricación.</p>

<p>E7:</p> <p>Considero que en los buques los más usados son los motores de 2 tiempos, sin embargo, es común encontrar <u>motores de 4 tiempos</u> en los motores auxiliares, <u>los cuales pueden proporcionar un menor torque, comparado con el motor de 2 tiempos</u>. El proceso de lubricación es un proceso muy simple pero se tienen que realizar de la forma correcta, debido a que de mostrar <u>filtraciones al cárter, se pueden mezclar con el hollín y asfáltenos que perjudicarían la calidad del lubricante.</u></p>	<p>-Los motores de 4 tiempos, pueden proporcionar menor torque, comparado con el motor de 2 tiempos.</p> <p>-Las filtraciones al cárter, pueden ocasionar mezclas con el hollín y asfáltenos que perjudicarían la calidad del lubricante.</p>
<p>E8:</p> <p>Bueno <u>siendo la lubricación en un motor de cuatro tiempos más óptima</u> que en la de un motor de 2 tiempos, el proceso de lubricación se da de manera regular, donde el lubricante pasa del cárter a través de la biela lubricando la camisa del cilindro y finalmente el lubricante que se derrama por las paredes del cilindro regresa al cárter.</p>	<p>-La lubricación en un motor de 4 tiempos es más óptima.</p>
<p>E9:</p> <p>Al realizar la lubricación en motores de cuatro tiempos <u>el sistema de lubricación se da de igual manera</u> en diferentes motores, ya que el sistema es el mismo para todos, ahora <u>la contaminación del lubricante es menor ya que pasa por filtros al recircular y regresar al cárter</u> dejando en los filtros el hollín y algún otro componente que se encuentre en el lubricante.</p>	<p>- El sistema de lubricación se da de igual manera.</p> <p>-La contaminación del lubricante es menor que la de dos tiempos.</p>
<p>E10:</p> <p>El sistema de lubricación se da mediante el lubricante que se encuentra en el cárter el cual pasa por la bielas y llegan hasta los anillos de lubricación los cuales lubrican la camisa del</p>	<p>-Correcto mantenimiento de los filtros para verificar el estado del lubricante y</p>

<p>cilindro, se genera que el lubricante se desplaza por los anillos del lubricante y vuelve al cárter con algunos rastros de combustible (esto depende del combustible que se utilice), la bomba que se encuentra en la base absorbe el lubricante el cual pasa por un sistema de filtrado, de esta manera el lubricante regresa al cárter limpio de impurezas generadas en la cámara de combustión. <u>Por lo que es importante un correcto mantenimiento de los filtros para verificar el estado del lubricante.</u></p>	<p>determinar si contiene rastro de no combustibles.</p>
<p>E11:</p> <p>Bueno dependiendo del combustible que se use el lubricante se va contaminar de mayor manera, de esta manera si se usa <u>un combustible residual el lubricante que realiza el proceso de lubricación al caer nuevamente al cárter va tener partículas de hollín</u>, contaminando el lubricante por eso pasa por un filtro al recircularse el lubricante logrando que se limpie.</p>	<p>- Los combustibles residuales producen niveles más altos de hollín.</p>
<p>E12:</p> <p>Como ya te han debido de haber platicado, si hablamos del <u>sistema de lubricación en el cárter siempre se da de la misma manera</u> en cualquier motor ahora es importante tener en cuenta que <u>cambia en algo dependiendo de la relación que tenga el lubricante al entrar a la cámara de combustión</u> ya que dependiendo del combustible que se use, la relación será diferente creando residuos distintos también, los cuales por las filtraciones que se dan a través de los anillos del pistón contaminan el lubricante.</p>	<p>-El sistema de lubricación de cárter es la misma, existen cambios en relación al lubricante en la cámara de combustión.</p>
<p>E13:</p> <p>La lubricación en el motor de 4 tiempos comienza en el cárter donde a través de la biela el lubricante llega hasta los anillos de lubricación del pistón de esta manera el pistón se mantiene lubricado durante su trabajo, el lubricante que se derrama por las paredes del cilindro llegan al cárter. En la base se encuentra una bomba de succión, la cual recircula el lubricante el cual pasa por filtros de esta manera <u>el lubricante se contamina en menor cantidad</u> y regresa nuevamente al cárter en donde se vuelve a utilizar.</p>	<p>-La contaminación del lubricante es menor que en el de dos tiempos.</p>

**-Proyección futura**

10.- ¿Considera que la lubricación por el uso de combustible con bajo contenido de azufre cambiará en el futuro?	
Descripción de las entrevistas-grabaciones-annotaciones	Codificación (Unidades temáticas de significación)
<p>E1:</p> <p>El cambio de combustible a generado un cambio no solo en el sistema de funcionamiento del motor principal sino también ha repercutido de forma directa en el sistema de lubricación del mismo, puesto que, al tener un menor porcentaje de azufre, en la combustión del combustible se generan menor cantidad de ácido sulfúrico, y para neutralizar esta cantidad menor hace falta disminuir el BN para no tener problemas de exceso de bases en este lubricante. <u>Por ello se tendrá que encontrar un lubricante acorde al nuevo combustible OMI 2020.</u></p>	<p>-Si se tendrá que modificar el número de BN en este lubricante, en función al % de azufre contenido.</p>
<p>E2:</p> <p>La lubricación estándar, la cual se utilizaba con el combustible tradicional el de 3.5% debe de ser cambiada, puesto que ahora al bajar el contenido de azufre hasta el 0.5% no se formaran la misma cantidad de ácidos provenientes del azufre en la reacción química de combustión, por ello ahora los laboratorios especializados en lubricantes, <u>ya están evaluando las repercusiones que se están mostrando en los distintos tipos de buques y así poder cambiar la fórmula del contenido de bases, la cual será tomada en función al nuevo combustible demandado por la OMI.</u></p>	<p>-Los laboratorios ya están evaluando la nueva fórmula en contenido de bases para neutralizar la menor cantidad de ácidos sulfúricos formados por el nuevo combustible.</p>

<p>E3:</p> <p>La tecnología usada en la lubricación de motores es dinámica puesto que esa sometida a constante cambio, con el fin de mejorar la performance de estas máquinas, ahora se ha suscitado un nuevo problema por el cambio de combustible, el cual es al que este lubricante actual estaba diseñado para un combustible que presentaba una proporción de azufre, que era de máximo 3.5%, ahora por esta reducción, <u>se tiene que modificar la proporción de carbonato de calcio presente en el lubricante antes usado, entonces sí podemos hablar de modificación de lubricantes por esta nueva medida</u></p>	<p>-La tecnología usada en los lubricantes está en constante cambio creando nuevos detergentes y dispersantes.</p>
<p>E4:</p> <p>El cambio de combustible del que antes se usaba que era uno el cual contenía 3.5% de azufre a el que actualmente se usa con 0.5% de azufre, esto ya ha sido estudiado por los laboratorios de las grandes empresas lubricantes y también por los mismos fabricantes no ahora si no desde 1970 en los que los fabricantes recomiendan usar en sus motores un aceite con un contenido de BN de 30 a 40 de BN, en los casos de que el combustible contenga un menor porcentaje de azufre. <u>Entonces el cambio ya está, otro punto distinto es que no se tome en cuenta lo que ya ha sido estudiado con antelación respecto al uso de este nuevo combustible.</u></p>	<p>-El cambio de los aditivos en los lubricantes por el cambio de combustible ya ha sido estudiado y ya es recomendado por uno de BN más bajo por los mismos fabricantes.</p>

<p>E5:</p> <p>El sistema de lubricación es uno de los más importantes de un buque, estudios realizados desde el inicio de este milenio relacionado a la tribología, con el único fin de mejorar y optimizar y alargar la vida útil del motor y sus componentes, han sido realizados y seguirán mejorando la calidad del lubricante, entonces <u>sí puedo decir que se va mejorar la calidad del lubricante y más aún en función a cambio de porcentaje de azufre contenido en el combustible.</u></p>	<p>-Si hay un cambio desde la actualidad en lo que respecta a los lubricantes, y ya han sido estudiados por los propios fabricantes de sus motores.</p>
<p>E6:</p> <p>La lubricación respecto al bajo contenido de azufre de los combustibles ha sido estudiada desde los años 1970 en los que los primeros en estudiar las repercusiones del cambio de estos parámetros del combustible afectan de forma directa a los componentes del motor ya sea por los ácidos desprendidos u otras sustancias desprendidas producto de la combustión en el motor. Por ello se recomienda cambiar el lubricante con uno de BN más bajo puesto que se necesitarán menor cantidad de aditivos bases para neutralizar la formación de ácidos formados por el azufre.</p>	<p>-Los cambios de los lubricantes ya han sido dados desde muchos años atrás, solo que los buques no han cambiado su sistema de lubricación.</p>
<p>E7:</p> <p>Se sabe que en la reacción química de combustión se forman ácidos, entre ellos el, más importante por el estudio es la formación del ácido sulfúrico, para evitar la corrosión de este ácido se utiliza bases el cual está incluido en el lubricante, que entra en contacto directo con los pistones. Ahora, con el cambio de combustibles ha llevado a un cambio también de lubricante puestos que la demanda de bases como el carbonato de calcio debe ser menor puesto que se generaran menor cantidad de ácidos ya que se ha bajado el nivel de azufre en el combustible. <u>Por ello pedo llegar a la conclusión de que un futuro ya se va estandarizar el uso de un nuevo lubricante para todas las naves que usen este tipo de lubricante.</u></p>	<p>-Se tendrá que reducir las bases que se encuentran en los lubricantes, por ende, bajar el BN a uno acorde al porcentaje de azufre que contenga el combustible usado.</p>

<p>E8:</p> <p>Luego de observar las repercusiones que han tenido muchos de los buques mercantes al hacer el cambio de este nuevo combustible OMI 2020, uno de los problemas evidente, es que la lubricación que se utilizaba abordo era una diseñada para un combustible que contenga un mayor porcentaje de azufre, ahora se tiene que cambiar puesto que los residuos que se desprenden en la reacción química son distintos, entre ellos menor cantidad de ácidos los cuales necesitan menor cantidad de carbonato de calcio (CaCo3) el cual actúa como base y así neutralizar el ácido, cuando entren en contacto con las paredes del cilindro. <u>Por ello si tiene que haber un cambio en los aditivos que se adhieren al lubricante.</u></p>	<p>-Las repercusiones causadas en el motor principal de las naves por el cambio de combustible, conlleva a una modificación de los lubricantes ahora y en un futuro.</p>
<p>E9:</p> <p>En la actualidad se están viendo numerosas naves afectadas respecto al nuevo combustible demandado por la OMI, el cual contiene un porcentaje menor de azufre, la principal repercusión que podemos encontrar es en el sistema de lubricación y sobre todo las partes móviles que están en contacto directo con los gases desprendidos de la combustión, <u>por esta razón se tiene que cambiar de combustible con uno acorde al nuevo porcentaje de azufre en el combustible, el cual deberá de contener un BN menor y así evitar una sedimentación de carbonato de calcio.</u></p>	<p>-La modificación de aditivos del lubricante que se tendrá que mejorar en función del nuevo combustible OMI 2020 disminuyendo el BN.</p>
<p>E10:</p> <p>En lo que a mi persona respecta, <u>el cambio de lubricantes debe de realizarse según lo que recomienda el fabricante, y desde los años 70, los fabricantes recomiendan cambiar el lubricante en función al porcentaje de azufre en el combustible usado,</u> por ello los estudios ya están realizados con respecto a este tema, otra situación, es que no se haya tomado la recomendación de los fabricantes, ya sea por descuido o por ignorar las grandes repercusiones que tendrían en las máquinas.</p>	<p>-Ya hay una recomendación de cambiar el lubricante, en función al contenido de azufre en el combustible.</p>

<p>E11:</p> <p>Tomando en cuenta mi experiencia y el estudio de los casos que se han presentado, los cuales presentan relación inherente con el cambio de combustible IMO 2020, <u>si se tiene que modificar el nivel de BN a utilizar en los lubricantes puesto que este nuevo combustible al entrar en una reacción química de combustión interna</u>, desprende mucho menor cantidad de ácido sulfúrico y entonces solo se necesitaría una menor cantidad de bases para poder neutralizar los ácidos formados.</p>	<p>-Los nuevos lubricantes diseñados tendrán que tener un nivel de BN acorde con el nuevo porcentaje de azufre emitido por los buques.</p>
<p>E12:</p> <p>El uso del nuevo combustible OMI 2020 ha causado repercusiones en la máquina principal no solo por la presencia de finos catalíticos sino también por el cambio de porcentaje de azufre, puesto que ahora con un menor porcentaje de azufre, en la combustión se reduce la formación de ácido sulfúrico, y el lubricante está diseñado con una cantidad de aditivos suficientes para neutralizar la cantidad de ácido sulfúrico formado con el combustible anterior, el cual contenía 7 veces menos cantidad de azufre, por ende crea un exceso de carbonato de calcio (base) y este tiende a solidificarse en la parte superior del pistón. <u>Por ello se tiene que cambiar el lubricante estándar para los buques con uno que tenga un BN menor.</u></p>	<p>-Si tiene que cambiarse de lubricante por uno de menor cantidad de bases es decir menor cantidad de CaCo<sub>3</sub>, por ende, el nivel de BN será menor.</p>
<p>E13:</p> <p>Es de suma importancia estudiar el impacto del nuevo combustible OMI 2020 en la lubricación del motor principal, puesto que este nuevo combustible contiene menor cantidad de azufre y por ende desprenderá una menor cantidad de ácido sulfúrico en la reacción química de combustión, por esta razón la cantidad de bases necesarias para neutralizar este combustible tendrá que disminuir para evitar la solidificación del CaCo<sub>3</sub>, estos estudios llevados por los laboratorios de los lubricantes debe ser publicado para así poder estandarizar un nuevo lubricante específico para el nuevo combustible bajo en azufre.</p>	<p>-Si tiene que haber cambios respecto al nuevo combustible OMI 2020 puesto que los ácidos producidos se han reducido y por ello el lubricante deberá contener menos aditivos.</p>

**Teorización parcial sobre el segundo objetivo específico:** Los motores de cuatro tiempos, utilizados principalmente en los auxiliares del buque son esencialmente adaptaciones de motores diésel para utilizar residual. Con respecto al sistema de lubricación de cárter es la misma, pero existen algunos cambios en relación a la lubricación que se produce en la cámara de combustión.

Los combustibles residuales producen niveles más altos de hollín, que al ingresan al cárter a través de las filtraciones que se producen por los anillos del pistón. Los combustibles no quemados, particularmente los asfaltenos, también ingresan. Tanto los asfaltenos como el hollín son arrastrados por el aceite lubricante, por lo tanto, los dispersantes deben ser aditivos críticos para los motores troncales.

-Una de las principales repercusiones con respecto al uso de combustible con bajo contenido de azufre es que utilizarán un lubricante con un BN más bajo, por otra parte, el uso de lubricante con BN más alto representa aun todo un dilema, pero tomando en cuenta que pueda observarse formación de depósitos duros en las superficies del pistón, se establece que el uso de un lubricante con BN menor resultaría ser la solución más práctica.

-Con un menor nivel de hollín, es lógico que también el tiempo de separación por centrifugación sea menor. Otro de las posibles repercusiones es que con las nuevas mezclas en la cual se presentan los combustibles con bajo contenido de azufre es que suelen ser más asfálticos, lo que podría causar o evidenciar formación de lodos por precipitación, mientras que al obtener un combustible más parafínico se corresponde a que aumente la posibilidad de contaminación microbiana. En ese sentido, sería

todo un riesgo para motores de cuatro tiempos que estén inactivos durante períodos prolongados. En ese sentido, la problemática estaría vinculado en los motores auxiliares de los buques, ya que en gran mayoría suelen ser troncales de cuatro tiempos, donde se podrían evidenciar repercusiones ante un desconocimiento o mala gestión por parte de los operadores (departamento de máquinas).

-A diferencia de los motores de dos tiempos, no habría mayores repercusiones respecto al motor de cuatro tiempos ante el uso de combustible con bajo contenido de azufre, ya que considerando que el sistema de lubricación utiliza separadores y depuradores centrífugos los cuales brindan altas garantías de una adecuada lubricación, siempre y cuando las situaciones mínimas que pueden generar daños mencionados anteriormente sean controladas.

-Se pudo conocer que los motores de cuatro tiempos a diferencia de los motores de dos tiempos el sistema de lubricación tiende a ser menor afectado porque posee un sistema único, lo cual, cuenta con un equipamiento que permite mantener la calidad de lubricante de manera óptima. De acuerdo con la postura de los entrevistados, hasta el momento no se han evidenciado problemas graves por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en motores troncales que particularmente señalan que son utilizados como auxiliares a bordo del buque, estableciendo además que, probablemente a futuro podrían observarse nuevas repercusiones a los cuales la industria naviera y los fabricantes de lubricantes deben estar preparados para asumir nuevos retos.

**4.1.3. Señalar que acciones pueden tomarse en cuenta para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buques mercantes**

**Subcategoría de análisis: Acciones para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación**

**Documentación**

Corrosión en frío

No solo el control de las emisiones de SOx lo que ha creado problemas en el aspecto tribológico de los motores modernos. Abordar los efectos gemelos de controlar el NOx y cumplir con los requisitos de EEDI ha llevado a un nuevo fenómeno: La corrosión en frío.

La corrosión en frío ocurre cuando se forma ácido sulfúrico en las paredes del revestimiento de un cilindro del motor y corroe la superficie del revestimiento. Dicha corrosión anormal crea un desgaste excesivo del material del revestimiento. Para cumplir con las regulaciones de NOx y EEDI, los fabricantes de motores han tenido que aumentar la presión y reducir las temperaturas de funcionamiento, lo que se ha hecho mediante rotaciones por minuto más bajas, carreras más largas y presiones de barrido y combustión aumentadas. Dicha situación crea condiciones por debajo del punto de rocío que permiten que el agua se

condense en las paredes de la camisa del cilindro. Luego se combina con el azufre del proceso de combustión para formar ácido sulfúrico, lo que provoca el desgaste de la camisa del cilindro o la corrosión en frío.

(Shipinsigth, 2020)

#### Corrosión en frío en motores de dos tiempos

Con la crisis económica de 2008, el fenómeno de la corrosión en frío se ha convertido en algo habitual para muchos operadores de grandes motores marinos de dos tiempos debido al funcionamiento del motor con poca carga. Además, la corrosión en frío también puede ocurrir como resultado del diseño y ajuste del motor. Como parte del entorno económico, los fabricantes de motores introdujeron motores con eficiencia de combustible mejorada. Estos motores se caracterizan por tener una gran relación entre carrera y diámetro y, a menudo, se describen como de carrera súper larga.

Todos los motores son diferentes y deben tratarse individualmente; sin embargo, se pueden dar algunos consejos generales:

**Figura 20**

*Recomendación general para manejar la corrosión en frío.*



*Nota.* Se presenta las situaciones observables con respecto al uso de BN (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos, 2017, p. 4).

Debido a su diseño y condiciones generales de operación, los motores de cuatro tiempos no experimentan al mismo alto nivel de corrosión en frío.

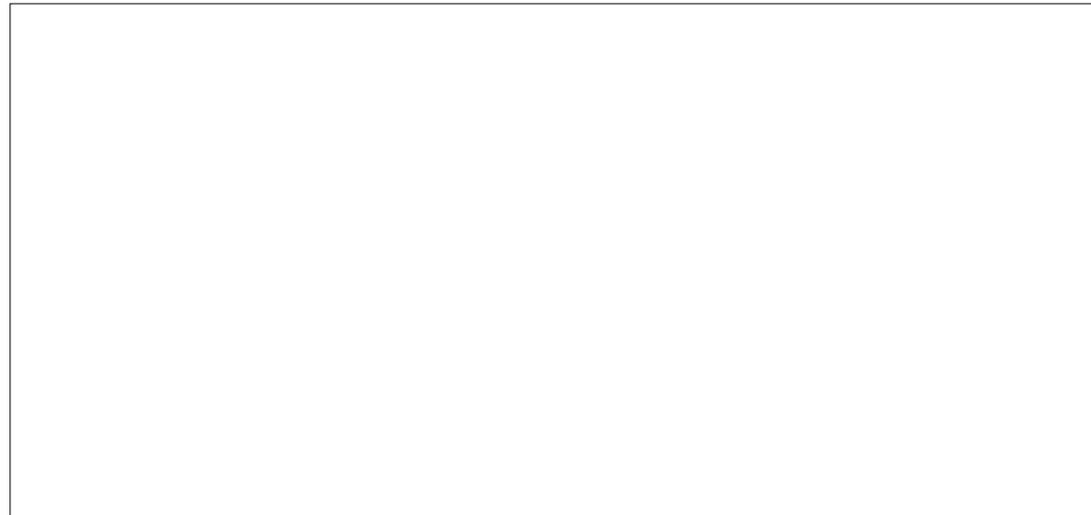
El desgaste corrosivo ocurre cuando hay una combinación de una situación de desgaste (abrasivo o adhesivo) y un ambiente corrosivo. La tasa de pérdida de material puede ser muy alta; mucho mayor que la suma de la contribución individual de

desgaste y corrosión. Esto se debe a que los productos de corrosión sueltos se eliminan fácilmente con el desgaste para revelar continuamente el metal nuevo debajo, que a su vez puede corroerse rápidamente.

Del mismo modo, las películas de óxido estables que normalmente limitarían la corrosión (en ausencia de desgaste) se desgastan instantáneamente. El desgaste corrosivo se puede encontrar en la cámara de combustión y se conoce comúnmente como “corrosión en frío”.

**Figura 21**

*Ejemplo ilustrativo de tasa de pérdida de material.*



*Nota.* El desgaste corrosivo se puede encontrar en la cámara de combustión y se conoce comúnmente como “corrosión en frío (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos, 2017, p. 5).

La corrosión en frío se ha centrado mucho en los últimos años debido a dos influencias principales:

A. Navegación lenta, como resultado de la crisis económica de 2008 y el exceso de capacidad en el mercado del transporte marítimo.

B. Demandas de una mejor eficiencia de combustible que conducen a nuevos diseños y ajustes de motores.

Es importante señalar que la corrosión en frío puede conducir a tasas de desgaste muy altas.

(Consejo internacional de Motores de Combustión Interna, 2017)

#### Corrosión en frío en motores de dos tiempos

El cumplimiento del límite de azufre del 0.5 % ha impulsado la introducción del uso de combustibles con bajo contenido de azufre, conocido por sus siglas en inglés como VLSFO. La combustión de VLSFO produce concentraciones de ácido más bajas debido a los niveles reducido de azufre en los motores marinos en comparación con el combustible residual con alto contenido de azufre.

Esto ha requerido un cambio en la formulación del aceite lubricante del motor, específicamente en la alcalinidad (Número Base o BN). BN protege el motor al neutralizar los ácidos presentes. Los proveedores han recomendado a los operadores de buques que usen aceite de motor 40 BN para usar con VLSFO (en lugar de 70 BN que usaba anteriormente con HFO).

La investigación de VPS (Veritas Petroleum Services) ha identificado más de 40 buques que sufrieron daños importantes en el motor desde que comenzaron a abastecerse de combustible en VLSFO.

El documento técnico describe lo siguiente:

- Problemas relacionados con el desgaste excesivo del revestimiento debido a la abrasión por depósito de calcio duro.
- La causa potencial de los depósitos del aceite lubricante.
- Medidas de seguridad para evitar daños en el motor.

La investigación identificó que la reserva de BN en el aceite de los cilindros no estaba siendo utilizada para neutralizar los ácidos formados durante el proceso de combustión del combustible. Esto dio como resultado que se depositaran compuestos de calcio en la parte superior del pistón, que se volvió duro y abrasivo, lo que provocó el desgaste de la camisa y la rotura del anillo del pistón, lo que resultó en problemas operativos graves.

La investigación también identificó un desgaste excesivo de las camisas de las unidades de cilindros de los motores de dos tiempos desde la introducción de los VLSFO. Este daño a los componentes del motor tiene un impacto perjudicial en la operatividad del buque. Los motores afectados no se limitaron a ningún fabricante de equipos originales específico, sino a muchos de los principales fabricantes de motores de la industria marina. En todos los casos, se probó la calidad del combustible

VLSFO y se encontró que era aceptable y el aceite de cilindro original que se usó era de grado 40 BN suministrado por la mayoría de los proveedores clave.

**Figura 22**

*Tono rojo en la parte superior del pistón con evidencia de desgaste.*



*Nota.* La reserva de BN al no ser utilizada genera depósitos compuestos de calcio que produce desgaste en la cabeza del pistón y camisa (VPS identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN, Ship & Bunker, 2020, párr. 5).

(Ship & Bunker, 2020)

Finos catalíticos: Impacto en el desgaste de la máquina principal y cómo reducir el desgaste

La optimización exitosa hacia una larga vida útil de los componentes en los motores diésel de dos tiempos modernos requiere que la condición se siga de cerca y que los operadores actúen sobre la información obtenida. La experiencia ha demostrado que una buena limpieza del combustible y una correcta lubricación, seguidas de inspecciones adecuadas, son las principales herramientas para garantizar el buen estado de los cilindros y una larga vida útil de los componentes.

Las partículas abrasivas que ingresan a la cámara de combustión causarán desgaste. Los finos catalíticos son partículas pequeñas y muy duras que se originan en el proceso de refinado y, por lo tanto, ingresan al combustible marino. Normalmente se permiten grandes cantidades en el combustible cargado según la norma ISO 8217:2017 y, en el caso de que la limpieza del combustible a bordo de los buques sea insuficiente, pueden entrar particular catalíticas en el motor con el combustible y causar desgaste.

El nivel máximo aceptable recomendado de finos catalíticos que ingresan al motor siempre debe ser lo más bajo posible y máximo 15 ppm Al + Si por períodos cortos.

Puntos importantes con respecto a las fallas relacionadas con los finos catalíticos:

-Los finos catalíticos en el combustible que ingresan en el motor causarán desgaste: Cuanto mayor sea la cantidad de finos catalíticos, mayor será el desgaste.

- Los finos catalíticos aceleran el desgaste corrosivo.
- Los finos catalíticos se acumulan en el tanque de servicio, si el tanque no se limpia de forma regular.
- Los finos catalíticos se encuentran en combustibles pesados como en los ultrabajo en azufre.
- Los finos catalíticos impregnadas en las camisas demuestran una limpieza de combustible inaceptable.
- Los daños por desgaste de los finos catalíticos se encuentran principalmente en diferentes posiciones para motores de dos y cuatro tiempos.

**Figura 23**

*Descripción general de los daños encontrados en motores de dos tiempos y pequeños grupos electrógenos de cuatro tiempos.*



*Nota.* Los finos catalíticos causan daños abrasivos en la camisa del cilindro y anillos del pistón (Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y cómo reducir el desgaste, MAN Diesel & Turbo, 2017, p. 5).

(MAN Diesel & Turbo, 2017)

**Análisis:**

Tomando en cuenta la información presentada, se puede establecer que los daños que se pueden evidenciar producto del uso de combustible con bajo contenido de azufre y la lubricación están relacionados con la corrosión en frío, daños por excesiva lubricación y finos catalíticos. En primera instancia la corrosión en frío provoca el desgaste de la camisa del cilindro, lo cual se da mayormente en motores de dos tiempos. La corrosión en frío se produce por una navegación en frío y demandas por establecer que el combustible sea cada vez más eficiente.

Por otra parte, los daños por excesiva lubricación producen que haya una reserva de BN la cual al utilizar un bajo contenido de azufre genera una condición donde se generen depósitos de carbonato de calcio que por lo general se asientan en la cabeza del pistón, lo cual, a su vez, genera desgaste abrasivo en la camisa. En ese sentido, se han observado problemas en diversos buques quienes han venido utilizando combustible con bajo contenido de azufre en donde se han podido observar dicha problemática.

Otro punto a resaltar, tiene que ver con los finos catalíticos, lo cual son aluminosilicatos que se introducen dentro de la máquina principal que pueden causar daño abrasivo a los anillos del pistón y camisas del cilindro. Dicho residuo suele introducirse en

la planta de craqueo catalítico a través de los cuales se logra que el porcentaje de azufre pueda reducirse y obtener combustible reglamentario en relación a la exigencia normativa.

### Entrevista

#### **-Corrosión en frío**

11.- ¿Ha presenciado problemas respecto a la corrosión en frío?	
Descripción de las entrevistas-grabaciones-anotaciones	Codificación (Unidades temáticas de significación)
<p>E1:</p> <p>La corrosión en frío se da cuando encontramos desgaste adhesivo y también desgaste abrasivo, a esto le sumamos un ambiente corrosivo, para fines de estudio se menciona desgaste corrosivo formado por el ácido sulfúrico <math>H_2SO_4</math>, tuve un caso de desgaste en el año 2021 en el cuál se encontró corrosión por parte de la camisa del cilindro, esto se dio por una formación de exceso de ácido sulfúrico, esto es en consecuencia de una mayor cantidad de reacción de un anhídrido con el vapor de agua.</p>	<p>-Si se ha presentado casos de corrosión en frío, en las camisas del cilindro, a consecuencia de una formación excesiva de ácido sulfúrico.</p>
<p>E2:</p> <p>Los problemas de corrosión en frío, se dan abordo con mayor frecuencia producto de la combustión de los hidrocarburos y las partes del motor que están en contacto con estos gases que son desprendidos producto de la reacción de combustión, <u>un problema de esos ocurrió en las naves de Arenkhiel Steam Ship, los estudios e investigaciones realizadas llevadas a cabo de las piezas que resultaron dañadas, dieron como resultado que el daño fue causado por la corrosión del ácido sulfúrico.</u></p>	<p>-Se han presentado problemas de corrosión en frío en navieras, con respecto al cambio de combustible.</p>

<p>E3:</p> <p>El problema con la corrosión en frío se ha presentado en los últimos tiempos en función al cambio de combustible que ha sido suscitado desde el constante cambio de combustibles en función a la disminución del porcentaje de azufre según las nuevas disposiciones IMO 2020. <u>El noviembre del 2021 tuvimos un problema en una de nuestras naves, específicamente en la camisa del cilindro. El cuál es provocado por el exceso de dióxido de azufre que no ha podido ser neutralizado por las bases del lubricante.</u></p>	<p>-Existen problemas de corrosión en frío, respecto a la formación de ácido sulfúrico en las camisas.</p>
<p>E4:</p> <p>La corrosión en frío es causada por la presencia de ácido sulfúrico en la parte que entra en contacto con la camisas del cilindro y también con los anillos del pistón, <u>e investigado sobre un caso que ocurrió en el año 2020 en el cuál se tenía un motor de 2 tiempos que mostro gran nivel de corrosión en frío</u>, esto se debió a que la tasa de alimentación de combustible no fue la óptima, también influye en ello el nivel de BN para poder neutralizar los ácidos producidos por la corrosión.</p>	<p>-Si hay casos de presencia de corrosión en frío, las cuáles son causadas por la presencia de ácido sulfúrico.</p>
<p>E5:</p> <p>Los casos de desgaste ocasionadas por las correcciones en frío, son cada vez más frecuentes, un caso que pueda ilustrar el tema, <u>fue en un buque que realiza cabotaje del transporte de hidrocarburos en el 2020, lo que conllevó al cambio de la camisa del cilindro, puesto que la corrosión ocasionada por el ácido sulfúrico fue tal que llegó a dejar inutilizable el pistón y la camisa.</u> Estudios desarrollados a este incidente, demostraron que el suministro de lubricación no fue el suficiente para poder limpiar los residuos de azufre.</p>	<p>-Se han observado casos de corrosión en frío, los cuáles fueron causadas por el nivel insuficiente de la tasa de alimentación.</p>

<p>E6:</p> <p>En las naves en las cuáles estuve navegando no he presenciado casos de corrosión en frio, no obstante <u>si he leído sobre informes técnicos en los cuáles se llegó a la conclusión de que el causante principal de este daño fue el exceso en la formación de ácido sulfúrico, y el lubricante usado no tenía un grado de BN acorde al combustible que estaba siendo utilizado,</u> por esta razón, se tiene que enfatizar en saber que lubricante usar en función al porcentaje de azufre contenido el combustible utilizado.</p>	<p>-Los daños ocasionados por la corrosión en frio fueron ocasionados por la selección inadecuada del lubricante.</p>
<p>E7:</p> <p><u>En mi última campaña navegando se presentó una explosión en el cilindro número 8, la causa fue que los gases de la combustión pasaron a través de los anillos de compresión a la cámara del cigüeñal y provocando la explosión antes mencionada.</u> Las causas que se dieron a conocer producto de las investigaciones fueron que las altas temperaturas de barrido provocaron una elevada condensación de vapor de agua, lo que ocasiono una mayor formación de ácido sulfúrico que no pudo ser neutralizada con el carbonato de calcio contenido en el lubricante, provocando así corrosión en frio los anillos.</p>	<p>-La corrosión en frio afecto de forma directa los anillos de compresión del motor, generando un terrible incidente e inutilizando la maquina principal.</p>
<p>E8:</p> <p>La formación de la corrosión en frío es producto de una mala selección del nivel de BN en los lubricantes, actualmente <u>no he presenciado un caso de formación de corrosión en mi nave, puedo dar información de que cada cierto periodo de trabajo,</u> se tiene que hacer un examen al lubricante con el fin de saber qué es lo que contiene este, si el nivel de BN del lubricante es bajo, entonces quiere decir que su vida útil está llegando a su fin y requiere de un cambio en el nivel del mismo.</p>	<p>-No se ha evidenciado casos de corrosión en frío, pero si se tiene conocimiento de las causas.</p>

<p>E9:</p> <p><u>La corrosión en frío ha afectado a una de nuestras naves de la empresa</u>, las causas principales son el bajo nivel de BN del lubricante utilizado, en el 2021 noviembre se identificó la corrosión que había desgastado los anillos y la camisa del cilindro, esto fue a causa de forma directa los ácidos producidos en la reacción química de la combustión.</p>	<p>-La correcta selección del lubricante es necesaria, utilizando un lubricante con un BN adecuado para el tipo de combustible usado.</p>
<p>E10:</p> <p>En la actualidad se puede evidenciar distintos casos de corrosión en frío en las navieras no solo del país, sino también en todo el mundo, una de las causas que ha acelerado los casos de formación de corrosión en frío, es la reducción de la velocidad de las naves, puesto que en la reducción de la velocidad conlleva a una disminución de la temperatura en la cámara de combustión, y por eso se condensa mayor cantidad de vapor de agua, generando así mayor reacción con el anhídrido y reaccionando formando ácido sulfúrico, el cuál es el principal causante de la corrosión en frío. <u>En la actualidad las naves en las que e navegado no han presentado aún los casos de corrosión en frío.</u></p>	<p>-No se ha evidenciado casos de corrosión en frío.</p>
<p>E11:</p> <p>La corrosión en frío es en parte del descuido en el mantenimiento que se les debe de dar a la maquina principal y al constante seguimiento de la calidad del lubricante. Como por ejemplo el análisis del aceite de drenaje (motores de 2 tiempos) los cuáles deben de llevarse a cabo por personal altamente capacitado, los principales indicios de corrosión en frío, se dan en los anillos del pistón. <u>En la actualidad venimos manejando la lubricación de nuestros motores con un óptimo número de BN por lo cual no hemos presenciado casos de corrosión en frío.</u></p>	<p>-No se ha presentado casos de corrosión en frío, puesto que se ha manejado un correcto uso del lubricante.</p>
<p><u>E12:</u></p>	<p>-Si ocurrió un incidente por la mala lubricación, pero aún no</p>

<p>El 2021 tuvimos un terrible incidente respecto a la corrosión en la <u>camisa del cilindro y también en los anillos del pistón</u>, luego de la investigación se llegó a la conclusión de que podría ser por la presencia de finos catalíticos y también en parte por la corrosión en frío, la cual es ocasionada por el ácido sulfúrico. Si fuese la segunda opción, entonces lo que fallo ahí fue la incorrecta selección del nivel de BN de la lubricación o el deficiente suministro de aceite a las partes que entran en contacto directo.</p>	<p>se sabe a ciencia cierta si fueron los finos catalíticos o la corrosión en frío.</p>
<p>E13:</p> <p>En mi experiencia como oficial <u>he podido evidenciar el desgaste ocasionado por la corrosión en frío, el cual el principal causante en su mayoría es el ácido sulfúrico, que no ha podido ser neutralizado con el carbonato de calcio</u>, también otras de las causas que he visto en mi experiencia es que las incorrecta lubricación, es decir tanto como en exceso como en déficit causan también corrosión adhesiva y también influyen en lo que respecta a corrosión en frío, puesto que para que exista corrosión en frío, primero debe de ocurrir la corrosión adhesiva y abrasiva.</p>	<p>-Si se ha evidenciado casos de corrosión en frío, a causa de los ácidos sulfúricos provocados por la combustión.</p>

<p>12.- ¿Cómo se podría manejar los problemas observados respecto a la corrosión en frío en motores marinos?</p>	
<p>Descripción de las entrevistas-grabaciones- anotaciones</p>	<p>Codificación (Unidades temáticas de significación)</p>
<p>E1:</p> <p>Bueno desde mi punto de vista, uno de las principales fuentes de corrosión que son producidos en los motores son a consecuencia de la acumulación de sulfatos que son producidos por la combustión de los gases, lo que conlleva a una posterior acumulación de ácidos alrededor de la cabeza del pistón, sin embargo, la forma de manejar este tipo de problemas es <u>supervisar la temperatura de ingreso del aire en la cámara de combustión, para evitar un condensación no deseable en las camisas de cilindro.</u></p>	<p>-Supervisar la temperatura de ingreso del aire en la cámara de combustión, para evitar una condensación no deseable en las camisas del cilindro.</p>

<p>E2:</p> <p>Considerando los procedimientos del proceso de combustión a bordo es importante mantener un control alto en relación al tipo de combustible que se está usando para determinar qué tipo de lubricante usar, esto dependerá del tipo de motor que se esté usando debido a que el sistema de lubricación es muy distinto. Ahora, <u>una de las formas de poder sobrellevar esto es realizando pruebas de aire en el sistema, para poder conocer el estado del fluido que se está produciendo, todo ello para evitar daños corrosivos en las paredes de la camisa donde está ubicado el cilindro.</u></p>	<p>-Una de las formas de poder sobrellevar esto es realizando pruebas de aire en el sistema para poder conocer el estado del fluido.</p>
<p>E3:</p> <p>Desde mi apreciación personal y lo que suelo hacer en estos tipos de casos, es mantener un constante monitoreo del tipo de lubricante que es usado, para determinar el tipo de BN que dispone, y sobre todo la alcalinidad, es por ello que se suele <u>enviar una muestra al laboratorio para poder conocer la compatibilidad o la relación estequiometría que tiene el combustible con el aire y verificar el correcto uso del tipo de lubricante.</u> En mi caso trato de enviar este tipo de muestras para no tener problemas futuros con todo el sistema.</p>	<p>-Enviar una muestra al laboratorio para conocer la compatibilidad o relación estequiometría que tiene el combustible con el aire, todo ello por medio del lubricante en uso.</p>
<p>E4:</p> <p>Considerando mi experiencia a bordo, los temas de lubricantes a bordo son fundamentales para evitar los rozamientos inadecuados entre las partes del motor principal. Para mí el sistema de <u>refrigeración de la camisas de cilindro</u> son fundamentales debido a que de condensarse en la cámara de combustión, se podría mezclar con los lubricantes, <u>lo cual podrían generar sulfatos de hierro, para su posterior corrosión como del pistón entre otros,</u> sin embargo considero que para controlar esto, se debe de disponer de un control con la temperatura del agua de barrido del revestimiento.</p>	<p>-Refrigeración de las camisas del cilindro.</p> <p>-De no producirse un buen control se podría generar excesos de sulfatos de hierro lo que traería corrosión.</p>

<p>E5:</p> <p>La corrosión en frío se debe al exceso de sulfatos y por medio de la acides que se forma es mezclada con la condensación del agua que es producida en la cámara de combustión, sin embargo es debido conocer que para evitar problemas futuros es recomendable realizar monitores constantes, como <u>la supervisión de los drenajes que se encuentren en buen estado, en una forma limpia y abiertos</u>, sin embargo se pueden encontrar taponeados o hasta se puede ver excesos de agua, por donde se debe de proceder a realizar un adecuado mantenimiento.</p>	<p>-La supervisión de los drenajes que se encuentren en buen estado en forma limpia y abiertos.</p>
<p>E6:</p> <p>En mi opinión la corrosión que se puede producir en la cámara de combustión es controlable por medio de las inspecciones que se pueden dar, o de acuerdo al plan de mantenimiento de cada unidad, sin embargo, <u>se tiene que realizar una verificación del tipo de lubricante que se está usando a fin de ver la alcalinidad</u>, y así evitar excesos de carbonato, así como falta de estos. Debido a que, la concentración de muchos componentes abrasivos puede deteriorar las partes del motor.</p>	<p>-Se tiene que realizar una verificación del tipo de lubricante que se está usando a fin de ver la alcalinidad.</p>
<p>E7:</p> <p>La presencia de la corrosión en frío o corrosión de las camisas de los motores marinos se debe al exceso de ácidos sulfúricos en la camisa de los cilindros, para poder manejar este tipo de problemáticas, <u>se debe de mantener un adecuado mantenimiento, así como revisar y realizar pruebas del colector de agua nebulizada</u> a fin de mantener una correcta combustión. Es por ello que desde mi punto de vista la mejor forma de mantener a un motor en óptimas condiciones son las revisiones constantes.</p>	<p>-Se debe de mantener un adecuado mantenimiento, como pruebas del colector de agua nebulizada.</p>

<p>E8:</p> <p>Para mí, el control de los problemas de corrosión en frío son determinados por el cambio de velocidad que se realiza y sobre todo por las rutas en zonas húmedas, es por ello que por recomendación del fabricante se puede conocer que los lubricantes deberían de disponer de una variación en el BN, es como ingresar una semana con un bajo BN del lubricante y a la próxima con un BN alto, es por ello que para conocer cómo se encuentra el lubricante es necesario <u>realizar pruebas de drenaje así como mantener en un equilibrio de las temperaturas del agua de barrido del revestimiento.</u></p>	<p>-Realizar pruebas de drenaje así como mantener un equilibrio de la temperatura del agua de barrido del revestimiento.</p>
<p>E9:</p> <p>Considero que los problemas que son generados por la corrosión en frío deberá de ser manejada por medio de las inspecciones o mantenimientos que son realizados en forma constante, además se tendrá mucho cuidado cuando se navega por zonas húmedas debido a que generan alteraciones en el aire de barrido, es por ello que <u>el sistema de refrigeración del sistema de lubricación es importante, permitiendo el aumento de la temperatura de la superficie de revestimiento y la disminución del contenido de agua del aire de barrido.</u></p>	<p>-El sistema de refrigeración es importante debido a que permite a la temperatura de la superficie del revestimiento y la disminución del contenido de agua del aire de barrido.</p>
<p>E10:</p> <p>Considerando que la corrosión en frío está determinada por el punto de rocío que es producido en la cámara de combustión por medio de la baja presión que es ejercida y todo ello para poder cumplir con los parámetros establecidos por el EEDI y nuevas regulaciones para proporcionar menos contaminantes, sin embargo una manera de poder solucionar <u>todo estos detalles van en referencia con el monitoreo y mantenimiento de los sistemas preventivos para aliviar los daños o consecuencias a futuros casos.</u></p>	<p>-Los detalles van en referencia con el monitoreo y mantenimiento de los sistemas preventivos para aliviar los daños o consecuencias a futuros casos.</p>

<p>E11:</p> <p>La corrosión generada en la cámara de combustión a consecuencia de la formación de ácidos del proceso de combustión, los cuales producen ácidos sulfúricos provocan el desgaste o deterioro del revestimiento de la camisa, lo que generaría un reemplazo costoso. Las nuevas regulaciones plantean cambios en el proceso de combustión, los cuales realizan cambios de diseños, es por ello que lo que se debe de hacer es <u>realizar monitoreo constantes porque los nuevos diseños de motor tienden a causar corrosión por las altas presiones y temperaturas de operación bajas.</u></p>	<p>-Realizar monitoreo constantes a los nuevos diseños de motor porque tienden a causar corrosión por las altas presiones y temperaturas de operación baja.</p>
<p>E12:</p> <p>En mis años como marino mercante he observado muchos casos que influyen en la corrosión en frio que son generados en el motor, sin embargo, <u>existen muchas alternativas de prevención de corrosión en frio, los cuales incluyen el combustible con bajo contenido de azufre, los conocidos quemadores de bajo exceso de aire, así como diferentes aditivos usados en los lubricantes como en los combustibles, y por último, las cámaras de combustión de lecho fluidizado.</u></p>	<p>-Alternativas de prevención de corrosión en frio, como el tipo de combustible usado, los aditivos usados en los lubricantes y en el mismo combustible, así como cambios en la cámara de combustión de lecho fluidizado.</p>
<p>E13:</p> <p>Respondiendo a tu pregunta, uno de los métodos de prevención es reducir los excesos de flujos de aire para poder reducir la formación de trióxido de azufre que hacen que se creen placas de corrosión en la misma camisa, por otro lado, el bajo contenido de azufre es importante en la corrosión en frío, debido a que a falta de ácidos sulfúricos existiría menor riesgo de producirse capas corrosivas. Por otro lado, <u>la corrosión en frio se manejará y dependerá de la edad de los componentes del motor, así como la condición climática, el lugar por donde se está navegando entre otros.</u></p>	<p>-La corrosión en frío se manejará y dependerá de la edad de los componentes del motor, así como la condición climática, el lugar por donde se está navegando entre otros.</p>

**-Daños por excesiva lubricación**

13.- ¿Qué acciones se pueden establecer a bordo para reducir daños por excesiva lubricación?	
Descripción de las entrevistas-grabaciones-annotaciones	Codificación (Unidades temáticas de significación)
<p>E1:</p> <p>Bueno lo que tengo entendido es que <u>el exceso de lubricación en los motores de cuatro y dos tiempos daña los anillos y camisas</u> conduciendo a daños graves como la reconstrucción del cilindro en su totalidad, es por eso que se debe <u>consultar constantemente a los proveedores de lubricantes y motores sobre el correcto uso de aceites de lubricación de cilindros</u> apropiados con aditivos detergentes y dispersantes para minimizar el riesgo en las diferentes piezas metálicas del motor.</p>	<p>-El exceso de lubricación en los motores de cuatro y dos tiempos daña los anillos y las camisas.</p> <p>-Consultar a los proveedores de lubricantes y motores sobre el correcto uso de lubricantes.</p>
<p>E2:</p> <p><u>El BN utilizado en los lubricantes que empleamos en los barcos normalmente están por debajo de lo que se venía utilizando anteriormente</u>, es por eso que las <u>empresas de motores y otras deben realizar un seguimiento a las tendencias de desgaste y reparación de los motores</u> para que estos tengan una larga vida útil y así las empresas navieras puedan ahorrar en el aspecto económico.</p>	<p>-El BN utilizado en los lubricantes que empleamos en la nave están por debajo de lo que se venía utilizando anteriormente.</p> <p>-Las empresas de motores y otras deben realizar un seguimiento a las tendencias de desgaste y reparación de los motores.</p>

<p>E3:</p> <p>Las acciones que se deben tomar con respecto a la excesiva lubricación de aceites para los motores es que se <u>realicen constantes capacitaciones al departamento de máquinas por parte de la empresa naviera con respecto al funcionamiento y mantenimiento de motores</u> para así alargar la vida útil de los motores de los barcos.</p>	<p>-Realizar capacitaciones al departamento de máquinas por parte de la empresa naviera con respecto al funcionamiento y mantenimiento de los motores.</p>
<p>E4:</p> <p>A lo largo de mis años de experiencia como jefe de máquinas puedo decir y dar fe <u>que los lubricantes para los motores de dos y cuatro tiempos son importantes debido a que se puede alargar la vida útil a las diferentes piezas metálicas de los motores</u> es por eso las empresas de <u>motores deben realizar seguimiento a las tendencias de desgaste y reparación de los motores y así mismo capacitar o dar charlas con respecto a la cantidad necesaria de aceite de lubricante para los motores de un barco.</u></p>	<p>-Los lubricantes son importantes para las piezas metálicas de los motores.</p> <p>-Las empresas que fabrican motores deben realizar un seguimiento a las tendencias de desgaste y reparación de los motores.</p>
<p>E5:</p> <p>En mi opinión personal puedo decir que el excesivo aceite de lubricación para los motores puede dañar los anillos y camisa de los motores conduciendo daños graves como por ejemplo la reconstrucción del cilindro. El exceso de BN y la formación de depósitos pueden ser perjudiciales de múltiples y complejas formas y una de las acciones que se puede realizar es <u>consultar y seguir las indicaciones de los fabricantes de motores con respecto de los aceites de lubricación de cilindros con aditivos detergentes y dispersantes</u> apropiados para minimizar el riesgo de problemas suscitados en los motores de dos y cuatro tiempos.</p>	<p>-Seguir las indicaciones de los fabricantes de motores con respecto a los aceites de lubricantes.</p>

<p>E6:</p> <p>Desde mi punto de visto puedo decir que los aceites de lubricación usados hoy en día para los motores de barcos son más delicados porque se utiliza un combustible con más bajo contenido de azufre, es por eso que se debe tener cuidado con los aceites de lubricación, para poder minimizar los daños se debe realizar <u>constante mantenimiento a los motores y se debe tener claro las especificaciones de los lubricantes para que el departamento de máquinas sepa operar correctamente los motores.</u></p>	<p>-Se debe realizar constante mantenimiento a los motores y se debe tener claro las especificaciones de los lubricantes por parte del departamento de máquinas.</p>
<p>E7:</p> <p>En los buques que he estado en esta compañía, la gran mayoría utiliza lubricantes de bajo BN porque la llegada de los combustibles de bajo contenido de azufre lo demanda, es por eso que las empresas de motores <u>deben dar capacitaciones a todo el personal que está en contacto con la manipulación de los motores (Oficiales de máquinas), para que no ocurran daños graves en las partes metálicas de estos.</u></p>	<p>-Realizar capacitaciones al personal de máquinas sobre los motores y los aceites a usarse para que no ocurran daños graves.</p>
<p>E8:</p> <p>Los lubricantes utilizados en los buques de la compañía son en su mayoría de un BN bajo, alrededor de 40, por otro lado, este nivel de BN es utilizado debido a que el combustible con bajo contenido de azufre no demanda un grado de neutralización elevado, ante esto una de las acciones que se debe implementar <u>es tener un asesoramiento sobre el funcionamiento y mantenimiento de los motores y condiciones de funcionamiento específicos de los barcos para así usar un lubricante adecuado en los motores marinos.</u></p>	<p>- Tener asesoramiento sobre el funcionamiento y mantenimiento de los motores y condiciones de funcionamiento específicos de los barcos.</p>

<p>E9:</p> <p>Con respecto a tu pregunta con el uso generalizado de VLSFO, la cantidad de aceite de cilindro BN que se introduce en el cilindro debe ser relativamente baja en comparación con la experiencia anterior con HFO, para así poder contrarrestar daños en los anillos y camisas de los motores marinos, es por tal razón que <u>se debe consultar con los proveedores de lubricantes y motores del barco para poder tener un mayor conocimiento sobre el uso de los aceites de lubricación y así poder minimizar los problemas en los motores de la maquina principal y generadores del buque.</u></p>	<p>-Se debe consultar con los proveedores de lubricantes y motores del barco para poder tener mayor conocimiento sobre el uso de aceites de lubricación.</p>
<p>E10:</p> <p>Hablando de lubricantes, en el buque utilizamos dos tipos de lubricantes, para la lubricación del pistón y del cilindro, y otro para la lubricación de las piezas móviles de la maquina principal como las que se pueden encontrar en el cárter, <u>los lubricantes a usarse en los sistemas de lubricación de la maquina principal son muy delicados</u>, es por eso que <u>los proveedores de lubricantes y motores el barco deben capacitar a los encargados de manipular estos equipos y dar los últimos alcances sobre los tipos de lubricantes para los motores marinos</u> que trabajan con un bajo contenido de azufre para así mantener una larga vida útil de estos equipos.</p>	<p>-Los lubricantes a usarse en los sistemas de lubricación son muy delicados.</p> <p>-Los proveedores de lubricantes y de los motores marinos deben capacitar a los encargados de manipular estos equipos.</p>
<p>E11:</p> <p>Bueno lo que tengo entendido es que <u>el exceso de lubricación en los motores de cuatro y dos tiempos daña los anillos y camisas</u> conduciendo a daños graves como la reconstrucción del cilindro en su totalidad, es por eso que se debe <u>consultar constantemente a los proveedores de lubricantes y motores sobre el correcto uso de aceites de lubricación de cilindros</u> apropiados con aditivos detergentes y dispersantes para minimizar el riesgo en las diferentes piezas metálicas del motor.</p>	<p>-El exceso de lubricación en los motores de cuatro y dos tiempos daña los anillos y las camisas.</p> <p>-Consultar a los proveedores de lubricantes y motores sobre el correcto uso de lubricantes.</p>

<p>E12:</p> <p>Con respecto a tu pregunta, te puedo decir que los motores de dos tiempos utilizan dos tipos de lubricantes y los de cuatro tiempos utilizan un solo lubricante, es por eso que se debe de manejar un alto conocimiento sobre estos tipos de aceites para los motores marinos, para así no dañar los anillos, pistón o camisas, <u>una de las acciones a tomar para minimizar este problema es capacitando a todos los oficiales de máquinas por parte de gente de hacen los lubricantes y los que fabrican los motores siguiendo sus recomendaciones al pie de la letra para si estos motores funcionen de manera óptima.</u></p>	<p>-Capacitar a todos los oficiales por parte de gente que elabora los lubricantes y los que fabrican los motores para así los motores funcionen de manera óptima.</p>
<p>E13:</p> <p>El lubricante juega un papel importante a la hora de querer alargar la vida útil del motor, hoy en día que se utiliza un combustible de bajo contenido de azufre ha obligado a la industria a adaptarse, diseñando nuevos lubricantes con un BN bajo, para no alcalinizar en exceso los ácidos generados por el azufre, lo cual sería dañino para la camisa del cilindro. <u>La empresa naviera debería prestar servicios de gente especializada en lubricantes para el asesoramiento y mantenimiento de los barcos.</u></p>	<p>-La empresa naviera debería prestar servicios de gente especializada en lubricantes.</p>

**-Insuficiente detergentes y dispersantes en la lubricación de cilindros**

<p>14.-¿Qué actividades se pueden realizar para minimizar problemas relacionadas con un insuficiente detergente y dispersante en la lubricación de cilindros?</p>	
<p>Descripción de las entrevistas-grabaciones- anotaciones</p>	<p>Codificación (Unidades temáticas de significación)</p>
<p>E1: Bueno, primeramente, hay ciertos problemas que pueden ser ocasionados por la insuficiencia de estas características de los aceites lubricantes, como por ejemplo los depósitos excesivos</p>	<p>-Exhaustiva revisión de los manuales y considerar las recomendaciones de los fabricantes, así como la</p>

<p>en el pistón, anillos y camisas. Para poder mitigar estos problemas, parte de los procedimientos de mantenimiento, consiste en una <u>exhaustiva revisión de los manuales y considerar las recomendaciones de los fabricantes</u>, así como la <u>elección de un buen aceite lubricante, de buena calidad y desarrollados</u> para el tipo de combustible que se usa.</p>	<p>elección de un buen aceite lubricante, de buena calidad y desarrollados.</p>
<p>E2:</p> <p>El cambio que se realiza en la actualidad de HFO a VLSFO trae muchas repercusiones con respecto a la formación de sedimentos o depósitos carbonosos en la camisa del pistón, incluso en el mismo pistón y sus anillos, es por eso que pienso que <u>se debería tener mayor consideración de la composición de los aceites lubricantes</u> así como en sus características, <u>manteniendo así los niveles de detergencia y dispersancia adecuadas</u>, y si es necesario cambiar de aceite lubricante con un nivel de características elevados y de BN mayor, pues se debería de analizar y discutir su implementación, pero cabe resaltar que un exceso en el BN causaría mayores problemas.</p>	<p>-Se debería tener mayor consideración de la composición de los aceites lubricantes, manteniendo así los niveles de detergencia y dispersancia adecuadas.</p>
<p>E3:</p> <p>Bueno, para ser sincero, las nuevas regulaciones 2020 sobre la reducción de azufre en la composición de los lubricantes, trae consigo múltiples repercusiones y problemas en la maquina principal y en su funcionamiento, los cuales son tratados de forma individual por las compañías tanto de los lubricantes y de combustible puesto que uno corresponde al otro, los motores marinos, han sido diseñados para trabajar con cierto tipo de combustible y al cambiarle, <u>muchas de las operaciones deben de cambiar, incluso los aditivos que llevan los aceites lubricantes</u>, como por ejemplo la detergencia y dispersancia, que son características principales para una limpieza de depósitos formados por la oxidación causada por el azufre y mantener los compuestos carbonosos suspendidos para evitar ser adheridos al pistón o camisas de cilindro.</p>	<p>-Muchas de las operaciones deben de cambiar debido a la concentración de azufre que tienen los combustibles en la actualidad, incluso los aditivos que llevan los aceites lubricantes.</p>

<p>E4:</p> <p>Las actividades que se pueden realizar para amortiguar los problemas causados por la insuficiencia de detergencia y dispersancia, sería <u>conseguir aceites lubricantes de mejor calidad, los cuales sean adecuados al tipo de combustible que se esté usando, el mantenimiento de los componentes del motor principal, deben de ser cuidadosos y minuciosos, además la compañía debería de apoyar en la búsqueda o reformulación para mejorar la composición de los lubricantes que se encuentran en el mercado hoy en día.</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Conseguir aceites lubricantes de mejor calidad, los cuales sean adecuados al tipo de combustible que se esté usando.</li> <li>-Mantenimiento cuidadoso y minucioso.</li> <li>-Apoyar en la búsqueda o reformulación para mejorar la composición de los lubricantes que se encuentran en el mercado hoy en día.</li> </ul>
<p>E5:</p> <p>Considerando el tipo de combustible actual que se debe de usar de acuerdo a las ultimas regulaciones de reducción de azufre, se pueden identificar múltiples cambios para el mantenimiento y funcionamiento de los motores diésel marinos, estas normas inciden en la elección de nuevos aceites lubricantes, ya que al hacer el cambio de HFO a VLSFO, los lubricantes a usar son distintos, y la principal diferencia es el nivel de BN, el cual regula la acidificación de los combustibles, adicional a ello <u>se tiene que tener en cuenta las propiedades al elegir un lubricante, tiene que ser uno aceptado por la administración y además de buena calidad para garantizar que no se formen sedimentos en los pistones, anillos y el los cilindros.</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tener en cuenta las propiedades al elegir un lubricante, tiene que ser uno aceptado por la administración y además de buena calidad para garantizar que no se formen sedimentos en los pistones, anillos y el los cilindros.</li> </ul>

<p>E6:</p> <p>Desde mi punto de vista, unos de las principales actividades para mitigar la formación de depósitos en la maquina principal es <u>considerar las nuevas tecnologías de lubricantes que podrían ayudar a eliminar estas formaciones</u>, es por ello que las compañías de lubricantes, las navieras y las organizaciones deben de trabajar de la mano para poder hacer frente a esta problemática, puesto que generan grandes pérdidas económicas.</p>	<p>-Considerar las nuevas tecnologías de lubricantes que podrían ayudar a eliminar formaciones carbonosas.</p>
<p>E7:</p> <p>Para minimizar estos problemas, los operadores deben de tener claro todos estos aspectos característicos de los aceites lubricantes, tanto la detergencia y la dispersancia, <u>los aceites que sean suministrados para la lubricación de la maquina principal debe de cumplir su función de suspender las partículas carbonosas y de la neutralizar los compuestos que causan la acidificación en los componentes internos</u> de la máquina.</p>	<p>-Los aceites que sean suministrados para la lubricación de la maquina principal debe de cumplir su función de suspender las partículas carbonosas y de la neutralizar los compuestos que causan la acidificación en los componentes internos de la máquina.</p>
<p>E8:</p> <p>Los aceites lubricantes tienen características específicas que lo hacen esenciales para el correcto funcionamiento de la maquina principal, es por tal motivo <u>que la elección de un buen aceite, de buena calidad con detergencia y dispersancia adecuada para el tipo de combustible usados, es vital</u>. Muchas veces al cambiar el aceite lubricante con diferentes aditivos, causará ciertos estragos, es por eso que se deberá llevar un análisis previo para la correcta elección.</p>	<p>-La elección de un buen aceite, de buena calidad con detergencia y dispersancia adecuada para el tipo de combustible usados, es vital.</p>

<p>E9:</p> <p>La lubricación de los motores marinos son distintos en cuestiones de aceites usados para dicho fin, en el caso de su pregunta, sobre los aceites lubricantes para los cilindros, cabe decir que <u>la importancia de la lubricación y la constante búsqueda de tecnologías de mejora, hacen que se opte por nuevas formulaciones mejoradas de los aceites lubricantes para cilindros</u>, ya que al usar combustibles con bajo contenido de azufre hace que BN de los aceites lubricantes también sea menor, es por eso que se forman depósitos carbonosos en los compuestos de la máquina principal.</p>	<p>-La importancia de la lubricación y la constante búsqueda de tecnologías de mejora, hacen que se opte por nuevas formulaciones mejoradas de los aceites lubricantes para cilindros.</p>
<p>E10:</p> <p>Los problemas tanto de finos catalíticos, ceras parafinas y ahora la formación de depósitos carbonosos, son productos de las nuevas medidas que se toman para cumplir las regulaciones internacionales sobre la reducción de azufre, en cuanto a las actividades que se pueden realizar para mitigar el problema en los cilindros, podría ser <u>cambiar de aceite lubricante que contenga en su composición diferentes aditivos que ayuden a reducir la formación de depósitos excesivos en el pistón, anillos y camisa</u>.</p>	<p>-Cambiar de aceite lubricante que contenga en su composición diferentes aditivos que ayuden a reducir la formación de depósitos excesivos en el pistón, anillos y camisa.</p>
<p>E11:</p> <p><u>El problema por lubricación en los cilindros, puede ser mitigado si se realiza una buena administración y control de los aceites lubricantes, se por ello que se debe de mantener dichos procesos y estar sujetos a mejora para así elegir un buen aceite lubricante, con buen nivel de detergencia y dispersancia.</u></p>	<p>-Elegir un buen aceite lubricante, con buen nivel de detergencia y dispersancia.</p>
<p>E12:</p> <p>La lubricación de los cilindros debe de seguir de acuerdo al manual del fabricante, y totalmente evaluado por los operadores de los buques mercantes y por tierra, por tal motivo, <u>la elección de los aceites lubricantes de ser de acuerdo al tipo de combustible usado, además de tener en</u></p>	<p>-La elección de los aceites lubricantes de ser de acuerdo al tipo de combustible usado,</p>

<p><u>cuenta la detergencia y dispersancia de los aceites</u>, lo cual determina que no se formen depósitos carbonosos en los pistones, camisa del cilindro y anillos de los pistones.</p>	<p>además de tener en cuenta la detergencia y dispersancia de los aceites.</p>
<p>E13:</p> <p>Para minimizar esta problemática con respecto a la lubricación de los cilindros, de debe de <u>suministrar un correcto aceite lubricante, correspondiente al tipo de combustible que se usa, además de la calidad y control de aditivos que determinan la detergencia y dispersancia</u>, esenciales para evitar la formación de depósitos y de barniz.</p>	<p>-Suministrar un correcto aceite lubricante, correspondiente al tipo de combustible que se usa, además de la calidad y control de aditivos que determinan la detergencia y dispersancia.</p>

**-Finos catalíticos**

<p>15.-¿Ha tenido algún problema relacionado con finos catalíticos?</p>	
<p>Descripción de las entrevistas-grabaciones-annotaciones</p>	<p>Codificación (Unidades temáticas de significación)</p>
<p>E1:</p> <p>Según mi experiencia, los finos catalíticos no han sido muy presenciados en los buques donde he laborado, sin embargo, <u>he podido ver algunos reportes de algunos fabricantes de motores como Watsila y MAN, donde los finos catalíticos han afectado seriamente a la máquina principal, específicamente en las piezas de la unidad</u>, como pistones y camisas, en las cuales</p>	<p>-He podido ver algunos reportes de algunos fabricantes de motores como Watsila y MAN, donde los finos catalíticos han afectado</p>

<p>se ha visto un desgaste abrasivo generalizado y crítico, casi como si no hubiera tenido ningún tipo de lubricación, lo cual llama mucho la atención, debido a esta problemática actual, es importante que los oficiales de ingeniería posean un conocimiento sobre estas anomalías causadas por los combustibles con bajo contenido de azufre por debajo de 0.5%.</p>	<p>seriamente a la máquina principal, específicamente en las piezas de la unidad.</p>
<p>E2:</p> <p>A decir verdad, no estoy seguro si los siguientes problemas están relacionados a los finos catalíticos, sin embargo, pude evidenciar ciertos desperfectos en relación a los filtros de vela, los cuales mostraban una saturación inusual, a lo que se limpiaban constantemente por tener impurezas, y en lo que a mí respecta, los finos catalíticos son partículas pequeñas que la gran mayoría se quedan en estos filtros. No estoy al 100% seguro, pero <u>siento una fuerte sospecha que dicha saturación de filtros fue a raíz de la excesiva presencia de estas partículas en el combustible</u> debido a que en el proceso de crackeo catalítico realizado en las refinerías, los finos catalíticos son los más utilizados para reducir el azufre en los combustibles.</p>	<p>-Siento una fuerte sospecha que dicha saturación de filtros fue a raíz de la excesiva presencia de estas partículas en el combustible.</p>
<p>E3:</p> <p><u>En relación a los finos catalíticos específicamente no. En realidad, los defectos que pude evidenciar dentro de la maquina principal fue un conglomerado de situaciones que se presentaron por la utilización de un combustible con bajo contenido de azufre</u> como por ejemplo una deficiencia en la lubricación del cilindro y del pistón, formación de lodos dentro de los anillos de pistón, saturación de filtro y otras condiciones que eran inusuales y que recién pude evidenciar al propulsar netamente con combustibles de 05% de azufre.</p>	<p>-En relación a los finos catalíticos específicamente no. En realidad, los defectos que pude evidenciar dentro de la máquina principal fue un conglomerado de situaciones que se presentaron por la utilización de un combustible con bajo contenido de azufre.</p>

<p>E4:</p> <p><u>En realidad, no, debido a que en mi buque se propulsaba con residual 3.5 % por tener instalada una torre de lavado para los gases de escape, lo cual exoneraba a la embarcación de utilizar un combustible reglamentario de menos contenido de azufre.</u></p>	<p>-En realidad, no, debido a que en mi buque se propulsaba con residual 3.5 %.</p>
<p>E5:</p> <p>Algunos de los buques de la compañía poseen torres de lavado para los gases de escape provenientes de la combustión, es por esa razón que no propulsan con un combustible de bajo contenido de azufre según las normas OMI 2020. <u>Sin embargo, algunos colegas me han comentado que los finos catalíticos han sido causantes de daños a las unidades, en las cuales incluso han terminado en explosiones por la filtración de gases de la combustión al cárter o a otras partes donde es muy peligrosa la presencia de estos gases. Es importante que los ingenieros conozcan esta problemática para evitar estos accidentes que pueden ser mortales para la tripulación.</u></p>	<p>-Sin embargo, algunos colegas me han comentado que los finos catalíticos han sido causantes de daños a las unidades, en las cuales incluso han terminado en explosiones por la filtración de gases de la combustión.</p>
<p>E6:</p> <p><u>Sinceramente, todavía no se ven estas afectaciones a la maquina principal por la utilización de los combustibles de bajo contenido de azufre en los buques de la compañía. Sí tengo conocimiento respecto a la utilización de finos catalíticos para reducir el porcentaje de azufre en el combustible, sin embargo, todavía no he podido evidenciar alguna repercusión negativa a las piezas del motor o a otros equipos que utilizan este combustible.</u></p>	<p>-Todavía no se ven estas afectaciones a la máquina principal por la utilización de los combustibles de bajo contenido de azufre en los buques de la compañía.</p>

<p>E7:</p> <p><u>No. En mi experiencia a bordo no he podido ver algún fallo que se haya evidenciado la influencia de los finos catalíticos</u>, una vez tuvimos que hacer un overhaul a 2 unidades de la máquina principal, en la cual se vio un desgaste abrasivo severo, a lo que yo pensé que podría haber sido causa de los finos catalíticos, sin embargo, las pruebas de laboratorio y las indagaciones hechas por los representantes del fabricante, arrojaron los resultados en los cuales se exponía que dicha abrasión excesiva se debió a un lubricante que no cumplía las funciones principales de lubricidad a las piezas del motor.</p>	<p>-No. En mi experiencia a bordo no he podido ver algún fallo que se haya evidenciado la influencia de los finos catalíticos.</p>
<p>E8:</p> <p><u>Desde mi experiencia, considero que las repercusiones generadas por los finos catalíticos no han sido ampliamente descritas como para conocer a ciencia cierta la procedencia de estas repercusiones negativas</u>, por lo tanto, considero que los finos catalíticos no han sido fuentes directas de daños a la máquina principal o a diferentes equipos.</p>	<p>-Desde mi experiencia, considero que las repercusiones generadas por los finos catalíticos no han sido ampliamente descritas como para conocer a ciencia cierta la procedencia de estas repercusiones negativas.</p>
<p>E9:</p> <p><u>Los finos catalíticos como tales no han generado daño específico respecto a la utilización de combustibles con bajo contenido de azufre</u>, sin embargo, tengo conocimiento que sí pueden ocasionar afectaciones a la máquina.</p>	<p>-Los finos catalíticos como tales no han generado daño específico respecto a la utilización de combustibles con bajo contenido de azufre.</p>

<p>E10:</p> <p><u>No he podido evidenciar alguna repercusión relacionada a los finos catalíticos debido a que las fallas anómalas</u> que se han originado en la maquina principal guardan relación con desperfectos o negligencias en el mantenimiento de las unidades.</p>	<p>-No he podido evidenciar alguna repercusión relacionada a los finos catalíticos debido a que las fallas anómalas.</p>
<p>E11:</p> <p><u>No he podido presenciar o saber a cabalidad si algunas afectaciones de la máquina fueron a causa de los finos catalíticos,</u> debido a que cuando hubo una anomalía respecto al funcionamiento del motor, los diferentes análisis no mostraban relación alguna con la presencia de los finos catalíticos.</p>	<p>-No he podido presenciar o saber a cabalidad si algunas afectaciones de la máquina fueron a causa de los finos catalíticos.</p>
<p>E12:</p> <p>Bueno, <u>algunas de las repercusiones que he podido evidenciar están relacionadas con la pérdida de propiedades que sufría el lubricante como la viscosidad, la capacidad de detergencia y dispersancia, cualidades que identifican un buen lubricante.</u> Por otro lado, también he notado cierto desgaste abrasivo que se corresponde con algunas repercusiones que pude conocer a través de publicaciones de MAN o el CIMAC, las cuales hacían alusión a la incrustación de zeolitas en la camisa del pistón.</p>	<p>-Algunas de las repercusiones que he podido evidenciar están relacionadas con la pérdida de propiedades que sufría el lubricante como la viscosidad, la capacidad de detergencia y dispersancia, cualidades que identifican un buen lubricante.</p>
<p>E13:</p> <p>Bueno, en mi buque han pasado algunos incidentes relacionados con la falta de lubricación de las unidades del motor principal, <u>pero que no se ha logrado determinar si verdaderamente se corresponden a situaciones generadas por la presencia de aluminosilicatos.</u> Es difícil de</p>	<p>-Pero que no se ha logrado determinar si verdaderamente se corresponden a situaciones</p>

determinar debido a que no poseen una distribución homogénea en el combustible, lo cual puede dar falsas lecturas respecto a las pruebas realizadas por los laboratorios.	generadas por la presencia de aluminosilicatos.
---	---

16.-¿Cómo se puede manejar la problemática con respecto a la aparición de finos catalíticos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre?	
Descripción de las entrevistas-grabaciones-annotaciones	Codificación (Unidades temáticas de significación)
E1:  Considero que se mejoraría de una manera eficiente si es que se tuviera un sistema de limpieza mejorado del combustible, con filtros más sofisticados que puedan capturar los residuos, bombas centrífugas que tengan la potencia para separar los contaminantes del combustible, <u>además, es importante detectar cuando un combustible está contaminado por finos catalíticos, cuando esta situación se presenta, dicho combustible contaminado debe ser inmediatamente retirado.</u>	-Además, es importante detectar cuando un combustible está contaminado por finos catalíticos, cuando esta situación se presenta, dicho combustible contaminado debe ser inmediatamente retirado.
E2:  En mi opinión, habiendo presenciado que los combustibles con bajo contenido de azufre pueden contener finos catalíticos en abundancia, es imperativo poder hacer una limpieza de los diferentes tanque de almacenamiento que se emplean para el acopio del combustible menor de 0.5% en azufre, además de los tanque de sedimentación y por otro lado, <u>los componentes que mantienen contacto con el combustible como los filtros y bombas para mejorar la eficiencia de la limpieza dentro de lo relacionado al manejo del combustible.</u>	-Los componentes que mantienen contacto con el combustible como los filtros y bombas para mejorar la eficiencia de la limpieza dentro de lo relacionado al manejo del combustible.

<p>E3:</p> <p>En mi opinión, si se detecta la presencia de finos catalíticos dentro del sistema de combustible, más que una limpieza a fondo, <u>consideraría en hacer el cambio pertinente y oportuno de las piezas del motor o de los componentes afectados dentro de la maquinaria principal y el sistema de combustible</u> dentro del buque para los diferentes equipos, debido a que si ya han sido dañados, sería más práctico y eficaz hacer el cambio respectivo tomando en cuenta el peligro que pueden representar los finos catalíticos.</p>	<p>-Consideraría en hacer el cambio pertinente y oportuno de las piezas del motor o de los componentes afectados dentro de la maquinaria principal y el sistema de combustible.</p>
<p>E4:</p> <p>Respecto al manejo de la problemática ocasionada por los finos catalíticos, más allá de las preventivas, para la contención de esta situación <u>es importante aplicar un mecanizado de piezas, en el cual se pueda modelar y ajustar las piezas para que de esa manera pueda cumplir condiciones idóneas para la eliminación del exceso de finos catalíticos</u>, a este proceso es conocido como fabricación sustractiva, de esta manera se puede manejar la aparición de finos catalíticos.</p>	<p>-Es importante aplicar un mecanizado de piezas, en el cual se pueda modelar y ajustar las piezas para que de esa manera pueda cumplir condiciones idóneas para la eliminación del exceso de finos catalíticos.</p>
<p>E5:</p> <p>Es importante desde mi punto de vista, mantener una comprobación idónea de los resultados de la limpieza generada, es decir, <u>mantener un monitoreo constante del grado de limpieza dentro del sistema de combustible para obtener un funcionamiento óptimo durante la operación de los motores</u>.</p>	<p>-Considero que el establecimiento de procedimientos diarios basados en altos estándares en relación a limpieza, vigilancia, manejo y análisis del combustible es importante para poder combatir esta nueva problemática que se origina a través de la utilización de los nuevos combustibles de bajo contenido de azufre.</p>

<p>E6:</p> <p>Es importante desde mi punto de vista, mantener una comprobación idónea de los resultados de la limpieza generada, es decir, <u>mantener un monitoreo constante del grado de limpieza dentro del sistema de combustible para obtener un funcionamiento óptimo durante la operación de los motores.</u></p>	<p>-Mantener un monitoreo constante del grado de limpieza dentro del sistema de combustible para obtener un funcionamiento óptimo durante la operación de los motores.</p>
<p>E7:</p> <p>Considero que la clave para reducir o controlar esta problemática que se viene dando con los combustibles con bajo contenido de azufre está principalmente enfocada en cómo se puede mejorar la limpieza del combustible y su purificación, para lo cual considero pertinente que se pueda hacer un cambio de posición de algunas piezas dentro del sistema de purificación del combustible, concretamente en <u>la posición del homogeneizador de combustible, el cual no debería ser instalado antes del separador, sino entre el separador y el filtro de combustible, lo cual propiciara una mejor calidad de limpieza y extracción de agua del combustible.</u></p>	<p>-La posición del homogeneizador de combustible, el cual no debería ser instalado antes del separador, sino entre el separador y el filtro de combustible, lo cual propiciara una mejor calidad de limpieza y extracción de agua del combustible.</p>
<p>E8:</p> <p>Considero que la mejor metodología para poder combatir la acumulación de finos catalíticos en el sistema de combustible <u>es la limpieza y la detección temprana de la contaminación de finos catalíticos, de esta manera considero que se podrá minimizar las afectaciones de estos componentes utilizados por las refinerías</u> en el proceso de desulfuración del combustible para cumplir con la normativa OMI 2020.</p>	<p>-Es la limpieza y la detección temprana de la contaminación de finos catalíticos, de esta manera considero que se podrá minimizar las afectaciones de estos componentes utilizados por las refinerías.</p>

<p>E9:</p> <p>Debido a la ya concurrida problemática que se viene desarrollando a raíz de la utilización de los combustibles con bajo contenido de azufre, <u>una opción para poder controlar la aparición de los finos catalíticos, es la remoción del combustible donde se haya detectado la presencia de los mismos</u>, es una tarea un poco complicada debido que se encuentran heterogéneamente dispersos dentro del combustible, lo cual genera que algunos análisis de las muestras enviadas al laboratorio no permitan establecer a ciencia cierta la existencia de los mismos en el combustible.</p>	<p>-Una opción para poder controlar la aparición de los finos catalíticos, es la remoción del combustible donde se haya detectado la presencia de los mismos.</p>
<p>E10:</p> <p>He podido evidenciar que una estrategia que puede mejorar el manejo de estos contaminantes provenientes de los combustibles puede ser la ubicación o la reubicación de algunos elementos dentro del sistema de purificación del combustible, como podría ser el homogeneizador de combustible, el cual podría desempeñar una mejor función en la cual sí se pueda remover el agua y partículas contaminantes del combustible, <u>la mejor posición para el mismo sería entre el filtro de combustible y el separador, los cual mejorara la eficiencia del sistema.</u></p>	<p>-La mejor posición para el mismo sería entre el filtro de combustible y el separador, los cual mejorara la eficiencia del sistema.</p>
<p>E11:</p> <p>Considero que los procesos que pueden mejorar el manejo de esta problemática están relacionados a el almacenamiento del nuevo combustible que se recibe, <u>por ejemplo que sea recepcionado en tanques vacíos y que no se mezcle con otros combustibles para evitar la inestabilidad del mismo que pueda ocasionar problemas más graves</u> que puedan afectar no solo a la maquina principal sino también a la seguridad de los operadores dentro del buque, también sería importante considerar otros procesos relacionados al manejo del combustible.</p>	<p>-Por ejemplo, que sea recepcionado en tanques vacíos y que no se mezcle con otros combustibles para evitar la inestabilidad del mismo que pueda ocasionar problemas más graves.</p>
<p>E12:</p>	

<p>Desde mi punto de vista ordenaría al departamento de máquinas que <u>se limpie los tanques de sedimentación y servicio durante el dique seco para hacer frente a cualquier acumulación a largo plazo de finos catalíticos y sedimentos en el fondo de los tanques de almacenamiento de fueloil</u>, debido a que es importante erradicar la sedimentación de estos aluminosilicatos dentro de los sistemas del buque.</p>	<p>-Se limpie los tanques de sedimentación y servicio durante el dique seco para hacer frente a cualquier acumulación a largo plazo de finos catalíticos y sedimentos en el fondo de los tanques de almacenamiento de fueloil.</p>
<p>E13:</p> <p>Como recomendación para el manejo de los finos dentro del sistema de combustible, <u>consideraría que los purificadores deben abrirse para su limpieza en los intervalos programados recomendados por los fabricantes, o con mayor frecuencia si se sospecha que la calidad del combustible es deficiente</u>. Los buques deben mantener a bordo las piezas de repuesto necesarias para evitar sobrecostos y estadías que puedan comprometer los objetivos comerciales de la embarcación.</p>	<p>-Consideraría que los purificadores deben abrirse para su limpieza en los intervalos programados recomendados por los fabricantes, o con mayor frecuencia si se sospecha que la calidad del combustible es deficiente.</p>

**Teorización parcial sobre el tercer objetivo específico:** Básicamente las problemáticas que involucran el uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación están relacionadas con la corrosión en frío; los daños por excesiva lubricación; insuficiente detergentes y dispersantes en la lubricación de cilindros y los finos catalíticos.

-Con respecto a la corrosión en frío, la cual se suele dar en gran mayoría en motores de dos tiempos, para cumplir con las nuevas regulaciones medioambientales, los cilindros del motor están operando a presiones más altas junto con temperaturas de operación reducida. Dicha situación crea condiciones por debajo del punto de rocío que permite la condensación de agua en las paredes del revestimiento de cilindro, cuyo efecto al combinarse con el azufre producido en el proceso de combustión y en consecuencia la formación de ácido sulfúrico conduce al desgaste de las camisas de los cilindros. Se sabe que la corrosión en frío tiende a ser más evidente en los últimos diseños de motores, sin embargo, también afectan a motores antiguos ya que se modificaron para funcionar con carga parcial o carga baja (navegación lenta). Entre algunas de las acciones que se deben tomar en cuenta se considera:

- Los lubricantes de mayor BN brindan una mejor protección contra la corrosión en frío.
- Las tasas de alimentación deben optimizarse analizando el aceite de drenaje de la parte inferior del pistón.
- Las temperaturas del agua de refrigeración del revestimiento deben mantenerse en el límite superior.
- Los combustibles con alto contenido de azufre determinan un mayor riesgo.

- Los inyectores de aceite lubricante deben mantenerse en buen estado de funcionamiento para poder mantener una distribución correcta.
- Los drenajes deben mantenerse limpios y abiertos.

-En relación con los daños por excesiva lubricación, se pudo conocer que un aceite con BN excesivo es causante de desgaste corrosivo la cual se presenta tanto en el pistón como en la camisa del cilindro. En ese sentido, cuando el aceite de cilindro tiene un BN y/o tasa de alimentación altos, el exceso de aditivo tiende a formar depósitos de carbonato de calcio, lo que traerá como consecuencia desgaste y rotura de anillos. Así también, dichos depósitos pueden pulir la camisa del cilindro. De acuerdo con la versión de los entrevistados, se puede establecer que algunas actividades a tomar en cuenta para evitar daños por excesiva lubricación son:

- Consultar a los proveedores de lubricantes y fabricantes de motores.
- Analizar los últimos boletines de proveedores de lubricantes, así como de los fabricantes de motores, ya que al ser una problemática que tiende a tener varias aristas, existen altas probabilidades de que las acciones o mejoras prácticas vayan cambiando y en todo caso siendo particular para cada tipo o diseño de motor. Es importante considerar que los fabricantes de motores siempre realizan un seguimiento de la operatividad de los motores que fabrican, donde la nueva realidad, determina que brinden asesoramiento sobre el mantenimiento y funcionamiento de los motores con el uso de los nuevos combustibles con bajo contenido de azufre.

- Establecer capacitaciones para el departamento de máquinas sobre la problemática establecida, ya que se encuentran en constante contacto con los problemas operativos que se pueden presentar a bordo del buque.

-Con respecto a la insuficiencia de detergentes y dispersantes en la lubricación de cilindros el nuevo combustible con bajo contenido de azufre tiende a formar recubrimientos similares a barnices producto de componentes combustible los cuales se forman a causa de asfaltenos y resinas. Los depósitos excesivos que se pueden formar en el pistón, anillos y la camisa pueden deberse a una cantidad insuficiente de detergente y dispersantes lubricantes. Con respecto al presente problema no existen actividades que desde el punto de vista operativo a ser llevada a cabo por el departamento de máquinas pueda mejorar condiciones, ya que los corresponde a los fabricantes de lubricantes para combustible con bajo contenido de azufre es poner prioridad a un aceite cuyo nivel de detergencia elimine, disuelva y evite la formación de depósitos, donde los aditivos dispersantes mantengan partículas en suspensión para que se puedan eliminar. En ese sentido, lo que se espera es que se puedan disponer de lubricantes con diferentes aditivos y que con la velocidad de alimentación correcta se pueda revertir la acumulación de depósitos y formación de barniz. Se espera que se desarrollen formulaciones mejoradas de lubricante de cilindros con bajo contenido de BN pero que sean capaces de poder abordar los problemas señalados.

-Con respecto a los finos catalíticos, lo cual representa partículas abrasivas que son introducidos en el proceso de refinación que de llegar a la máquina principal pueden causar daños irreversibles a los anillos del pistón y camisa del cilindro, que con el uso masivo de combustible con bajo contenido de azufre se viene incrementando en correspondencia con las normas relacionadas

con los límites de azufre establecido por OMI. Entre algunas de las actividades a tomarse en cuenta para evitar la aparición de finos catalíticos resaltan:

- Instalar un sistema de limpieza de combustible basado en mejores prácticas actuales.
- Hacer procedimientos operativos diarios de alto estándar.
- Comprobar los resultados de la limpieza del combustible.
- Actuar sobre los resultados obtenidos.
- En los tanques de almacenamiento, para ayudar a la sedimentación es importante mantener temperaturas a 45 °C, ya que los finos catalíticos son más densos que los combustibles marinos con bajo contenido de azufre se asentarán si no hay agua presente.
- En los tanques de sedimentación es importante que se mantenga una temperatura de 85 °C de tal manera que se ayude a la sedimentación y eliminación del contenido de agua.
- Es importante garantizar una limpieza estricta en los tanques de sedimentación, drenando a intervalos regulares cuando se opere con un combustible con bajo contenido de azufre.
- Es importante que exista un análisis del combustible a la entrada del motor a través de un sistema de auditorías del sistema de combustible para conocer y mejorar la eficiencia del sistema de depuración y filtrado.
- Se recomienda tomar muestras antes y después de cada separador a intervalos de 4 a 6 meses.

- Se debe tomar muestras antes y después de los purificadores. El máximo permitido de finos catalíticos es de 50 ppm antes del purificador y 15 ppm después del purificador.
- Es necesario que sea posible poner en acción a dos purificadores en paralelo con un flujo mínimo y temperatura de entrada de 98 °C para garantizar una purificación eficiente.
- Los filtros del sistema de combustible deben ser inspeccionados y limpiarse regularmente, no solo cuando se activan las alarmas de diferencial alto.
- La capacitación a los operadores del buque, resulta además un aspecto importante a tomar en cuenta, no solo en cuestiones de la problemática relacionada con los finos catalíticos, sino en todo lo señalado.

**Teorización final:** Con las teorizaciones parciales establecidas, se puede responder al objetivo general de estudio de la siguiente forma:

-Las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre, particularmente respecto al combustible residual, ha generado que a partir del 2020 se venga observando nuevos problemas y retos tanto para los fabricantes de lubricantes como para los operadores de buques mercantes. Las repercusiones por lo general se observan en los motores de dos tiempos, ya que al poseer dos sistemas de lubricación independientes se generan condiciones que puedan afectar de manera sensible a los componentes del motor principal.

-El BN del lubricante, que representa a la capacidad para poder neutralizar subproductos de la combustión compuestos por ácidos a partir de la oxidación, antes de la entrada en vigor de las normas "OMI 2020" no presentaba muchos problemas respecto a la capacidad de detergencia en los motores de dos tiempos, considerando que casi se utilizaba en un número estándar (70 BN), que para efectos del uso de un combustible con alto contenido de azufre no representaba dificultad alguna para poder ser aplicado en los motores de dos tiempos, principalmente en la lubricación de cilindros. La lógica establece que, al uso de combustible con mayor contenido de azufre, mayor el BN del lubricante, y que, a menor contenido de azufre, menor BN en el lubricante. El nuevo uso masivo de combustibles con bajo contenido de azufre determina que el BN de los lubricantes oscilen entre 30 y 40 BN, cuya capacidad de detergencia se reduce lo que provoca depósitos a base de combustible. Por otra parte, el uso de un BN inadecuado o superior al

margen señalado determina que se generen residuos de carbonato de calcio, que al establecerse en la parte superior del pistón se solidifica a tal punto de que se atasque, rompa y causen daños irreversibles e inclusive en la camisa del cilindro.

-Por otra parte, respecto a los motores de cuatro tiempos, debido al sistema que posee compuesto por separadores y depuradores centrífugos, donde el aceite lubricante tiene a recircular se pudo conocer que al momento no existen repercusiones relevantes, ya que, al poseer un sistema único, la calidad del aceite se mantiene.

-En la actualidad, bajo las condiciones que se presentan, analizar el nivel de hierro en el lubricante para poder comprobar desgaste del motor y el rendimiento del mismo, determinará poder encontrar un número base apropiados y la tasa de alimentación correspondiente.

-Otra de las repercusiones a tomar en cuenta que se genera por el uso de combustible con bajo contenido de azufre, el cual se observa en motores de dos tiempos tiene que ver con la corrosión en frío, donde el cumplimiento de regulaciones medioambientales determina una menor velocidad donde se crea condiciones por debajo del unto de rocío que permite que el agua se condense en las paredes de los cilindros y que al entrar en contacto con el ácido sulfúrico genere corrosión. En la actualidad dicha problemática genera debates y discusiones dentro de la industria marina, y representa un gran desafío para los operadores de buques.

-Con respecto al insuficiencia de los lubricantes, donde existe menor poder de detergencia y dispersancia, en motores de dos tiempos se pueden observar que el combustible con bajo contenido de azufre puede ser de naturaleza asfáltica lo cual puede repercutir generando depósitos y formación de barniz.

-Por último, otro de los puntos relevantes al utilizar combustible con bajo contenido de azufre y los problemas de lubricación señalados tiene que ver con la aparición de finos catalíticos, ya que son partículas abrasivas que de presentarse en condiciones donde se visualicen problemáticas relacionadas con la lubricación, generarían una situación totalmente agravante para el motor principal, donde el pistón, anillos del pistos y la camisa del cilindro pueden verse involucrados en daños totalmente abrasivo que conlleve a parar la máquina y repercusiones económicas en contra de la naviera propietaria del buque donde se observe la situación.

-En ese sentido, se puede establecer que las nuevas condiciones desde el punto de vista de la lubricación representan un tema controversial en la actualidad del ámbito marítimo relacionado con la operación de buques mercantes, donde existe la necesidad de poder seguir investigando y poder encontrar el equilibrio tanto que responda a los cambios regulatorios debido a los límites de emisiones de azufre de los buques mercantes y la operatividad de la misma.

-Queda claro entonces que una adecuada capacitación y formación en el recurso humano del departamento de máquinas de los buques resulta en la actualidad necesario, de tal manera que se puedan responder con ciertas acciones o buenas prácticas tanto respecto a la gestión y uso de combustible con bajo contenido de azufre y las problemáticas que han sido evidenciadas respecto al uso de lubricantes que tienen que ser compatibles con los nuevos combustibles reglamentarios.

-Es importante además que dentro de las gestiones internas vinculadas con los buques mercantes, donde principalmente el departamento de máquinas se sienta cada vez más sensibilizados y comprometidos con la respuesta legislativo de las emisiones de azufre, pero que también se pueda poner mayor énfasis a las diversas repercusiones que se vienen y seguirán observando respecto

al uso de combustible con bajo contenido de azufre, siendo la lubricación una de las tantas donde se pueden evidenciar anomalías que deben ser corregidas en el corto y largo plazo.

-La nueva realidad que somete a los buques mercantes, invita a los operadores que tengan en cuenta los últimos boletines respecto a la lubricación de motores marinos, ya que existirán un abanico de situaciones, que, considerando la particularidad intrínseca de cada buque, muestren más casos y evidencias donde se podrán aplicar medidas correctivas en el plazo más próximo, determinándose acciones que ayuden a evitar daños al motor principal.

-Existen algunas acciones que se pueden tomar en cuenta para que desde el punto de vista operacional se puedan prevenir situaciones relacionadas con la corrosión en frío, daños por excesiva lubricación y finos catalíticos, mientras que los problemas relacionados con la detergencia y dispersancia de la lubricación, particularmente la de los cilindros en motores de dos tiempos representa todo un reto para los fabricantes de aceites lubricantes quienes a la luz de los nuevos hallazgos puedan poner en el mercado nuevos productos que sean de calidad y respondan a las demandas actuales en razón de garantizar el cuidado del motor y los componentes respectivos que están sujetos a causar daño y/o desgaste.

## **CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Discusión**

Los resultados establecidos, a través de un estudio de naturaleza cualitativa permitió establecer síntesis conceptuales a través de teorizaciones en correspondencia con objetivos específicos y general que responden a una sistematización de la información, que con evidencia científica permitió conocer las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes, 2021.

El presente estudio se construyó bajo una perspectiva holística, ya que la problemática relacionado con el uso de combustible reglamentario en cumplimiento con las normas medioambientales de la OMI (límites de azufre) en relación con la lubricación afectan a todos los buques que forman parte del transporte marítimo, por lo que los resultados se corresponden a las diferentes situaciones problemáticas que

han sido observadas y abordadas, tomando en cuenta información documental y la postura de oficiales de máquinas con experiencia en el rubro así como de superintendentes.

Los datos recopilados que fundamentaron las teorizaciones y conclusiones del presente estudio se basó en información documental establecida por instituciones especializadas y casas manufactureras de motores marinos, que dentro de la poca bibliografía, establecen casos y condiciones que podrían afectar a los buques mercantes donde se pudo evidenciar que la lubricación con el uso del nuevo combustible con bajo contenido de azufre genera repercusiones particularmente en motores de baja velocidad (dos tiempos).

Bajo dicha problemática, la industria marítima, principalmente los fabricantes de motores marinos y operadores de buques mercantes (departamento de máquinas) enfrentan un nuevo reto donde las condiciones tribológicas (fricción, desgaste y lubricación) sin dudas enfrentan cambios donde tienen que plantearse respuestas que garanticen la operatividad de los motores marinos y en ese sentido la seguridad a bordo.

Con respecto a la validez interna, se puede establecer que las unidades de información tanto documentales y la de sujetos elegidas es confiable, ya que aportaron con datos coherentes que al ser triangulados (comparados) permitieron extraer conclusiones comunes sobre la problemática relacionada con la lubricación de motores marinos, donde desde ya se establece que el fomentar el conocimiento a

través de la investigación científica puede producir efectos positivos en virtud de difundir información útil para los operadores de buques mercantes que operan en la nueva era del uso de combustible con bajo contenido de azufre.

Respecto a la validez externa, por el nivel de profundidad que caracteriza a un estudio de nivel exploratorio, se puede establecer que los resultados no pueden ser generalizados o que puedan aplicar para todos los buques en virtud de los problemas o repercusiones que se señalaron, ya que las condiciones de las cuales se trata puede ser cambiante según las características particulares del tipo de motor y la gestión del combustible y lubricación llevada a cabo a bordo de cada buque. En ese sentido, en relación con la naturaleza del estudio se establece que las conclusiones son de carácter aproximativo.

Con respecto al estudio realizado por Cordero (2021) quienes realizaron un estudio de características metodológicas se avala la postura de que previo a la implantación de las normas “OMI 2020” el sector marítimo, particularmente el naviero, no estaba preparado para las nuevas situaciones negativas a las cuales llevaría utilizar un combustible con bajo contenido de azufre, donde con base a los resultados del presente estudio, se pudo determinar que hay repercusiones que como por ejemplo, relacionados a la lubricación de motores marinos evidencia que la calidad de los lubricantes no son del todo efectivos al 100 % respecto a la función de detergencia en el uso de combustible con bajo contenido de azufre.

Con respecto al estudio de Brice y Bown (2019) se toma en cuenta la postura donde indica que la lubricación actual en motores que utilizan combustible con bajo contenido de azufre no es la adecuada, ya que solo tomar en cuenta el número de BN no garantiza un óptimo rendimiento dentro de los motores. En ese sentido, bajo las teorizaciones presentadas, existen indicios de que la lubricación no solo se debe preocuparse por el número de BN, sino también por los dispersantes y detergentes que como aditivos permitan obtener un rendimiento óptimo en el motor del buque. Desde el punto de vista metodológico existen coincidencias en el proceso desarrollado respecto al presente estudio, ya que se desarrolló dentro de un diseño fenomenológico.

Con la investigación de Thomas et. al. (2019) se avala la postura, la cual, con la información presentada como parte de la fase empírica del presente estudio, permite establecer que el nivel reducido de azufre en el combustible de motores marinos presenta todo un desafío, donde la lubricación particularmente en relación con los cilindros de motores de dos tiempos requiere de nuevas formulaciones que a la luz de las nuevas experiencias y casos producto de las repercusiones observadas en los buques se puedan ir adaptando a los nuevos requerimientos. En ese sentido, resulta muy importante que los operadores conozcan desde el punto de vista teórico el papel del BN y de las otras propiedades de los lubricantes a ser utilizados, de tal manera que se tomen las medidas correspondientes que puedan garantizar la vida útil del motor.

Sobre lo señalado por Alfa Laval (2018) se resalta la idea de que las nuevas normas medioambientales relacionadas con los límites de azufre afectarán al 75 % del combustible marino a nivel mundial, donde se estableció además que existirían diversas preguntas sin respuestas durante la implementación de las normas “OMI 2020” y las repercusiones que genera. Bajo lo establecido, el problema que enfrenta la lubricación de motores de dos tiempos es toda una incertidumbre, por lo que se establece que ya las teorías prospectivas establecidas por casas manufactureras de motores e instituciones especializadas daban señales de repercusiones negativas por el uso de combustible reglamentario. Metodológicamente existen coincidencias similares ya que se abordó un estudio de carácter cualitativo.

Con respecto al estudio realizado por Hernández (2018) quien bajo un estudio de características similares al presente estudio se resalta una actividad que podría resultar positivo a ser establecido como una buena práctica para minimizar o eliminar problemas vinculado con la lubricación de cilindros en motores de dos tiempos, lo cual sería posible estableciendo un control y monitoreo de algunos datos para evaluar el estado del motor. En ese sentido, la capacitación en el recurso humano de máquinas, así como los recursos necesarios para poder realizar evaluaciones se configuran como elementos necesarios para responder a los problemas que vienen siendo evidenciados.

Con el estudio de Canter (2017) quien realizó un estudio cualitativo, pero con un diseño teoría fundamentada, la cual se diferencia del diseño fenomenológico desarrollado en el presente estudio, se coincide en que los fabricantes de lubricantes

deben en la actualidad y a futuro desarrollar soluciones en virtud de los cambios relacionadas con el uso de nuevos combustibles con bajo contenido de azufre y sobre los que se utilizarán en años venideros, de tal manera que a través de análisis predictivos se puedan ir evaluando situaciones negativas que podrían afectar a los buques mercantes.

Con respecto al estudio realizado por el Consejo Internacional de Motores de Combustión (CIMAC, 2017) quien estableció un estudio relacionado con la corrosión en frío evidenciado en motores de dos tiempos, se resalta que las nuevas regulaciones medioambientales determinaran que tanto las técnicas de reducción de emisiones, diseño y operación de los motores de los buques sean cambiantes. En ese sentido, bajo dicho panorama es importante establecer que los operadores de los buques mercantes centren la atención en un problema que en los últimos años se ha venido observando en buques con motores de dos tiempos, donde la reducción de la velocidad ha generado que exista mayor vapor de agua que sumado al ácido sulfúrico producen desgaste de la camisa del cilindro. El estudio desarrollado desde el punto de vista metodológico presenta características similares, ya que se caracterizó por ser cualitativo y holístico.

Por último, con el estudio realizado por Casado (2015), que fue desarrollado bajo un enfoque cuantitativo a diferencia del enfoque cualitativo que se siguió en el presente estudio se coincide con la postura en que el análisis de lubricación para poder obtener resultados adecuados se necesita de habilidad y experiencia del analista. En ese sentido, considerando la nueva realidad que afecta a los buques, es

necesario poder formar a la tripulación de máquinas en dichas capacidades que serán útiles para determinar anomalías vinculadas con el uso de los nuevos lubricantes.

## **5.2. Conclusiones**

Las conclusiones se presentan tomando en cuenta los objetivos específicos que en conjunto brindan las ideas centrales que contribuyen a responder al objetivo general, considerando que el planteamiento estructural del problema establecido para efectos del presente estudio.

En relación al primer objetivo específico del estudio, el cual se orientó a examinar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre, se puede establecer que los problemas están relacionados directamente con la lubricación de los cilindros ya que se viene utilizando un BN menor al que se utilizaba, cuando se usaba combustibles con alto contenido de azufre, lo cual no tiene una capacidad de detergencia adecuada.

La formación de depósitos de combustibles, así como de depósitos de carbono de calcio al tener un exceso de BN caracterizado por una inadecuada gestión y supervisión por parte de los operadores puede conllevar a que en la parte superior del pistón se formen depósitos duros que ocasionen daños irreversibles produciendo además espejos en la camisa del cilindro. En ese sentido, con las nuevas

regulaciones vinculadas con las normas “OMI 2020” los fabricantes de lubricantes se enfrentan a nuevos retos.

Con respecto al segundo objetivo específico, el cual se orientó a identificar qué repercusiones presenta la lubricación en motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes, se puede establecer que, al contar con un sistema de lubricación único compuesto por separadores y depuradores garantizan que el lubricante se mantenga en mejores condiciones, por lo que hasta el momento no se han observado repercusiones significativas.

Así mismo, es lógico que el lubricante utilizado en motores de cuatro tiempos también debe ser con BN más bajo, ya que de dicho modo se evitaría los problemas que han sido identificados en los motores de cruceta. Otro asunto a resaltar tiene que ver con que los aditivos para motores troncales, los cuales deben poseer la capacidad de frenar problemas relacionados con los asfaltenos y el hollín que suele ser arrastrados por el aceite lubricante.

Respecto al tercer objetivo específico, el cual se orientó a señalar acciones que pueden tomarse en cuenta para evitar daños en el motor relacionados con el uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buques mercantes, se puede establecer que las prácticas determinadas están orientadas a problemas relacionados con la corrosión en frío, los daños por excesiva lubricación y los finos catalíticos, donde los operadores podrían establecer buenas prácticas en aras de minimizar la aparición de dichas problemáticas.

Con respecto a la problemática relacionada con la insuficiencia de detergentes y dispersantes en la lubricación de cilindros, las actividades y responsabilidad para evitar daños en el motor recaería de manera primigenia en los fabricantes de lubricantes, ya que de acuerdo con los nuevos hallazgos deben proveer soluciones adecuadas a las condiciones particulares en la cual trabajo el motor de un buque mercante.

Bajo lo señalado, para responder al objetivo general del presente estudio, se puede establecer que las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes están relacionadas principalmente con el número básico (BN) y aditivos, los cuales deben ser capaces de mantener y garantizar la operatividad adecuada de los motores y los componentes principales.

En el caso de motores de dos tiempos, se han podido presentar problemas relacionados con el desgaste de anillos y las superficies de las camisas a causa de corrosión en frío y problemas relacionados con una excesivo BN, lo cual crea depósitos de carbonato de calcio que al solidificarse generan daños irreversibles en los motores.

Respecto a los motores de cuatro tiempos, no existen repercusiones relevantes pero que si se pone énfasis en que los aditivos deben mitigar afectaciones que pueden suscitarse a causa del hollín y los asfaltenos. Así también, dichos motores

que son utilizados como auxiliares a bordo de los buques por lo general poseen un sistema de lubricación con componentes que garantizan la calidad del lubricante.

Por último, en relación con problemas relacionados con los finos catalíticos, que, sumado a problemas de lubricación en los motores, se pueden evidenciar situaciones donde ambas anomalías coexistan, lo que determinará un mayor daño abrasivo a los componentes de los motores, sea uno de dos tiempos o de cuatro tiempos, principalmente en el pistón, anillos del pistón, camisa de cilindros, etc.

### 5.3. Recomendaciones

Se proponen las siguientes recomendaciones acordes con los hallazgos obtenidos:

Se recomienda a las navieras desarrollar capacitaciones orientado a los operadores de los buques mercantes, principalmente en el departamento de máquinas, los cuales traten sobre las problemáticas relacionadas con la lubricación de motores marinos de dos y cuatro tiempos, donde se discutan las posibles repercusiones que se ha generado por el uso de combustible con bajo contenido de azufre. (Ver Anexo 6).

Se sugiere al departamento de máquinas de los buques mercantes, a analizar los boletines tanto de los fabricantes de lubricantes y casa manufactureras de motores de dos tiempos en relación con los problemas que se pueden suscitar por el uso de combustible con bajo contenido de azufre, lo que generará mayor información que pueda ayudar a mejorar la gestión mismo dentro del buque.

Se recomienda al departamento de máquinas de los buques mercantes, poner atención a la lubricación de motores de cuatro tiempos (auxiliares), de tal manera que se puedan cerciorar de que los aditivos utilicen dispersantes que puedan minimizar o evitar problemas relacionados con niveles altos de hollín y asfaltenos lo cual configuran dos condiciones que puedan afectar un buen desempeño del mismo en el corto plazo.

Se sugiere a los oficiales y marineros de máquinas poner atención en las acciones que pueden aplicarse dentro de la gestión interna del buque que fueron señaladas en la teorización parcial 3, de tal manera que se pueda considerar como actividades clave que ayuden a evitar la corrosión en frío, daños por excesiva lubricación y la aparición de finos catalíticos.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### Referencias bibliográficas

- Alfa Laval. (2018). *Lubricación de motores marinos después del 2020*. Alfa Laval, Suecia.
- Arrebola et al. (2004) *Aspectos sanitarios de los óxidos de azufre como contaminantes atmosféricos*. Higiene y Sanidad Ambiental. Universidad de Granada, España.
- Brice, H., & Bown, I. (2019). *¿Por qué el número base (BN) por sí solo no es la respuesta al formular aceites para cilindros para combustibles con un 0,5% de azufre?* Lube-Tech magazine.
- Canter, N. (2017). *Aceites para motores de cilindros diésel marinos: Desafíos de lubricación afectados por condiciones y reglamentos de funcionamiento*. Tribología & Tecnología de lubricación.
- Casado, A. (2015). *Estudio quilométrico de aceites lubricantes Marinos* [Tesis de pregrado]. Escuela Universitaria de Ingeniería técnica Industrial de Bilbao. España.
- CIMAC. (2017). *Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos*. Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna. Alemania.
- Cordero, A. (2021). *Aplicación de límite de 0.5% de azufre en los combustibles* [Tesis de maestría]. Universidad de Cantabria, España.
- García, A. (2018). *Estudios sobre la reducción de emisiones NOx y SOx* [Tesis Pregrado]. Universidad de Cantabria. España.
- Gonzáles, N., Soler, F., Orive, A. & Camarero, A. (2013) *Transporte marítimo y medio ambiente: Las implicaciones de las SECAS y las ECAS*. Revista Transporte y Territorio. Universidad de Buenos Aires, Argentina.

- Hernández, L. (2018). *Análisis del sistema de lubricación de las camisas del cilindro en motores marinos modernos de baja velocidad* [Tesis de pre grado]. Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- Londres, O. (2012). *Evaluación de lubricante para lubricación de la máquina diesel Rusky con el empleo de la norma ISO 7902* [Tesis de pregrado]. Facultad de Metalúrgica y Electromecánica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Cuba.
- Lopez, F. (2015). *Evaluación de las consecuencias de la nueva regulación de la OMI sobre combustibles marinos* [Tesis doctoral]. Escuela Superior de Ingenieros Navales, España.
- Mundo Marítimo. (2021). *Lubricantes marinos: Limpieza del motor es ahora su principal desafío*.
- OMI. (2017). *MARPOL: Edición refundida de 2017*. Grupo CPI.
- Rodríguez, F. (2007). *Tribología: Fricción, desgaste y lubricación* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Sin, M. (2012). *Análisis de la implementación de combustibles con bajo contenido de azufre en el tráfico marítimo en el Mar del Norte* [Tesis Pregrado]. Universidad Politécnica de Catalunya. España.
- Thomas, J., Scott, C., Kass, M., & Theiss, T. (2019). *Una guía para las inquietudes sobre los combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020*. Departamento de transporte de Estados Unidos, Estados Unidos.

## Referencias electrónicas

- Affolter, S., Mäder, R., Rozmyslowicz, B., Stark, M., & Weber, M. (2019). *Impacto de límites de azufre de 2020 en aspectos de tribología en motores de dos tiempos*. CIMAC.  
<https://www.wingd.com/Documents/GENERAL/Papers/Impact-of-Sulphur-Cap-2020-on-2-Stroke-Engine-Trib/>
- Alfa Laval. (2020). *Combustibles marinos en la era de bajo azufre*. Alfa Laval.  
<https://www.alfalaval.es/industrias/marina-y-transporte/marina/tratamiento-de-combustible/fuel-line/marine-fuels-in-the-low-sulphur-era/>
- Alvarez Riveira. (2020). ¿Qué es un motor marino diésel y que tipos de motores hay? <https://alvarezriveira.com/resenas/que-es-un-motor-marino-diesel-y-que-tipos-de-motores-hay/>
- Anave (2019). *Sobre emisiones a la atmósfera del transporte marítimo*. Asociación de Navieros Españoles. España.  
[https://www.anave.es/images/documentos\\_noticias/2019/DEF\\_PyR\\_emisiones.pdf](https://www.anave.es/images/documentos_noticias/2019/DEF_PyR_emisiones.pdf)
- Argus. (2022). *Combustibles marinos*. Argus media group.  
<https://www.alfalaval.es/industrias/marina-y-transporte/marina/tratamiento-de-combustible/fuel-line/marine-fuels-in-the-low-sulphur-era/>
- Autonocion.com. (2018). *Motores de dos tiempos: Qué son, cómo funcionan, ventajas e inconvenientes*. <https://www.autonocion.com/motores-dos-tiempos-funcionamiento/>
- Boundblue (2020). *El transporte marítimo es causante del 15% de las emisiones de NOx y del 3% de las emisiones de CO2*. ElReferente. España.

<https://elreferente.es/tecnologicos/el-transporte-maritimo-es-causante-del-15-de-las-emisiones-de-nox-y-del-3-de-las-emisiones-de-co2/>

Club Sueco de Protección e Indemnidad. (2018). *Daños al motor principal*. Club Sueco. <https://www.swedishclub.com/loss-prevention/ship/machinery#:~:text=Major%20findings,34%25%20of%20all%20machinery%20claims.>

ComoFunciona (2022). *Cómo funciona un motor de dos tiempos*. <https://comofunciona.co/un-motor-de-2-tiempos/Library>. (2022). *Funciones de los aceites en los motores diésel marinos*. Library. <https://1library.co/article/funciones-aceites-motores-diesel-marinos.y6jov55q>

Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna. (2007). *Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre*. CIMAC. [https://www.cimac.com/cms/upload/Publication\\_Press/Recommendations/Recommendation\\_26.pdf](https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_26.pdf)

García, R. (2016). *Teoría de lubricantes*. Ingeniero Marino. <https://ingenieromarino.com/lubricantes-tribologia/>

GGB. (2019). *Tribología*. GGB. <https://www.ggbearings.com/es/tribou/tribologia>.

Guo, Z., Yuan, C., Bai, X & Yan, X. (2018). *Estudio Experimental sobre el Rendimiento de Desgaste y las Características de la Película de Aceite de la Camisa del Cilindro con Textura superficial en el Motor Diesel Marino*. Revista China de Ingeniería Mecánica. <https://doi.org/10.1186/s10033-018-0252-3>

- Helloauto. (2022). *Motor de cuatro tiempos*. Helloauto.  
<https://helloauto.com/glosario/motor-de-cuatro-tiempos>
- ISO. (2020). *Productos del petróleo – Combustibles (clase F) – Especificaciones de combustibles marinos*. ISO. <https://www.iso.org/standard/64247.html>
- MAN Diesel & Turbo. (2017). *Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y como reducir el desgaste*. MAN. <https://www.man-es.com/services/new-service-solutions/2020/filter-solutions>
- Meng, R., Li, X. & Xie, Y. (2018). *Un análisis tribológico del sistema de biela de pistón de caja de relleno de motores diésel marinos de baja velocidad*. Revista Internacional de Investigación de Motores. Publicaciones SAGE. <https://doi.org/10.1177/1468087418796615>
- MEPC. (2019). *Directrices de 2019 para la implantación uniforme del límite del contenido de azufre del 0.50 % en virtud del anexo VI del Convenio MARPOL*. OMI. <https://docs.imo.org/>
- Motocross. (S.f.). *Funcionamiento motor 4 tiempos*. Motocross trail. <https://www.motocrosstrail.com/motor-4-tiempos/>
- Nagata, M., Fujita, M., Yamada, M. & Kitahara, T. (2012). *Evaluación de las propiedades tribológicas de materiales de cojinetes para motores diésel marinos utilizando la técnica de emisión acústica*. Publicaciones Elseiver. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.05.026>
- Oceana (2021). *Contaminación por la industria naval. Oceana protegiendo los océanos del mundo, EEUU*. <https://europe.oceana.org/es/contaminacion-por-la-industria-naval-0>
- OMI (2020). *Azufre 2020: Reduciendo las emisiones de óxidos de azufre*. OMI. <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Sulphur-2020.aspx>

- OMI. (2020). *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques.* OMI.  
[https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- OMI (2020). *Gases de efecto invernadero.* OMI.  
<https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/GHG-Emissions>
- OMI (2021). *Óxidos de nitrógeno (NOx) – Regla 13.* OMI.  
[https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx)
- Prime source. (2021). *¿Cuáles son las diferentes partes de un motor de 4 tiempos?* Prime source. <https://primesourceco.com/es/latest-news/what-are-the-different-parts-of-a-4-stroke-engine/>
- Rentingfinders. (2021). *El combustible.* Rentingfinders.  
<https://rentingfinders.com/glosario/combustible/>
- Ruano, A. (2020). *El transporte marítimo contamina 500 veces más que el terrestre.* Sertrans servicios de transporte. España.  
<https://www.sertrans.es/transporte-sostenible/el-transporte-maritimo-contamina-500-veces-mas-que-el-terrestre/>
- Ship & Bunker. (2020). *VPS identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN.* Shipandbunker.  
<https://shipandbunker.com/news/world/300507-vps-identifies-40-vessels-with-engine-damage-using-combination-of-vlsfo-and-40bn-lubricants>
- Shipinsight. (2020). *Una descripción general de los lubricantes de motor en los buques.* Shipinsigth. <https://shipinsight.com/articles/an-overview-of-engine-lubricants-on-ships>

Toyocosta. (2016). *Motor de cuatro tiempos: qué es y funcionamiento.*

<http://www.toyocosta.com/blog/motor-de-cuatro-tiempos/>

Universal Technical Institute. (2020). *Motores de 4 tiempos: ¿Qué son y cómo*

*funcionan?* <https://www.uti.edu/blog/motorcycle/how-4-stroke-engines-work>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN BUQUES MERCANTES, 2021

AUTORES: Bachiller en Ciencias Marítimas: CAYLE Angeles, Walter Javier – GUEVARA Yubau, Elliot Saúl

PROBLEMA	OBJETIVOS	CATEGORÍA DE ANÁLISIS
<p><b><u>Problema general</u></b> ¿Cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes, 2021?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p>¿Cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes?</p> <p>¿Qué repercusiones presenta la lubricación en motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes?</p> <p>¿Qué acciones pueden tomarse para evitar daños en el motor relacionados con el uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buque mercantes?</p>	<p><b><u>Objetivo general</u></b> Analizar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes, 2021.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>Determinar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes.</p> <p>Determinar qué repercusiones presenta la lubricación en motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes.</p> <p>Determinar qué acciones pueden tomarse para evitar daños en el motor relacionados con el uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buques mercantes.</p>	<p><b>Repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre</b></p> <p><b>SUBCATEGORÍAS DE ANÁLISIS</b></p> <p>-Lubricación en motores de dos tiempos -Lubricación en motores de cuatro tiempos -Acciones para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación</p> <p><b>MUESTRA</b></p> <p>No probabilístico por conveniencia: -Documentales: 08 unidades documentales. No probabilístico en cadena o por redes: -Sujetos: 13 unidades de información compuesto por oficiales de máquinas de nivel gestión y superintendentes.</p> <p><b>METODOLOGÍA</b></p> <p>Ruta: Cualitativo Tipo: Básica Nivel: Exploratorio Diseño: Fenomenológico (Hernández y Mendoza, 2018; Valderrama, 2018; Vara, 2015)</p>

		<p><b>PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</b></p> <p>Se aplicaron técnicas de análisis de contenido respecto a las unidades documentales establecidas, mientras que en la entrevista se aplicaron técnicas de corte y clasificación de palabras clave a través de los cuales se extrajeron categorías emergentes con lo que se pudo realizar las respectivas teorizaciones, tanto parciales como final.</p> <p>Así también, se hizo uso de programas informáticos tales como Microsoft Word, ATLAS.ti v7 y Lucidchart.</p>
--	--	--

## **ANEXO 2**

### **LISTA DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS**

-Azufre: El azufre es un elemento que compone naturalmente al petróleo crudo, por lo tanto, se encuentra presente en los diferentes productos del mismo como en la gasolina y diesel. Al combustionar estos productos, dan como resultado al bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

-Aditivos: Son sustancias diseñadas que se añaden a los aceites base en cantidades variables con el objetivo de mejorar sus propiedades o agregar nuevas funciones para cumplir con el cuidado de las piezas del motor y poder alargar la vida útil del mismo.

-Ácido sulfúrico: El ácido sulfúrico es un compuesto químico muy corrosivo que posee una fórmula química como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Este componente es uno de los más producidos a nivel mundial por sus propiedades valiosas para las diferentes industrias tales como la de la petroquímica y la de los fertilizantes.

-BN: El número básico o BN es una medida utilizada para indicar el nivel de alcalinidad que tiene el aceite, en otras palabras, las propiedades que tiene para neutralizar la acidez que se pueda dar por la presencia de azufre en dentro del cilindro de las unidades de los motores, lo cual determina para qué tipo de combustible podría ser utilizado como mayores resultados.

-Camisa del cilindro: Es una pieza metálica que se encuentra perforada en sentido cilíndrico, la cual se encuentra dentro de los cilindros y que está en constante rozamiento con los pistones, siendo de superficie lo más lisa posible para reducir al mínimo el desgaste.

-CLO: Se refiere al aceite utilizado para la lubricación de los cilindros dentro de las unidades del motor marino, es decir, la lubricación de la camisa del cilindro.

-Combustibles residuales: son aquellos combustibles que son obtenidos a través del proceso de refinamiento del crudo extraído del subsuelo. Este combustible posee como características principales una alta viscosidad y un contenido de azufre elevado.

-Densidad: Es la relación existente entre la una cantidad específica de masa en un determinado volumen, es considerada una propiedad importante dentro de la teoría de los lubricantes para conocer la viscosidad de un lubricante.

-Fricción: Es la fuerza de oposición que tiene origen en el rozamiento de dos superficies entre sí, en otras palabras, es la fuerza que se opone al movimiento entre dos superficies.

-Lubricación: Es la acción de interponer un agente intermediario que puede ser de naturaleza líquida, sólida o gaseosa para reducir el efecto de fricción y el grado de temperatura que se pueda alcanzar por la interacción física entre dos superficies que están inmersas en un determinado movimiento a intervalos constantes.

-Lubrizon: Es una compañía multinacional estadounidense dedicada a desarrollar diferentes productos químicos para la ingeniería, para el hogar, cuidado personal entre otros. Principalmente producen aditivos para diferentes tipos de combustibles y lubricantes mejorando las propiedades del mismo.

-MARPOL: Es el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación de los buques, posee 6 anexos los cuales detallan las medidas necesarias para prevenir y disminuir la contaminación de los buques en diferentes aspectos durante su operación u originado por un accidente.

-MEPC: Es el Comité de Protección del Medio Marino, el cual funge como uno de los órganos utilizados por la OMI para tratar temas relacionados a cuestiones medio ambientales estrechamente vinculadas con el transporte marítimo que tienen incidencia sobre los ecosistemas acuáticos, terrestres y aéreos.

-MDCL: Se refiere a los lubricantes de los cilindros para motores marinos de funcionamiento diesel, los cuales son utilizados a bordo de los buques.

-Motor marino: Es aquel motor de funcionamiento diesel que se utiliza para la propulsión principal de los buques mercantes y navales, el cual es comúnmente de dos tiempos y conformado por unidades entre 5 y 8, utilizado principalmente por sus bondades en ofrecer un torque mayor al de cuatro tiempos.

-Motores de dos tiempos: Estos motores son denominados de dos tiempos debido a que en el proceso de combustión toma 2 carreras de pistón para desarrollarlo. Como principal beneficio es la fuerza entregada por el sistema y el bajo costo de fabricación.

-Motores de cuatro tiempos: Estos motores realizan un ciclo completo de admisión empleando cuatro fases, siendo uno de los utilizados en diferentes industrias gracias a su eficiencia en términos de velocidad y rendimiento, siendo consecuentemente de alto costo.

-OMI: Es la Organización Marítima Internacional, organismo especializado de la ONU que tiene como objetivo la cooperación intergubernamental para establecer normas direccionadas a preservar la vida humana en el mar, proteger el medio marino y la integridad de la carga y la nave.

-OMI 2020: Son una serie de normas establecidas por la Organización Marítima Internacional en relación a la lucha para la reducción de la contaminación del mar y de la atmósfera provocada por los buques inmersos dentro del transporte marítimo internacional. La norma más representativa es la reducción de las emisiones de azufre al medio ambiente de 3.5% a 0.5%.

-Resolución: Una resolución es un instrumento normativo utilizado por la OMI para establecer cambios a las reglas dentro de los convenios con el objetivo de mantenerlos actualizados y en una mejora continua, la cual permita la objetividad respecto a las metas establecidas por la OMI.

-Stokes: es la unidad más utilizada a bordo de los buques mercantes para denominar el grado de viscosidad que posee un fluido. Se le denomina "stockes" por George Gabriel Stokes, en retribución a los aportes que entrego al estudio de la dinámica de fluidos.

-Tribología: Es la ciencia que se encarga del estudio del efecto producido por la interacción entre superficies y la lubricación para prevenir el deterioro en ellas, es decir, el rozamiento, desgaste y lubricación.

-Viscosidad: Es la resistencia de un fluido a fluir, debido a que a que las moléculas de la sustancia muestran oposición a cualquier movimiento.

-VLSFO: Es el fuelóleo con muy bajo contenido en azufre, 0.5% en porcentaje. Este nuevo combustible con bajo contenido de azufre fue establecido por las normas IMO 2020.

-Zonas ECA: Son las áreas de control de emisiones, en dichas zonas se ejerce un control sobre los gases nocivos para la salud que emite un buque mercante, existiendo un límite de sulfuro que pueden emitir. El límite está establecido en un valor máximo de 0.1 % masa/masa, cuya obligatoriedad entró en vigor el 1 de enero de 2015.

### ANEXO 3

#### HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS UTILIZADOS EN EL PRESENTE ESTUDIO

##### FICHA DE INVESTIGACIÓN

<b>Tema</b>	
<b>Contenidos</b>	
<b>Observaciones</b>	
<b>Interpretación</b>	

## GUÍA DE ENTREVISTA APLICADO A MUESTRA NO PROBABILÍSTICO EN CADENA O POR REDES DEL PRESENTE ESTUDIO

Fecha: \_\_\_\_\_

Lugar: \_\_\_\_\_

Entrevistadores: \_\_\_\_\_

Entrevistado: \_\_\_\_\_

### PREGUNTAS

#### Lubricación en motores de dos tiempos

1. ¿Ha tenido alguna experiencia respecto a la formación de ácido sulfúrico por un mal uso de aceites lubricantes en el motor principal?
2. ¿Cómo se puede manejar una situación donde se evidencia la aparición de ácido sulfúrico por una inadecuada lubricación?
3. ¿Qué tipo de BN posee el lubricante que utiliza en el motor de su buque?
4. ¿Por qué es importante regular el BN en el sistema de lubricación de cilindros?
5. ¿Cuál es la importancia de un monitoreo adecuado de la lubricación de cilindros?
6. ¿Cómo se debe llevar a cabo la lubricación de cilindros por el uso de combustible con bajo contenido de azufre a partir de las normas OMI 2020?

#### Lubricación en motores de cuatro tiempos

7. ¿Por qué los motores de cuatro tiempos tienden menos a ser afectados con el uso de combustibles con bajo contenido de azufre?
8. ¿Ha evidenciado últimamente algún problema relacionado con fallas de lubricación en motores de cuatro tiempos?
- 9.- ¿Cómo se realiza la lubricación actual en motores de cuatro tiempos?
- 10.- ¿Considera que la lubricación por el uso de combustible con bajo contenido de azufre cambiará en el futuro?

#### Acciones para evitar daños en el motor, relacionados al uso de combustibles con bajo contenido de azufre y lubricación

- 11.- ¿Ha presenciado problemas respecto a la corrosión en frío?
- 12.- ¿Cómo se podría manejar los problemas observados respecto a la corrosión en frío en motores marinos?
- 14.- ¿Qué actividades se pueden realizar para minimizar problemas relacionadas con un insuficiente detergente y dispersante en la lubricación de cilindros?
- 15.- ¿Ha tenido algún problema relacionado con finos catalíticos?
- 16.- ¿Cómo se puede manejar la problemática con respecto a la aparición de finos catalíticos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre?

## **ANNEX 3**

### **DATA COLLECTION TOOLS USED IN THIS STUDY**

#### **INTERVIEW GUIDE APPLIED TO A NON-PROBABILISTIC CHAIN OR NETWORK SAMPLE OF THE PRESENT STUDY.**

**Date:** \_\_\_\_\_

**Place:** \_\_\_\_\_

**Interviewers:** \_\_\_\_\_

**Interviewed:** \_\_\_\_\_

### **QUESTIONS**

#### **Lubricación en motores de dos tiempos**

Lubrication in two-stroke engines

1. Have you had any experience with the formation of sulfuric acid due to improper use of lubricating oils in the main engine?
2. How can you handle a situation where the appearance of sulfuric acid is evidenced by inadequate lubrication?
3. What type of BN does the lubricant you use in your ship's engine have?
4. Why is it important to regulate the BN in the cylinder lubrication system?
5. What is the importance of proper monitoring of cylinder lubrication?
6. How should cylinder lubrication be carried out for the use of low sulfur fuel from IMO 2020 standards?

#### **Lubrication in four-stroke engines**

7. Why do four-stroke engines tend to be less affected by the use of low sulfur fuels?
8. Have you recently evidenced any problems related to lubrication failures in four-stroke engines?
- 9.- How is lubrication currently performed in four-stroke engines?
- 10.- Do you consider that lubrication due to the use of low sulfur fuel will change in the future?

#### **Actions to avoid engine damage related to the use of low sulfur fuel and lubrication.**

- 11.- Have you witnessed problems regarding cold corrosion?
- 12.- How could the problems observed with respect to cold corrosion in marine engines be managed?

- 14.- What activities can be done to minimize problems related to insufficient detergent and dispersant in cylinder lubrication?
- 15.- Have you had any problem related to catalytic fines?
- 16.- How can the problem regarding the appearance of catalytic fines due to the use of fuel with low sulfur content be handled?

## ANEXO 4

### VALIDEZ DEL PROCESO INVESTIGATIVO A CARGO DE JUECES EXPERTOS



**ESCUELA NACIONAL DE MARINA  
MERCANTE "ALMIRANTE MIGUEL  
GRAU"**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE MARINA MERCANTE:  
ESPECIALIDAD DE MÁQUINAS**

#### **REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN BUQUES MERCANTES, 2021**

**"Guía para evaluar la validez de información documental y guía de  
entrevista"**

#### **Instrucciones generales:**

A continuación, se plantean una serie de unidades documentales y preguntas, las cuales se corresponden con los objetivos específicos y general de un estudio de carácter científico, lo cual se corresponde con la fase empírica del proceso.

Para establecer la validez de contenido de las unidades documentales y guía de entrevista se le ha suministrado un mapa de la categoría de análisis, en la cual se especifica la relación entre cada objetivo, subcategoría, indicadores, unidades documentales y preguntas.

Para emitir su juicio encontrará la tabla de evaluación específica, dentro de la cual se establecieron un conjunto de parámetros o criterios de evaluación que permitirán el análisis de cada uno de los indicadores en relación con las unidades documentales e ítem que se corresponden con la guía de entrevista.

Luego, encontrará la evaluación general donde debe señalar todos aquellos aspectos que a su juicio son relevantes para el desarrollo de la investigación.

Coloque por favor todas las observaciones que pueda tener y recuerde evaluar tomando en cuenta los objetivos que se pretenden lograr.

***Muchas gracias por su colaboración  
Bachiller en Ciencias Marítimas Cayle Angeles, Walter Javier  
Bachiller en Ciencias Marítimas Guevara Yubau, Elliot Saúl***

### Operacionalización de la categoría

**Objetivo general:** Conocer cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre, 2021.

Objetivos específicos	Categoría de análisis	Subcategorías	Indicadores	ENTREVISTA	
				DOCJMENTACIÓN	Ítems
Examinar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes	Repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre	Lubricación en motores de dos tiempos	Formación de ácido sulfúrico	1. Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)	1. ¿Ha tenido alguna experiencia respecto a la formación de ácido sulfúrico por un mal uso de aceites lubricantes en el motor principal?
			Número base	2. Impacto de límites de azufre de 2020 en aspectos de tribología en motores de dos tiempos (Affolter et al., 2019)	2. ¿Cómo se puede manejar una situación donde se evidencia la aparición de ácido sulfúrico por una inadecuada lubricación?
Identificar qué repercusiones presenta la lubricación en motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes	Repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre	Lubricación en motores de cuatro tiempos	Lubricación de cilindros	3. Una guía para las inquietudes sobre los combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020 (Thomas et al., 2019)	3. ¿Qué tipo de BN posee el lubricante que utiliza en el motor de su buque?
			Afectación	1. Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)	4.- ¿Por qué es importante regular el BN en el sistema de lubricación de cilindros?
			Problemas		5. ¿Cuál es la importancia de un monitoreo adecuado de la lubricación de cilindros?
			Lubricación actual		6. ¿Cómo se debe llevar a cabo la lubricación de cilindros por el uso de combustible con bajo contenido de azufre a partir de las normas OMI 2020?
					7. ¿Por qué los motores de cuatro tiempos tienden menos a ser afectados con el uso de combustibles con bajo contenido de azufre?
					8. ¿Ha evidenciado últimamente algún problema relacionado con fallas de lubricación en motores de cuatro tiempos?
					9.- ¿Cómo se realiza la lubricación actual en motores de cuatro tiempos?

<p>Señalar que acciones pueden tomarse en cuenta para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buques mercantes</p>	<p>maínos después del 2020 (Alfa Laval, 2018)</p> <p>1. Una descripción general de los lubricantes de motor en los buques (Shipinsigth, 2020)</p> <p>2. Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2017)</p> <p>3. VPS identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN (Ship &amp; Bunker, 2020)</p> <p>4. Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y como reducir el desgaste (MAN Diesel &amp; Turbo, 2017)</p>	<p>Proyección futura</p>	<p>10.- ¿Considera que la lubricación por el uso de combustible con bajo contenido de azufre cambiará en el futuro?</p> <p>11.- ¿Ha presenciado problemas respecto a la corrosión en frío?</p> <p>12.- ¿Cómo se podría manejar los problemas observados respecto a la corrosión en frío en motores marinos?</p> <p>13.- ¿Qué acciones se pueden establecer a bordo para reducir daños por excesiva lubricación?</p> <p>14.- ¿Qué actividades se pueden realizar para minimizar problemas relacionados con un insuficiente detergente y dispersante en la lubricación de cilindros?</p> <p>15.- ¿Ha tenido algún problema relacionado con finos catalíticos?</p> <p>16.- ¿Cómo se puede manejar la problemática con respecto a la aparición de finos catalíticos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre?</p>
<p>Acciones para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación</p>	<p>Corrosión en frío</p>	<p>Daños por excesiva lubricación</p> <p>Insuficiente detergente y dispersantes en la lubricación de cilindros</p>	
<p>Finos catalíticos</p>			

**Evaluación Específica de fuentes de información documental**

**Criterios de evaluación:**

1. Es acorde, se recomienda su uso.
2. No es del todo acorde, pero puede ayudar con información.
3. No es acorde, se recomienda restringir su uso.

Fuente	1	2	3
1. Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)	/		
2. Impacto de límites de azufre de 2020 en aspectos de tribología en motores de dos tiempos (Affolter et al., 2019)	/		
3. Una guía para las inquietudes sobre los combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020 (Thomas et al., 2019)	/		
4. Lubricación de motores marinos después del 2020 (Alfa Laval, 2018)	/		
5. Una descripción general de los lubricantes de motor en los buques (Shipinsigth, 2020)	/		
6. Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2017)	/		
7. VPS identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN (Ship & Bunker, 2020)	/		
8. Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y como reducir el desgaste (MAN Diesel & Turbo, 2017)	/		

**Acotaciones:** Ninguna Observación

---



---



---



---



---



---



---

## REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN BUQUES MERCANTES, 2021

### Evaluación Específica de guía de entrevista

**Criterios de evaluación:**

1. La redacción del ítem induce y sugiere la respuesta del mismo.
2. No es pertinente con el objeto formulario.
3. No presenta congruencia con la unidad de análisis.
4. Presenta confusión en su contenido.
5. Presenta demasiada información.
6. Su contenido es repetitivo.
7. Presenta una secuencia inadecuada.
8. Se recomienda su eliminación.
9. Es pertinente.

Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									✓
2									✓
3									✓
4									✓
5									✓
6									✓
7									✓
8									✓
9									✓
10									✓
11									✓
12									✓
13									✓
14									✓
15									✓
16									✓

**Observaciones:** GUÍA DE ENTREVISTA CORRECTA

---



---



---



---



---

**Evaluación General**

1. ¿La búsqueda de la información se corresponden con la categoría de análisis?

CORRECTO

2. ¿Las fuentes de información y guía de entrevista permiten alcanzar el objetivo de la investigación?

CORRECTO

3. Recomendaciones para mejorar la guía de entrevista

SIN RECOMENDACIONES

4. Recomendaciones generales para la investigación que se realiza

PROFUNDIZAR LO MAS POSIBLE EN EL FENOMENO DE ESTUDIOS.

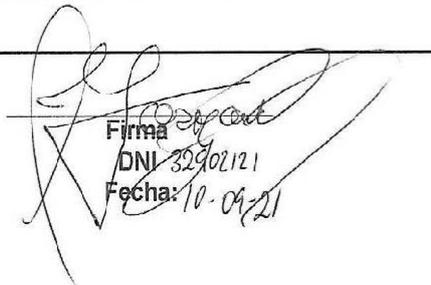
Nombre completo : INOCENCIO GONZALEZ CORDOVA

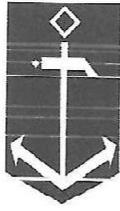
Profesión : JEFE DE MAQUINAS

Grado académico : SUPERIOR

Características que lo determinan como experto:

- 31 AÑOS DE EXPERIENCIA COMO OFICIAL DE HARINA MERCANTE
- 16 AÑOS DESEMPEÑANDO EL CARGO DE JEFE DE MAQUINAS  
A BORDO DE DIVERSOS BUQUES COMO PETROLERO, GASEROS,  
QUINTIQUEROS.

  
Firma  
DNI: 32902121  
Fecha: 10-09-21



**ENAMM**  
ALMIRANTE MIGUEL GRAU

**ESCUELA NACIONAL DE MARINA  
MERCANTE "ALMIRANTE MIGUEL  
GRAU"**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE MARINA MERCANTE:  
ESPECIALIDAD DE MÁQUINAS**

**REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR  
EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN  
BUQUES MERCANTES, 2021**

**"Guía para evaluar la validez de información documental y guía de  
entrevista"**

**Instrucciones generales:**

A continuación, se plantean una serie de unidades documentales y preguntas, las cuales se corresponden con los objetivos específicos y general de un estudio de carácter científico, lo cual se corresponde con la fase empírica del proceso.

Para establecer la validez de contenido de las unidades documentales y guía de entrevista se le ha suministrado un mapa de la categoría de análisis, en la cual se especifica la relación entre cada objetivo, subcategoría, indicadores, unidades documentales y preguntas.

Para emitir su juicio encontrará la tabla de evaluación específica, dentro de la cual se establecieron un conjunto de parámetros o criterios de evaluación que permitirán el análisis de cada uno de los indicadores en relación con las unidades documentales e ítem que se corresponden con la guía de entrevista.

Luego, encontrará la evaluación general donde debe señalar todos aquellos aspectos que a su juicio son relevantes para el desarrollo de la investigación.

Coloque por favor todas las observaciones que pueda tener y recuerde evaluar tomando en cuenta los objetivos que se pretenden lograr.

***Muchas gracias por su colaboración  
Bachiller en Ciencias Marítimas Cayle Angeles, Walter Javier  
Bachiller en Ciencias Marítimas Guevara Yubau, Elliot Saúl***

### Operacionalización de la categoría

**Objetivo general:** Conocer cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre, 2021.

Objetivos específicos	Categoría de análisis	Subcategorías	Indicadores	DOCJMENTACIÓN		ENTREVISTA			
				Items	Items				
Examinar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes	Repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre	Lubricación en motores de dos tiempos	Formación de ácido sulfúrico	Direcciones para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)	1. ¿Ha tenido alguna experiencia respecto a la formación de ácido sulfúrico por un mal uso de aceites lubricantes en el motor principal? 2. ¿Cómo se puede manejar una situación donde se evidencia la aparición de ácido sulfúrico por una inadecuada lubricación? 3. ¿Qué tipo de BN posee el lubricante que utiliza en el motor de su buque? 4.- ¿Por qué es importante regular el BN en el sistema de lubricación de cilindros?	5. ¿Cuál es la importancia de un monitoreo adecuado de la lubricación de cilindros? 6. ¿Cómo se debe llevar a cabo la lubricación de cilindros por el uso de combustible con bajo contenido de azufre a partir de las normas OMI 2020?			
								Número base	2. Impacto de límites de azufre de 2020 en aspectos de tribología en motores de dos tiempos (Affolter et al., 2019)
Identificar qué repercusiones presenta la lubricación en motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes		Lubricación en motores de cuatro tiempos	Afectación	Una guía para las inquietudes sobre los combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020 (Thomas et al., 2019)	3. ¿Cómo se debe llevar a cabo la lubricación de cilindros por el uso de combustible con bajo contenido de azufre a partir de las normas OMI 2020?	7. ¿Por qué los motores de cuatro tiempos tienden menos a ser afectados con el uso de combustibles con bajo contenido de azufre? 8. ¿Ha evidenciado últimamente algún problema relacionado con fallas de lubricación en motores de cuatro tiempos? 9.- ¿Cómo se realiza la lubricación actual en motores de cuatro tiempos?			
								Lubricación de cilindros	1. Direcciones para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)
								Problemas	2. Lubricación de motores
			Lubricación actual						

<p>Señalar que acciones pueden tomarse en cuenta para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buques mercantes</p>		<p>Acciones para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación</p>	<p>Proyección futura</p> <p>Corrosión en frío</p> <p>Daños por excesiva lubricación</p> <p>Insuficiente detergentes y dispersantes en la lubricación de cilindros</p> <p>Finos catalíticos</p>	<p>marinos después del 2020 (Alfa Laval, 2018)</p> <p>1. Una descripción general de los lubricantes de motor en los buques (Shipinsigth, 2020)</p> <p>2. Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2017)</p> <p>3. VPS Identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN (Ship &amp; Bunker, 2020)</p> <p>4. Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y como reducir el desgaste (MAN Diesel &amp; Turbo, 2017)</p>	<p>10.- ¿Considera que la lubricación por el uso de combustible con bajo contenido de azufre cambiará en el futuro?</p> <p>11.- ¿Ha presenciado problemas respecto a la corrosión en frío?</p> <p>12.- ¿Cómo se podría manejar los problemas observados respecto a la corrosión en frío en motores marinos?</p> <p>13.- ¿Qué acciones se pueden establecer a bordo para reducir daños por excesiva lubricación?</p> <p>14.- ¿Qué actividades se pueden realizar para minimizar problemas relacionados con un insuficiente detergente y dispersante en la lubricación de cilindros?</p> <p>15.- ¿Ha tenido algún problema relacionado con finos catalíticos?</p> <p>16.- ¿Cómo se puede manejar la problemática con respecto a la aparición de finos catalíticos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre?</p>
--	--	---	--	--	---



**REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR EL  
USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN BUQUES  
MERCANTES, 2021**

**Evaluación Específica de guía de entrevista**

**Criterios de evaluación:**

1. La redacción del ítem induce y sugiere la respuesta del mismo.
2. No es pertinente con el objeto formulario.
3. No presenta congruencia con la unidad de análisis.
4. Presenta confusión en su contenido.
5. Presenta demasiada información.
6. Su contenido es repetitivo.
7. Presenta una secuencia inadecuada.
8. Se recomienda su eliminación.
9. Es pertinente.

Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									X
3									X
4									X
5									X
6									X
7									X
8									X
9									X
10									X
11									X
12									X
13									X
14									X
15									X
16									X

**Observaciones:**

*TODO CONFORME*

---



---



---



---



---

**Evaluación General**

1. ¿La búsqueda de la información se corresponden con la categoría de análisis?

Si corresponde

2. ¿Las fuentes de información y guía de entrevista permiten alcanzar el objetivo de la investigación?

Si

3. Recomendaciones para mejorar la guía de entrevista

todo en orden, guía correcta

4. Recomendaciones generales para la investigación que se realiza

Sin recomendaciones

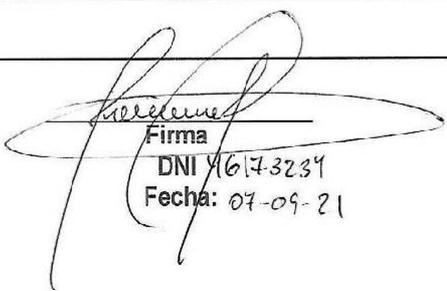
Nombre completo : Renzo Mauricio Roque Flores

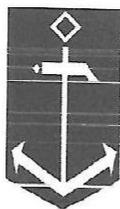
Profesión : Marino Mercante

Grado académico : Superior

Características que lo determinan como experto:

- Oficial de Marina Mercante egresado de ENAMM (Escuela Nacional de Marina Mercante)
- Estudios de Alto Rendimiento en TEGP (CTEX) en la carrera de Mantenimiento Industrial.

  
Firma  
DNI 46173239  
Fecha: 07-09-21



**ENAMM**  
ALMIRANTE MIGUEL GRAU

**ESCUELA NACIONAL DE MARINA  
MERCANTE "ALMIRANTE MIGUEL  
GRAU"**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE MARINA MERCANTE:  
ESPECIALIDAD DE MÁQUINAS**

**REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR  
EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN  
BUQUES MERCANTES, 2021**

**"Guía para evaluar la validez de información documental y guía de  
entrevista"**

**Instrucciones generales:**

A continuación, se plantean una serie de unidades documentales y preguntas, las cuales se corresponden con los objetivos específicos y general de un estudio de carácter científico, lo cual se corresponde con la fase empírica del proceso.

Para establecer la validez de contenido de las unidades documentales y guía de entrevista se le ha suministrado un mapa de la categoría de análisis, en la cual se especifica la relación entre cada objetivo, subcategoría, indicadores, unidades documentales y preguntas.

Para emitir su juicio encontrará la tabla de evaluación específica, dentro de la cual se establecieron un conjunto de parámetros o criterios de evaluación que permitirán el análisis de cada uno de los indicadores en relación con las unidades documentales e ítem que se corresponden con la guía de entrevista.

Luego, encontrará la evaluación general donde debe señalar todos aquellos aspectos que a su juicio son relevantes para el desarrollo de la investigación.

Coloque por favor todas las observaciones que pueda tener y recuerde evaluar tomando en cuenta los objetivos que se pretenden lograr.

*Muchas gracias por su colaboración  
Bachiller en Ciencias Marítimas Cayle Angeles, Walter Javier  
Bachiller en Ciencias Marítimas Guevara Yubau, Elliot Saúl*

### Operacionalización de la categoría

**Objetivo general:** Conocer cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre, 2021.

			DOCUMENTACIÓN	ENTREVISTA Ítems
Objetivos específicos	Categoría de análisis	Subcategorías	Indicadores	
Examinar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes	Repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre	Lubricación en motores de dos tiempos	Formación de ácido sulfúrico	1. ¿Ha tenido alguna experiencia respecto a la formación de ácido sulfúrico por un mal uso de aceites lubricantes en el motor principal? 2. ¿Cómo se puede manejar una situación donde se evidencia la aparición de ácido sulfúrico por una inadecuada lubricación? 3. ¿Qué tipo de BN posee el lubricante que utiliza en el motor de su buque? 4.- ¿Por qué es importante regular el BN en el sistema de lubricación de cilindros?
			Número base	5. ¿Cuál es la importancia de un monitoreo adecuado de la lubricación de cilindros? 6. ¿Cómo se debe llevar a cabo la lubricación de cilindros por el uso de combustible con bajo contenido de azufre a partir de las normas OMI 2020?
Identificar qué repercusiones presenta la lubricación en motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes		Lubricación en motores de cuatro tiempos	Lubricación de cilindros	7. ¿Por qué los motores de cuatro tiempos tienden menos a ser afectados con el uso de combustibles con bajo contenido de azufre? 8. ¿Ha evidenciado últimamente algún problema relacionado con fallas de lubricación en motores de cuatro tiempos? 9.- ¿Cómo se realiza la lubricación actual en motores de cuatro tiempos?
			Afectación	
			Problemas	
			Lubricación actual	

<p>Señalar que acciones pueden tomarse en cuenta para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buques mercantes</p>			<p>Proyección futura</p>	<p>marinos después del 2020 (Alfa Laval, 2018)</p>	<p>10.- ¿Considera que la lubricación por el uso de combustible con bajo contenido de azufre cambiará en el futuro?</p>
		<p>Acciones para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación</p>	<p>Corrosión en frío</p> <p>Daños por excesiva lubricación</p> <p>Insuficiente detergentes y dispersantes en la lubricación de cilindros</p> <p>Finos catalíticos</p>	<p>1. Una descripción general de los lubricantes de motor en los buques (Shipinsigth, 2020)</p> <p>2. Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2017)</p> <p>3. VPS identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN (Ship &amp; Bunker, 2020)</p> <p>4. Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y como reducir el desgaste (MAN Diesel &amp; Turbo, 2017)</p>	<p>11.- ¿Ha presenciado problemas respecto a la corrosión en frío?</p> <p>12.- ¿Cómo se podría manejar los problemas observados respecto a la corrosión en frío en motores marinos?</p> <p>13.- ¿Qué acciones se pueden establecer a bordo para reducir daños por excesiva lubricación?</p> <p>14.- ¿Qué actividades se pueden realizar para minimizar problemas relacionados con un insuficiente detergente y dispersante en la lubricación de cilindros?</p> <p>15.- ¿Ha tenido algún problema relacionado con finos catalíticos?</p> <p>16.- ¿Cómo se puede manejar la problemática con respecto a la aparición de finos catalíticos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre?</p>

**Evaluación Específica de fuentes de información documental**

**Criterios de evaluación:**

1. Es acorde, se recomienda su uso.
2. No es del todo acorde, pero puede ayudar con información.
3. No es acorde, se recomienda restringir su uso.

Fuente	1	2	3
1. Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)	✓		
2. Impacto de límites de azufre de 2020 en aspectos de tribología en motores de dos tiempos (Affolter et al., 2019)	✓		
3. Una guía para las inquietudes sobre los combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020 (Thomas et al., 2019)	✓		
4. Lubricación de motores marinos después del 2020 (Alfa Laval, 2018)	✓		
5. Una descripción general de los lubricantes de motor en los buques (Shipinsigth, 2020)	✓		
6. Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2017)	✓		
7. VPS identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN (Ship & Bunker, 2020)	✓		
8. Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y como reducir el desgaste (MAN Diesel & Turbo, 2017)	✓		

**Acotaciones:**

ES ACORDE A TODO LO PLASMADO LINEAS ARRIBA,  
 COMO RECOMENDACION SE DEBERIA AGREGAR 02  
 REFERENCIAS MAS.



### Evaluación General

1. ¿La búsqueda de la información se corresponden con la categoría de análisis?

EXACTAMENTE, SE DEBERIA REVISAR NUEVAMENTE

2. ¿Las fuentes de información y guía de entrevista permiten alcanzar el objetivo de la investigación?

SI CORRESPONDEN CON LOS OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICO

3. Recomendaciones para mejorar la guía de entrevista

NINGUNA

4. Recomendaciones generales para la investigación que se realiza

DESCRIBIR CATEGORÍAS A PROFUNDIDAD LAS CUALES AYUDAN A ESTABLECER IDEAS PRINCIPALES CON LO CUAL SE ESTABLECEN CATEGORÍAS EMERGENTES CONCRETAS

Nombre completo : JEAN PIERRE CANTAGENA DE LA CRUZ

Profesión : MARINO MEGATON

Grado académico : SUPERIOR

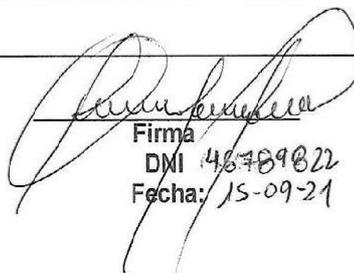
Características que lo determinan como experto:

- 6 AÑOS DE EXPERIENCIA EN BUQUES PETROLEROS

Y GASEROS EN LA EMPRESA TRANSGAS SHIPPING LINES

- HA REALIZADO NAVEGACIONES EN EL LITORAL PERUANO Y EL EXTRANJERO

- ACTUALMENTE 2º OFICIAL DEL BUQUE GASERO KEMPTON.

  
Firma  
DMI 48789822  
Fecha: 15-09-21



**ESCUELA NACIONAL DE MARINA  
MERCANTE "ALMIRANTE MIGUEL  
GRAU"**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE MARINA MERCANTE:  
ESPECIALIDAD DE MÁQUINAS**

**REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR  
EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN  
BUQUES MERCANTES, 2021**

**"Guía para evaluar la validez de información documental y guía de  
entrevista"**

**Instrucciones generales:**

A continuación, se plantean una serie de unidades documentales y preguntas, las cuales se corresponden con los objetivos específicos y general de un estudio de carácter científico, lo cual se corresponde con la fase empírica del proceso.

Para establecer la validez de contenido de las unidades documentales y guía de entrevista se le ha suministrado un mapa de la categoría de análisis, en la cual se especifica la relación entre cada objetivo, subcategoría, indicadores, unidades documentales y preguntas.

Para emitir su juicio encontrará la tabla de evaluación específica, dentro de la cual se establecieron un conjunto de parámetros o criterios de evaluación que permitirán el análisis de cada uno de los indicadores en relación con las unidades documentales e ítem que se corresponden con la guía de entrevista.

Luego, encontrará la evaluación general donde debe señalar todos aquellos aspectos que a su juicio son relevantes para el desarrollo de la investigación.

Coloque por favor todas las observaciones que pueda tener y recuerde evaluar tomando en cuenta los objetivos que se pretenden lograr.

***Muchas gracias por su colaboración  
Bachiller en Ciencias Marítimas Cayle Angeles, Walter Javier  
Bachiller en Ciencias Marítimas Guevara Yubau, Elliot Saúl***

### Operacionalización de la categoría

**Objetivo general:** Conocer cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre, 2021.

Objetivos específicos	Categoría de análisis	Subcategorías	Indicadores	DOCUMENTACIÓN	ENTREVISTA ítems
Examinar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes	Repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre	Lubricación en motores de dos tiempos	Formación de ácido sulfúrico	1. Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)	1. ¿Ha tenido alguna experiencia respecto a la formación de ácido sulfúrico por un mal uso de aceites lubricantes en el motor principal?
			Número base	2. Impacto de límites de azufre de 2020 en aspectos de tribología en motores de dos tiempos (Affolter et al., 2019)	2. ¿Cómo se puede manejar una situación donde se evidencia la aparición de ácido sulfúrico por una inadecuada lubricación?
Identificar qué repercusiones presenta la lubricación en motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes		Lubricación en motores de cuatro tiempos	Lubricación de cilindros	3. Una guía para las inquietudes sobre los combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020 (Thomas et al., 2019)	3. ¿Qué tipo de BN posee el lubricante que utiliza en el motor de su buque?
			Afectación	1. Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)	4.- ¿Por qué es importante regular el BN en el sistema de lubricación de cilindros?
			Problemas		5. ¿Cuál es la importancia de un monitoreo adecuado de la lubricación de cilindros?
			Lubricación actual	2. Lubricación de motores	6. ¿Cómo se debe llevar a cabo la lubricación de cilindros por el uso de combustible con bajo contenido de azufre a partir de las normas OMI 2020?
					7. ¿Por qué los motores de cuatro tiempos tienden menos a ser afectados con el uso de combustibles con bajo contenido de azufre?
					8. ¿Ha evidenciado últimamente algún problema relacionado con fallas de lubricación en motores de cuatro tiempos?
					9.- ¿Cómo se realiza la lubricación actual en motores de cuatro tiempos?

<p>Señalar que acciones pueden tomarse en cuenta para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación en buques mercantes</p>		<p>Acciones para evitar daños en el motor relacionados al uso de combustible con bajo contenido de azufre y lubricación</p>	<p>Proyección futura</p> <p>Corrosión en frío</p> <p>Daños por excesiva lubricación</p> <p>Insuficiente detergentes / dispersantes en la lubricación de cilindros</p> <p>Finos catalíticos</p>	<p>maínos después del 2020 (Alfa Laval, 2018)</p> <p>1. Una descripción general de los lubricantes de motor en los buques (Shipinsigh, 2020)</p> <p>2. Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2017)</p> <p>3. VPS Identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN (Ship &amp; Bunker, 2020)</p> <p>4. Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y como reducir el desgaste (MAN Diesel &amp; Turbo, 2017)</p>	<p>10.- ¿Considera que la lubricación por el uso de combustible con bajo contenido de azufre cambiará en el futuro?</p> <p>11.- ¿Ha presenciado problemas respecto a la corrosión en frío?</p> <p>12.- ¿Cómo se podría manejar los problemas observados respecto a la corrosión en frío en motores marinos?</p> <p>13.- ¿Qué acciones se pueden establecer a bordo para reducir daños por excesiva lubricación?</p> <p>14.- ¿Qué actividades se pueden realizar para minimizar problemas relacionadas con un insuficiente detergente y dispersante en la lubricación de cilindros?</p> <p>15.- ¿Ha tenido algún problema relacionado con finos catalíticos?</p> <p>16.- ¿Cómo se puede manejar la problemática con respecto a la aparición de finos catalíticos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre?</p>
--	--	---	--	--	---

**Evaluación Específica de fuentes de información documental**

**Criterios de evaluación:**

1. Es acorde, se recomienda su uso.
2. No es del todo acorde, pero puede ayudar con información.
3. No es acorde, se recomienda restringir su uso.

Fuente	1	2	3
1. Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)			✓
2. Impacto de límites de azufre de 2020 en aspectos de tribología en motores de dos tiempos (Affolter et al., 2019)			✓
3. Una guía para las inquietudes sobre los combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020 (Thomas et al., 2019)			✓
4. Lubricación de motores marinos después del 2020 (Alfa Laval, 2018)			✓
5. Una descripción general de los lubricantes de motor en los buques (Shipinsigh, 2020)			✓
6. Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2017)			✓
7. VPS identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN (Ship & Bunker, 2020)			✓
8. Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y como reducir el desgaste (MAN Diesel & Turbo, 2017)			✓
			✓

**Acotaciones:** LOS DOCUMENTOS SON CORRECTOS

---



---



---



---



---



---



---

## REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN BUQUES MERCANTES, 2021

### Evaluación Específica de guía de entrevista

**Criterios de evaluación:**

1. La redacción del ítem induce y sugiere la respuesta del mismo.
2. No es pertinente con el objeto formulario.
3. No presenta congruencia con la unidad de análisis.
4. Presenta confusión en su contenido.
5. Presenta demasiada información.
6. Su contenido es repetitivo.
7. Presenta una secuencia inadecuada.
8. Se recomienda su eliminación.
9. Es pertinente.

Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									✓
2									✓
3									✓
4									✓
5									✓
6									✓
7									✓
8									✓
9									✓
10									✓
11									✓
12									✓
13									✓
14									✓
15									✓
16									✓

**Observaciones:** ENTREVISTA ACOGE Y PLANTEA DE MANERA  
CORRECTA

---



---



---



---



---

**Evaluación General**

1. ¿La búsqueda de la información se corresponden con la categoría de análisis?

DEFINITIVAMENTE SI SE CORRESPONDEN

2. ¿Las fuentes de información y guía de entrevista permiten alcanzar el objetivo de la investigación?

SON SUFICIENTES PARA RESPONDER A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN Y PODER ESTABLECER UNA ADECUADA TEORIZACIÓN

3. Recomendaciones para mejorar la guía de entrevista

NINGUNA

4. Recomendaciones generales para la investigación que se realiza

SE RECOMIENDA UNA MAYOR PROFUNDIZACIÓN EN EL ANALISIS

**Nombre completo** : CARLOS BORJA GARCÍA

**Profesión** : OFICIAL DE MARINA MERCANTE

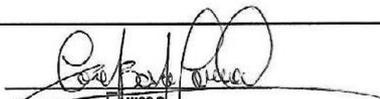
**Grado académico** : DOCTOR EN CIENCIAS MARÍTIMAS

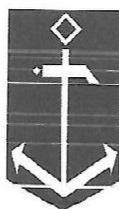
**Características que lo determinan como experto:**

OFICIAL DE MARINA MERCANTE CON 32 AÑOS DE EXPERIENCIA EN

EL RUBRO MARÍTIMO Y PORTUARIO, DOCENTE UNIVERSITARIO CON EL

GRADO DE DR. EN CIENCIAS MARÍTIMAS.

  
Firma  
DNI 08538452  
Fecha: 09-09-2021



**ENAMM**  
ALMIRANTE MIGUEL GRAU

**ESCUELA NACIONAL DE MARINA  
MERCANTE "ALMIRANTE MIGUEL  
GRAU"**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE MARINA MERCANTE:  
ESPECIALIDAD DE MÁQUINAS**

**REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR  
EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN  
BUQUES MERCANTES, 2021**

**"Guía para evaluar la validez de información documental y guía de  
entrevista"**

**Instrucciones generales:**

A continuación, se plantean una serie de unidades documentales y preguntas, las cuales se corresponden con los objetivos específicos y general de un estudio de carácter científico, lo cual se corresponde con la fase empírica del proceso.

Para establecer la validez de contenido de las unidades documentales y guía de entrevista se le ha suministrado un mapa de la categoría de análisis, en la cual se especifica la relación entre cada objetivo, subcategoría, indicadores, unidades documentales y preguntas.

Para emitir su juicio encontrará la tabla de evaluación específica, dentro de la cual se establecieron un conjunto de parámetros o criterios de evaluación que permitirán el análisis de cada uno de los indicadores en relación con las unidades documentales e ítem que se corresponden con la guía de entrevista.

Luego, encontrará la evaluación general donde debe señalar todos aquellos aspectos que a su juicio son relevantes para el desarrollo de la investigación.

Coloque por favor todas las observaciones que pueda tener y recuerde evaluar tomando en cuenta los objetivos que se pretenden lograr.

***Muchas gracias por su colaboración  
Bachiller en Ciencias Marítimas Cayle Angeles, Walter Javier  
Bachiller en Ciencias Marítimas Guevara Yubau, Elliot Saúl***

### Operacionalización de la categoría

**Objetivo general:** Conocer cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre, 2021.

Objetivos específicos	Categoría de análisis	Subcategorías	Indicadores	DOCUMENTACIÓN	ENTREVISTA ítems
Examinar cuáles son las repercusiones en la lubricación de motores de dos tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes	Repercusiones en la lubricación de motores marinos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre	Lubricación en motores de dos tiempos	Formación de ácido sulfúrico	1. Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)	1. ¿Ha tenido alguna experiencia respecto a la formación de ácido sulfúrico por un mal uso de aceites lubricantes en el motor principal?
			Número base	2. Impacto de límites de azufre de 2020 en aspectos de tribología en motores de dos tiempos (Affolter et al., 2019)	2. ¿Cómo se puede manejar una situación donde se evidencia la aparición de ácido sulfúrico por una inadecuada lubricación?
Identificar qué repercusiones presenta la lubricación en motores de cuatro tiempos por el uso de combustible con bajo contenido de azufre en buques mercantes		Lubricación en motores de cuatro tiempos	Lubricación de cilindros	3. Una guía para las inquietudes sobre los combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020 (Thomas et al., 2019)	3. ¿Qué tipo de BN posee el lubricante que utiliza en el motor de su buque? 4.- ¿Por qué es importante regular el BN en el sistema de lubricación de cilindros?
			Afectación	1. Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)	5. ¿Cuál es la importancia de un monitoreo adecuado de la lubricación de cilindros? 6. ¿Cómo se debe llevar a cabo la lubricación de cilindros por el uso de combustible con bajo contenido de azufre a partir de las normas OMI 2020?
			Problemas		7. ¿Por qué los motores de cuatro tiempos tienden menos a ser afectados con el uso de combustibles con bajo contenido de azufre?
			Lubricación actual	2. Lubricación de motores	8. ¿Ha evidenciado últimamente algún problema relacionado con fallas de lubricación en motores de cuatro tiempos? 9.- ¿Cómo se realiza la lubricación actual en motores de cuatro tiempos?

**Evaluación Específica de fuentes de información documental**

**Criterios de evaluación:**

1. Es acorde, se recomienda su uso.
2. No es del todo acorde, pero puede ayudar con información.
3. No es acorde, se recomienda restringir su uso.

Fuente	1	2	3
1. Directrices para la lubricación de motores diésel: Impacto en la lubricación de motores marinos que utilizan combustible con bajo contenido de azufre (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2007)	X		
2. Impacto de límites de azufre de 2020 en aspectos de tribología en motores de dos tiempos (Affolter et al., 2019)	X		
3. Una guía para las inquietudes sobre los combustibles, lubricantes y motores en relación con las normas de reducción de azufre OMI 2020 (Thomas et al., 2019)	X		
4. Lubricación de motores marinos después del 2020 (Alfa Laval, 2018)	X		
5. Una descripción general de los lubricantes de motor en los buques (Shipinsigth, 2020)	X		
6. Corrosión en frío en motores marinos de dos tiempos (Consejo Internacional de Motores de Combustión Interna, 2017)	X		
7. VPS identifica 40 buques con daños en el motor utilizando una combinación de lubricantes VLSFO y 40 BN (Ship & Bunker, 2020)	X		
8. Finos catalíticos: Impacto en el desgaste del motor y como reducir el desgaste (MAN Diesel & Turbo, 2017)	X		

**Acotaciones:** \_\_\_\_\_

S EN NOVEDADES

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR EL  
USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN BUQUES  
MERCANTES, 2021**

**Evaluación Especifica de guía de entrevista**

**Criterios de evaluación:**

1. La redacción del ítem induce y sugiere la respuesta del mismo.
2. No es pertinente con el objeto formulario.
3. No presenta congruencia con la unidad de análisis.
4. Presenta confusión en su contenido.
5. Presenta demasiada información.
6. Su contenido es repetitivo.
7. Presenta una secuencia inadecuada.
8. Se recomienda su eliminación.
9. Es pertinente.

Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									X
2									X
3									X
4									X
5									X
6									X
7									X
8									X
9									X
10									X
11									X
12									X
13									X
14									X
15									X
16									X

**Observaciones:**

SE DEBERIA REVISAR LA REDACCION NOCEDAMENTE

**Evaluación General**

1. ¿La búsqueda de la información se corresponden con la categoría de análisis?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
SÍ

2. ¿Las fuentes de información y guía de entrevista permiten alcanzar el objetivo de la investigación?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
SÍ

3. Recomendaciones para mejorar la guía de entrevista

\_\_\_\_\_  
BUCAR QUE EL ENTREVISTADO PROPORCIONE INFORMACION  
RELEVANTE PARA VERIFICAR EL RIGOR RESPECTO A LA VALIDEZ

4. Recomendaciones generales para la investigación que se realiza

\_\_\_\_\_  
ESTABLECER LOS RESULTADOS DE MANERA COHERENTE

Nombre completo : CABALLERO HERRERA, DANIEL BENJAMIN

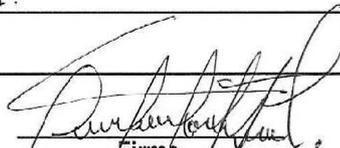
Profesión : MARINA MERCANTE

Grado académico : SUPERIOR

Características que lo determinan como experto:

\_\_\_\_\_  
MARINA MERCANTE, OFICIAL DE MAQUINAS, EXPERIENCIA LABORAL DESDE  
EL 2013 EN EL AMBITO MARITIMO, ENCARGADO DE LA PROPOUSION DEL  
BUQUE Y EQUIPOS AUXILIARES.

\_\_\_\_\_  
EXPERIENCIA CON PLANTAS DE GENERACION DE GAS INGLETE, MOTORES  
AUXILIARES, PURIFICADORAS, MOTOR PRINCIPAL, BOMBAS EN GENERAL,  
BOMBAS A TURBINA.

\_\_\_\_\_  
  
Firma  
DMI 46984474  
Fecha: 20-04-21

## **ANEXO 4**

### **CONSENTIMIENTO INFORMADO APLICADO ANTES DE REALIZAR ENTREVISTAS A LA MUESTRA COMPUESTA POR SUJETOS**

#### **CONSENTIMIENTO INFORMADO**

“REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN BUQUES MERCANTES, 2021”

Yo, \_\_\_\_\_, identificado con el número de DNI que aparece al pie de mi firma, acepto participar de manera voluntaria del proceso de recolección de datos e información para el trabajo de investigación en mención, realizado por los investigadores:

-Bachiller en Ciencias Marítimas CAYLE ANGELES, WALTER JAVIER

-Bachiller en Ciencias Marítimas GUEVARA YUBAU, ELLIOT SAÚL

Accedo a participar y me comprometo a responder las preguntas que se me hagan de la forma más honesta posible, así como de participar en caso de ser requerido en actividades propias del proceso. Autorizo a que lo hablado durante las entrevistas o sesiones de trabajo sea grabado en video o en audio, así como también autorizo a que los datos que se obtengan del proceso de investigación sean utilizados, para efectos de sistematización y publicación del resultado final de la investigación.

Las personas que realizan el estudio garantizan que, en todo momento, la información recogida a los participantes será confidencial y sus datos serán tratados de forma anónima

Expreso que los investigadores me han explicado con antelación el objetivo y alcances de dicho proceso.

Firma: \_\_\_\_\_

DNI:

Cargo:

Fecha:

**INFORMED CONSENT**

"REPERCUSSIONS ON MARINE ENGINE LUBRICATION BY THE USE OF LOW  
SULFUR FUEL IN MERCHANT SHIPS, 2021".

I, \_\_\_\_\_, identified with the passport number that appears at the bottom of my signature, agree to voluntarily participate in the process of data and information collection for the research work in mention, carried out by the researchers:

-Bachelor in Maritime Sciences CAYLE ANGELES, WALTER JAVIER

-Bachelor in Maritime Sciences GUEVARA YUBAU, ELLIOT SAUL

I agree to participate and commit myself to answer the questions asked of me in the most honest way possible, as well as to participate, if required, in the activities of the process. I authorize that what is said during the interviews or work sessions be recorded on video or audio, as well as I authorize that the data obtained from the research process be used for the purposes of systematization and publication of the final result of the research.

The persons conducting the study guarantee that, at all times, the information collected from the participants will be confidential and their data will be treated anonymously.

I express that the researchers have explained to me in advance the objective and scope of said process.

Signature: \_\_\_\_\_

Passport:

Occupation:

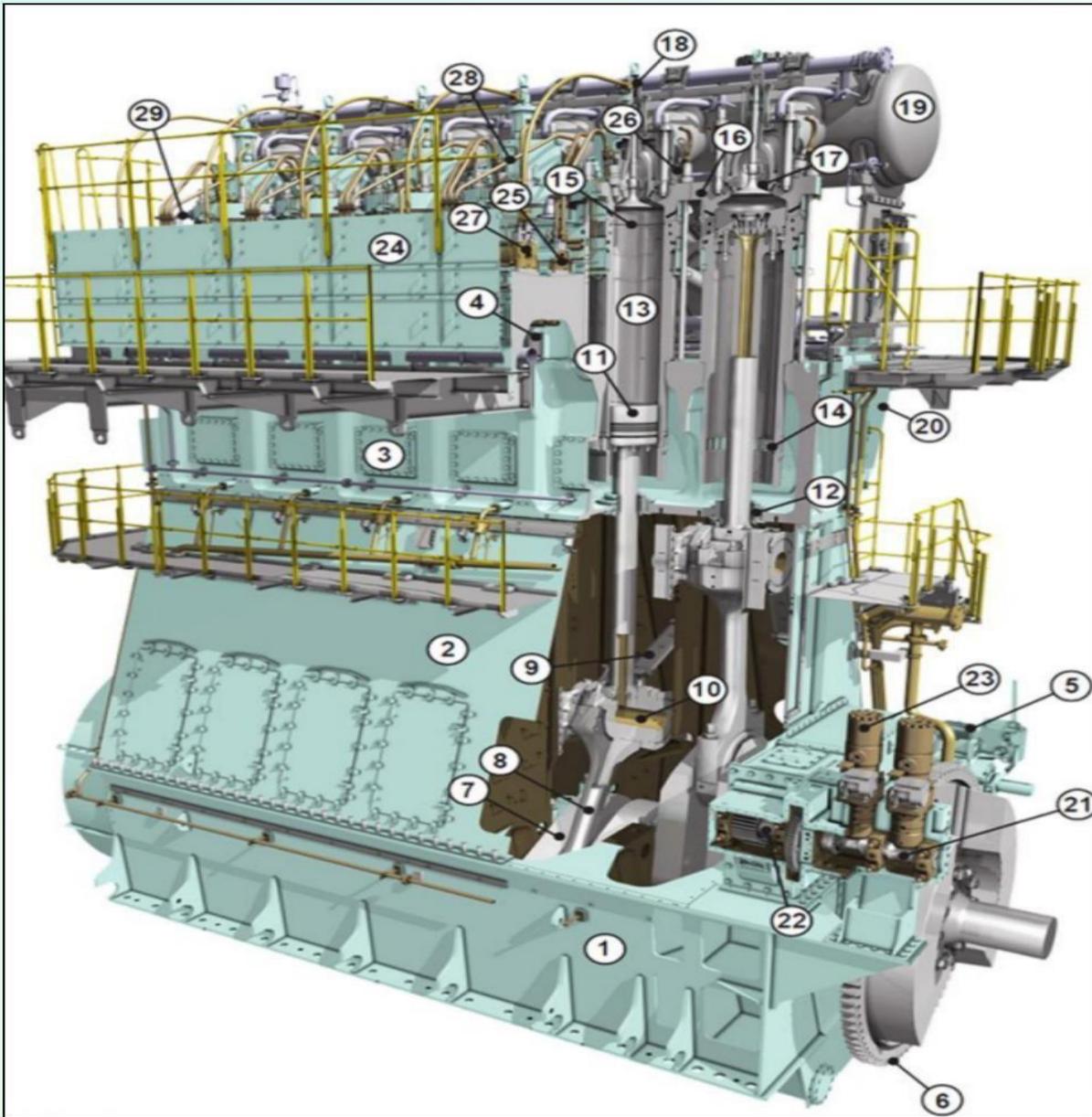
Date:

## ANEXO 6

GUÍA DE APRENDIZAJE RELACIONADO A REPERCUSIONES EN LA LUBRICACIÓN DE MOTORES MARINOS POR EL USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE EN BUQUES MERCANTES

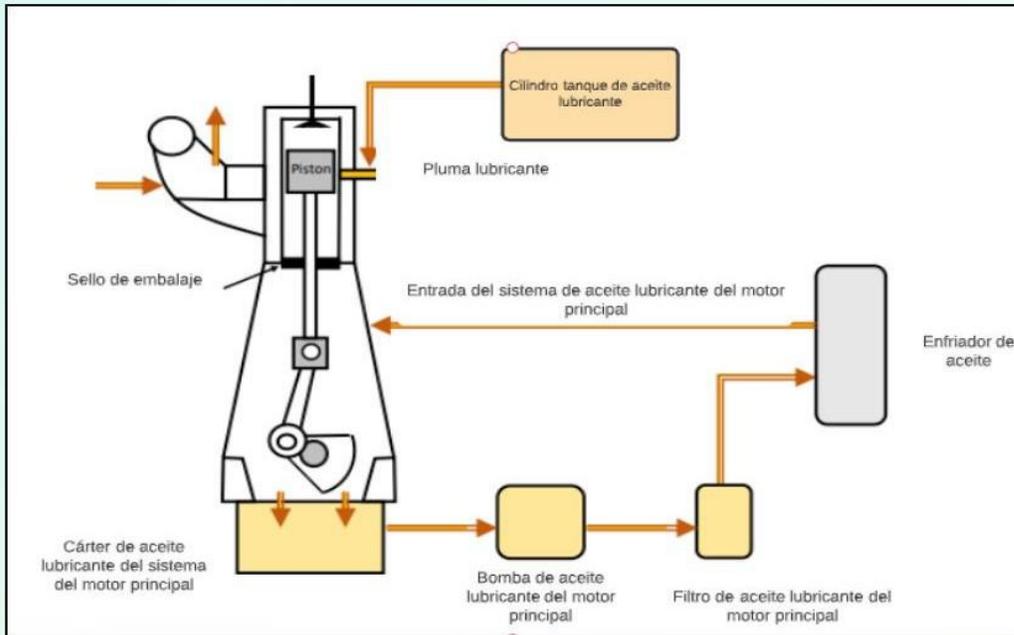
# MOTORES DE 2 TIEMPOS

1) Motor de 2 tiempos y sus partes:



1. Bancada
3. Bloque cilíndrico
6. Volante
7. Cigüeñal
8. Biela
10. Cruceta
11. Pistón
13. Camisa del cilindro
15. Anillo antipulido
16. Tapa del cilindro
17. Válvula de escape
19. Colector de escape
21. Unidad de suministros
22. Unidad de alimentación de ruedas dentadas
23. Bombas de combustibles
24. Unidad de riel
25. Carril común de combustible
26. Inyector de combustible
27. Riel de aceite
28. Tuberías de alta presión
29. Válvula de aire de arranque

## 2) Sistema de lubricación del motor de 2 tiempos en cruceta:



### ¿Sabías qué?

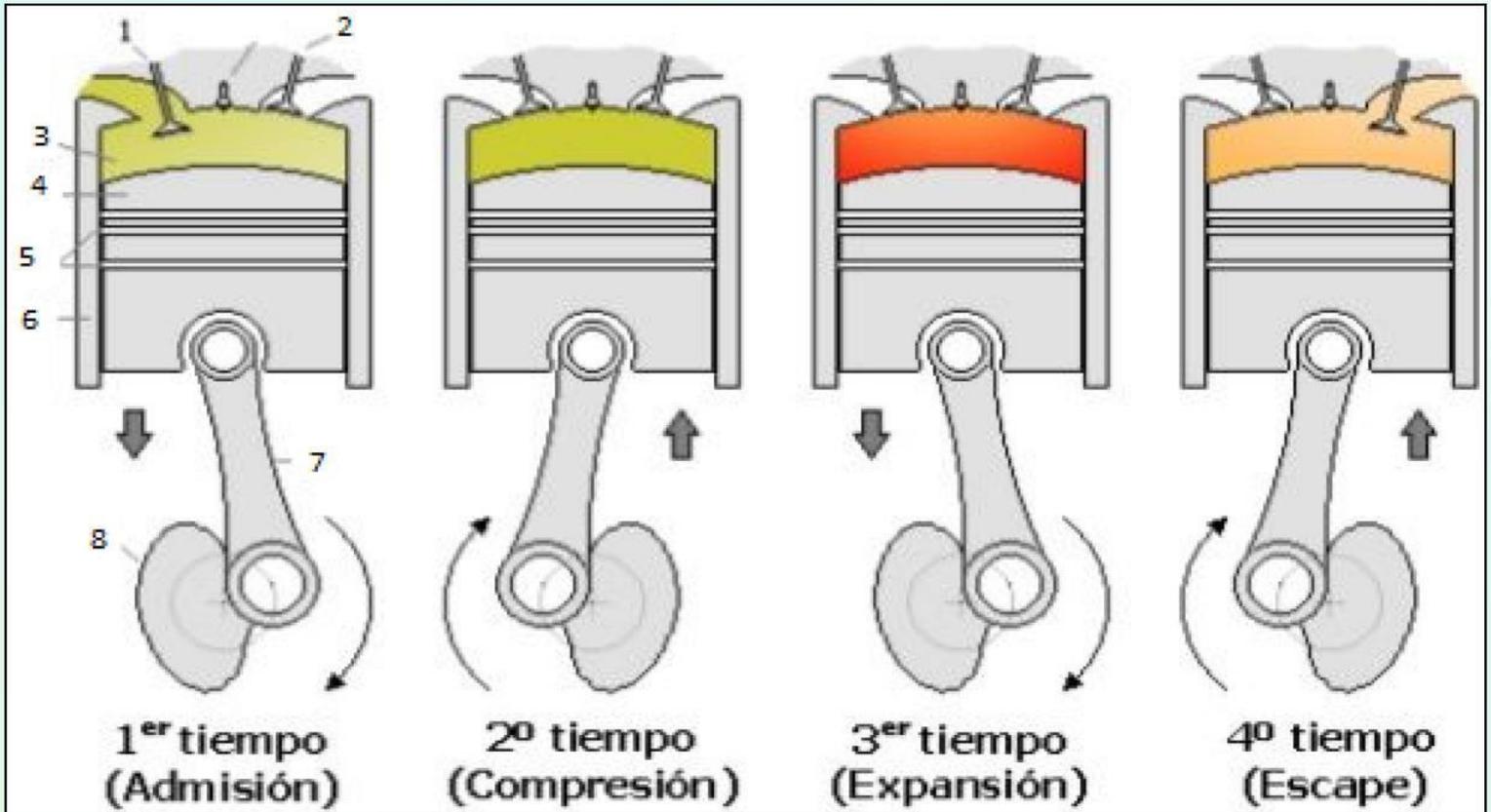
- El sistema de lubricación para motores de dos tiempos en cruzada tiene dos sistemas de lubricación separados.
- El aceite de cárter, lubrica los cojinetes principales y el conjunto de crucetas.
- Los aceites de cárter no se contaminan con los productos de combustión y los gases de escape.
- Los aceites del cilindro sí se contaminan con los productos de combustión y con los gases de escape.
- El sistema CLO proporciona lubricidad a los anillos del pistón, así como la camisa del cilindro, a fin de neutralizar el ácido producido.

## 3) Medidas preventivas:

- Los aceites de lubricación con mayor BN brindan una mejor protección contra la corrosión en frío.
- Las tasas de alimentación deben optimizarse analizando el aceite de la parte inferior del pistón (aceite raspado).
- Los combustibles con alto contenido de azufre conllevan un mayor riesgo de corrosión y la necesidad de usar aceites con alto contenido de BN.
- Algunos tipos de motores se benefician de una baja temperatura del aire de barrido y otros de una temperatura más alta, asegurándose de comprender los motores específicos del barco y tener los últimos boletines relevantes.
- El aceite lubricante debe mantenerse en buen estado para el buen funcionamiento del motor.
- La cámara de barrido, colector de agua nebulizada, receptor y parte inferior del pistón deben mantenerse limpios y sin obstrucciones.
- Realizar pruebas de respaldo de aceite (pruebas de laboratorio pueden ser complementadas con pruebas que se den a bordo), puerto de barrido inspecciones y mediciones de desgastes en forma regular.

# MOTORES DE 4 TIEMPOS

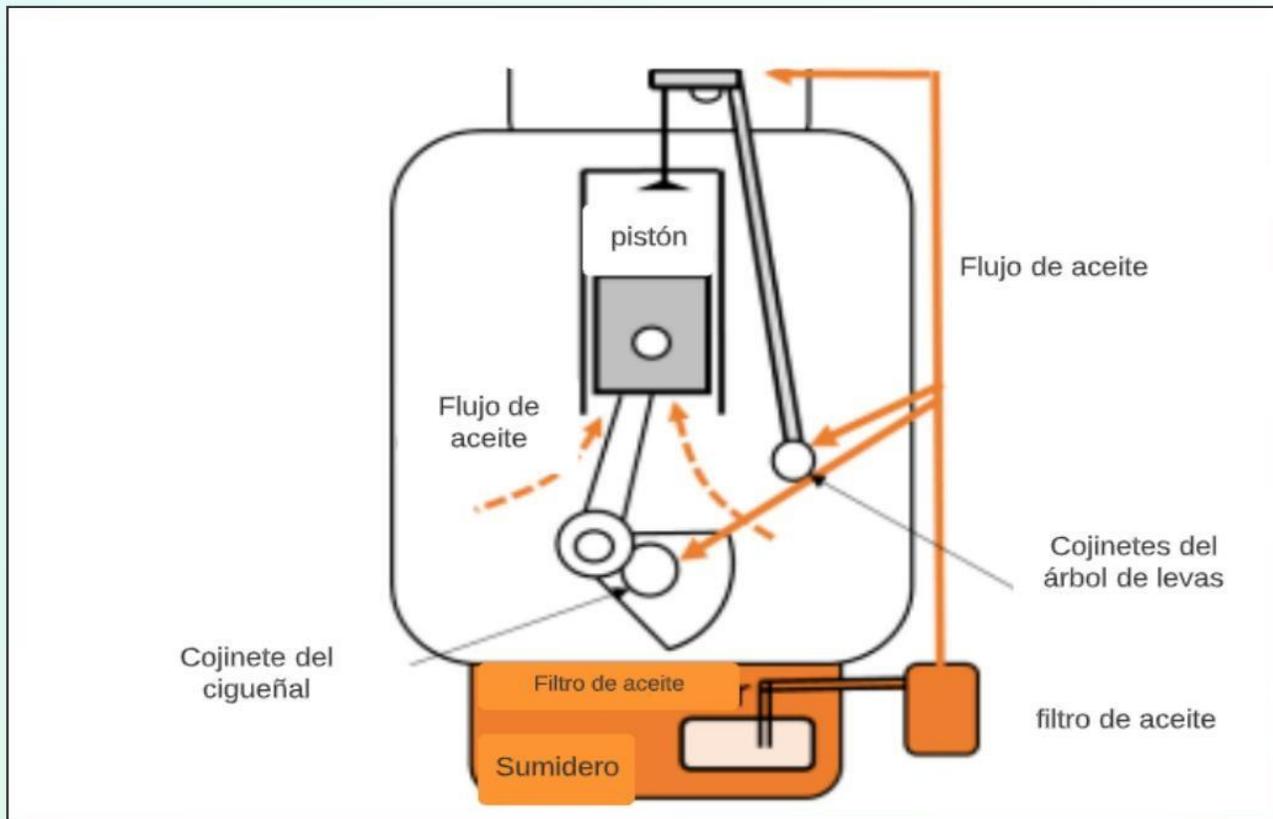
1) Motor de 4 tiempos y sus partes:



1. Válvula de admisión.
2. Válvula de escape.
3. Cámara de combustible.
4. Pistón.

5. Anillos.
6. Cilindro.
7. Biela.
8. Cigüeñal.

## 2) Sistema de lubricación del motor de 4 tiempos:



- La lubricación para los motores de cuatro tiempos, comienza por el flujo de aceite.
- Una bomba en la base del cárter toma el aceite del suministro y lubrica a los cojinetes principales, los muñones de cigueñal y las bielas.
- Las paredes del cilindro y los cojinetes del pasador del pistón están lubricados por la dispersión por el cigueñal giratorio.
- Después de lubricar los componentes del motor.
- El aceite retorna al cárter de aceite, después de filtrarse para eliminar la suciedad y los desechos suspendidos en el aceite para recircular de nuevo en el sistema.
- Se recomienda cambiar el aceite y el filtro en intervalos recomendados para eliminar el exceso de impurezas y residuos acumulados en el aceite del motor y el filtro.

## 3) Medidas preventivas

- Se debe mantener en buen estado los filtros y recibir el mantenimiento adecuado.
- Los combustibles con alto contenido de azufre conllevan el mayor riesgo de corrosión y la necesidad de aceites con alto contenido de BN, por lo que se debe llevar un monitoreo continuo.
- Por donde ingresa el aceite lubricante debe mantenerse en buen estado y deben funcionar correctamente.
- Los aceites de lubricación de mayor BN brindan una mejor protección contra la corrosión en frío.

# CORROSIÓN EN FRÍO

Proceso

Definición



Compresión del pistón en la cámara de combustión.

Ocurre cuando se forma ácido sulfúrico en las paredes del revestimiento de un cilindro del motor y corroe la superficie del revestimiento.

## Acciones a tener en cuenta:

- Usar lubricantes con mayor BN, para una mejor protección.
- Tasas de alimentación deben optimizarse analizando el aceite.
- Las temperaturas de agua de refrigeración deben mantenerse en el límite superior.
- Combustibles con alto contenido de azufre determina un mayor riesgo.

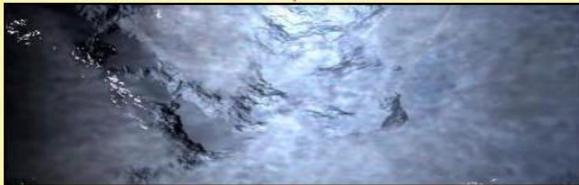
Genera una explosión.



Produce gases de combustión, que incrementa la condensación de ácidos y agua.



Dando como resultados gases de ácidos sulfúricos.

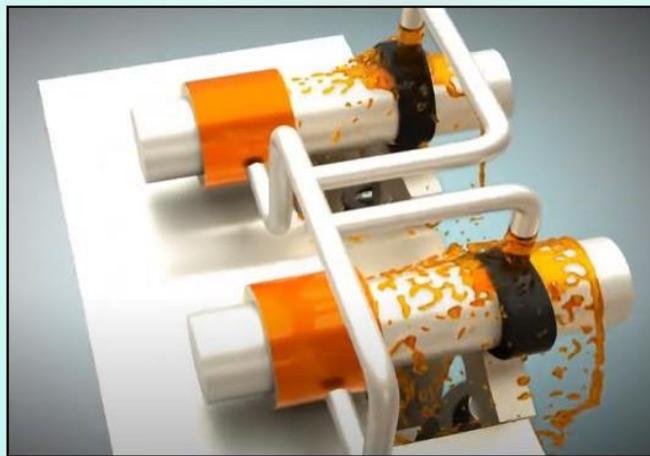


Lo que origina la corrosión en frío.



## DAÑOS POR EXCESIVA LUBRICACIÓN

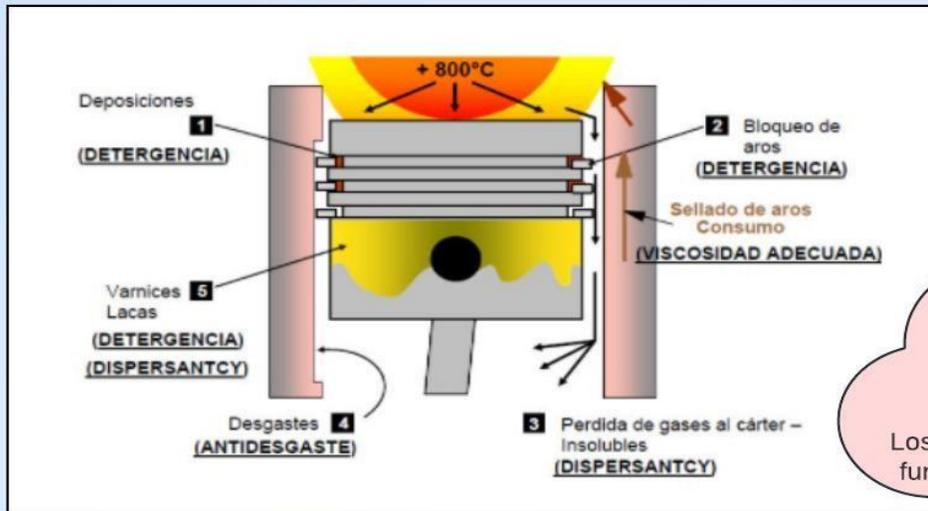
La lubricación en exceso también repercute negativamente en el estado de las articulaciones. Cuando hay un exceso de aceite lubricante, sube la presión en las juntas, lo que hace que se deterioren y se rompan. Cuando esto sucede, tanto el agua como la suciedad pueden ingresar al sistema mecánico. Debido a esto, puede ser necesario tomar medidas correctivas en toda la máquina.



### Recomendaciones:

- Se recomienda al departamento de máquinas, poner atención a la lubricación de los motores, de 4 y 2 tiempos.
- Establecer capacitaciones para el departamento de máquinas sobre la problemática establecida.
- En los motores de 4 tiempos que cercioren los aditivos que utilizan dispersantes que puedan disminuir o evitar problemas relacionado con los niveles altos de hollín y asfaltenos.
- Consultar a los proveedores de lubricantes y fabricantes de motores.

# INSUFICIENTE DETERGENTES Y DISPERSANTES EN LA LUBRICACIÓN DE CILINDROS

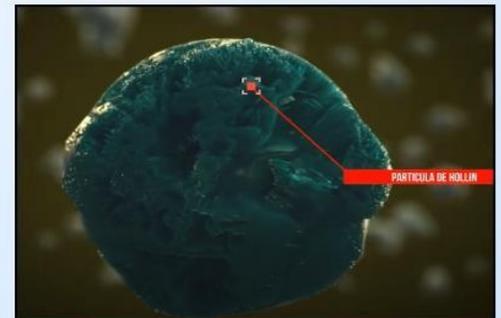


## ¿Porqué son importantes los detergentes y dispersantes?

Los aditivos del aceite cumplen una función fundamental para mantener el funcionamiento correctamente el motor.

## Lo que genera la insuficiente detergentes y dispersantes en la lubricación de cilindros.

- Es la formación de lodos o depósitos en partes calientes del motor, como hollín.
- No disminuyen las acciones corrosivas de los gases que se producen.
- Recubrimientos similares a barnices producto de los componentes de los combustibles lo que forman asfaltenos y resinas.
- Pueden ocasionar rupturas y desgastes en el pistón, anillos y la camisa del cilindro.



## Recomendaciones:

- Es importante poner atención al boletín técnico que brinda el fabricante, para poder hacer uso adecuado con relación al combustible, si es de bajo contenido de azufre o es de alto contenido. Se considera, que los detergentes y dispersantes son primordiales en el contenido del aditivo en el lubricante, debido a que la falta de estos componentes puede concurrir a generar excesos de hollín así como otros residuos, que se adhieren de las camisas de cilindro.

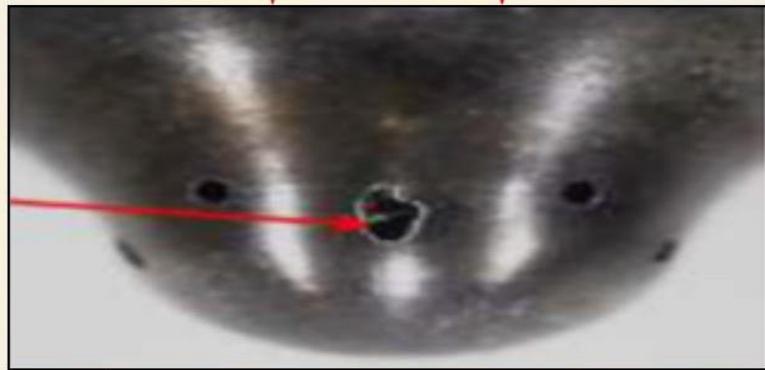
# FINOS CATALÍTICOS

Los finos catalíticos que ingresan al motor causan desgastes, a mayor cantidad más desgaste.



Aceleran el desgaste corrosivo.

Se encuentran en combustibles pesados como en los ultrabajo en azufre.



Los finos catalíticos son pequeñas partículas que se originan en el proceso de refinamiento del combustible.

Los desgastes por finos catalíticos se encuentran en posiciones diferentes de los motores.

## Recomendaciones:

- Se recomienda tomar muestras antes y después de cada purificadora a intervalos de 4 a 6 meses.
- Los filtros del sistema de combustión deben ser inspeccionados y limpiados regularmente, no solo cuando se activan las alarmas de diferencial alto.
- Se debe tomar muestras antes y después de los purificadores.
- No sobrepasar el nivel máximo aceptable y recomendado de 15ppm Al+Si por cortos períodos.
- Es importante que exista un análisis del combustible a la entrada del motor a través de un sistema de auditorías del sistema de combustible para conocer y mejorar la eficiencia del sistema de depuración y filtrado.

## **ANEXO 7**

### **RECOMENDACIÓN DE FABRICANTES**

Cuando un lubricante se somete a estrés, el motor y su sistema de lubricación pueden verse afectados en muchos casos.

diferentes formas, por ejemplo:

- depósitos en áreas frías (p. ej., cárter) o áreas calientes (p. ej., correa anular, pistón debajo de la corona, turbosoplador, etc.)
- corrosión
- Desgaste inducido por el hollín (p. ej., dependiendo del espesor mínimo de la película de aceite de los cojinetes)
- problemas en filtros y centrífugas

En los últimos años, la potencia del motor se ha incrementado drásticamente debido a la mayor presión máxima,

temperatura de combustión, presión de aire de barrido y velocidad. Para hacer frente a esto, los lubricantes

se han mejorado, pero aún quedan por venir requisitos más estrictos.

En particular, se necesita una mayor mejora en la estabilidad térmica y oxidativa, la película de aceite

fuerza a temperaturas más altas, esparcibilidad, detergencia, dispersancia, transferencia de calor,

y capacidad de neutralización.

También hay espacio para mejoras en las siguientes áreas:-

- funcionamiento con bajo consumo de aceite,
- mejor separabilidad en purificadores,
- resistencia al agua, y
- mejor compatibilidad con combustible crudo.

Fuente: Alfa laval.