

# **ESCUELA NACIONAL DE MARINA MERCANTE**

## **“ALMIRANTE MIGUEL GRAU”**

**Programa Académico de Marina Mercante**

**Especialidad de Máquinas**



### **REPERCUSIONES POR PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO “AS FAUSTINA” DE LA NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
OFICIAL DE MARINA MERCANTE**

**PRESENTADA POR:**

**CHOZO CAJUSOL, KEVIN LENIN  
GOMEZ DURAND, BRUNO**

**CALLAO, PERÚ**

**2021**

REPERCUSIONES POR PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN  
LA MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERERO “AS  
FAUSTINA” DE LA NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP  
MANAGEMENT, 2020

## **DEDICATORIA**

A nuestro creador por darme la fuerza y voluntad para seguir mis sueños y lograr mis metas.

A mis familiares que nos dejaron a causa de la pandemia. En su honor y memoria con todo respeto.

A mis abuelos que desde el cielo guían mi camino, Juan Manuel Cajusol, José Chozo y Julia Santisteban, siempre los tendré en mi mente y corazón.

Finalmente, a mis padres Marcos Chozo y María Cajusol, a mis hermanas

Viviana y Yelitza Chozo. Gracias por su amor incondicional.

*Chozo Cajusol, Kevin Lenin.*

## **DEDICATORIA**

A Dios por acompañarme en cada momento de dificultad y de gloria.

A mi abuela Alicia por ser una gran madre conmigo y brindarme todo su apoyo incondicional frente ante cualquier circunstancia que me inspira a luchar por mis sueños y seguir adelante con una sonrisa en el rostro, la amo con todo mi ser.

A mi familia Gomez Durand, Castillo Díaz y Andamayo por darme todo su apoyo en cada decisión en el transcurso

de mi vida y darme todo el cariño y  
soporte cuando más lo he necesitado.

*Gomez Durand, Bruno*

## **AGRADECIMIENTO**

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

A nuestros profesores y asesores Dr. Antonio Flores Herrera y Dr. Carlos Borja García.

A la tripulación del AS FAUSTINA por su predisposición al contribuir al presente trabajo de investigación.

Y a todas las personas que estuvieron involucradas.

## ÍNDICE

|                       | <b>Pág.</b> |
|-----------------------|-------------|
| Portada.....          | i           |
| Título.....           | ii          |
| Dedicatoria.....      | iii         |
| Agradecimientos.....  | vii         |
| ÍNDICE.....           | viii        |
| LISTA DE TABLAS.....  | xi          |
| LISTA DE FIGURAS..... | xii         |
| RESUMEN.....          | xiii        |
| ABSTRACT.....         | xv          |
| INTRODUCCIÓN.....     | xvii        |

### **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. Problema específico.....                   | 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.....            | 7 |
| 1.4.3. Justificación práctica.....                | 8 |
| 1.5. Limitaciones de la investigación.....        | 8 |
| 1.6. Viabilidad de la investigación.....          | 9 |

## **CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL**

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Antecedentes de las investigación .....  | 10 |
| 2.2. Marco legal.....   | 17 |
| 2.2.1. Regla 14 del Anexo VI del Convenio MARPOL                                    | 17 |
| 2.2.2. Resolución MEPC.320(74)  | 19 |
| 2.2.3. MEPC.1/Cir.875   | 21 |
| 2.3. Marco teórico.....   | 28 |
| 2.3.1. Emisiones de azufre en buques mercantes.....                                 | 28 |
| 2.3.2. Combustibles marinos.....  | 35 |
| 2.3.3. Proceso de refinado de petróleo para la obtención de combustible marino..... | 39 |
| 2.3.4. Finos catalíticos.....   | 44 |
| 2.3.4.1. Zeolitas.....  | 48 |

## **CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO**

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Diseño de la Investigación.....                            | 54 |
| 3.2. Sistema de categorías.....                                 | 56 |
| 3.3. Muestreo.....  | 58 |
| 3.4. Técnica para la recolección de datos.....                  | 60 |
| 3.4.1 Técnica.....  | 60 |
| 3.4.2 Instrumentos.....   | 60 |
| 3.5. Técnica para el procesamiento y análisis de los datos..... | 61 |
| 3.6. Rigor Cualitativo.....                                     | 62 |
| 3.7. Aspectos éticos.....                                       | 63 |

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

|   |     |
|---|-----|
| 4.1. Señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “As Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Mngement, 2020.....  | 65  |
| 4.1.1. Conocer cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management..... | 65  |
| 4.1.2. Identificar qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management”.....  | 90  |
| 4.1.3. Señalar qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.....                                 | 119 |
| 4.1.4. Señalar cuáles fueron las lecciones aprendidas que se obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.....                        | 133 |

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

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 5.1. Discusión.....       | 146 |
| 5.2. Conclusiones.....    | 152 |
| 5.3. Recomendaciones..... | 155 |

### **FUENTES DE INFORMACIÓN**

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Referencias bibliográficas ..... | 157 |
| Referencias electrónicas.....    | 160 |

### **ANEXOS**

|  |     |
|--|-----|
| Anexo 1. Matriz de consistencia.....   | 164 |
| Anexo 2. Lista de términos y abreviaturas.....   | 166 |
| Anexo 3. Herramienta de recolección de datos de recolección de datos utilizado<br>en el presente trabajo de investigación..... | 169 |
| Anexo 4. Validez del proceso investigativo a cargo de jueces<br>expertos.....  | 175 |
| Anexo 5. Consentimiento informado aplicado a muestra compuesta por sujetos..   | 215 |

## LISTA DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1: Matriz categorial.....          | 57   |
| Tabla 2: Definiciones operacionales..... | 57   |

## LISTA DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1: Límites del contenido de azufre.....                                  | 19   |
| Figura 2: Contaminación atmosférica ocasionado por los buques<br>mercantes..... | 29   |
| Figura 3: Consecuencia de las emisiones de azufre.....                          | 32   |
| Figura 4: Zonas ECAS y Globales.....  | 34   |
| Figura 5: Beneficios del límite de azufre.....                                  | 35   |
| Figura 6: Combustibles marinos.....   | 37   |
| Figura 7: Productos de la destilación del petróleo.....                         | 43   |
| Figura 8: Esquema de conversión profunda.....                                   | 43   |
| Figura 9: Fino catalítico incrustado.....                                       | 44   |
| Figura 10: Finos catalíticos y su afectación a la camisa del pistón.....        | 45   |
| Figura 11: Límite de finos catalíticos en el combustible.....                   | 46   |
| Figura 12: Comparación de finos catalíticos con el cabello humano.....          | 48   |
| Figura 13: Estructura de una zeolita faujasita.....                             | 49   |
| Figura 14: Estructura de la zeolita.....  | 53   |

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño narrativo. Se aplicó un muestreo no probabilístico por criterio, la cual estuvo conformada por 07 eventos documentados, 11 unidades de información compuesto por sujetos (08 tripulantes de máquinas, 02 técnicos de MAN y 01 superintendente) y 03 unidades documentales. Se utilizó como técnicas de recolección de datos la observación, la entrevista y la documentación y como herramientas de recolección de datos notas de campo, guía de entrevista y una ficha de investigación. Los resultados permitieron establecer teorizaciones de manera sistemática relacionados con la cronología y eventos resaltantes que determino establecer las siguientes subcategorías de análisis: Indicios observados, componentes afectados, medidas y lecciones aprendidas. Se concluyó estableciendo que las repercusiones originadas por la presencia por los finos catalíticos en el motor principal produjeron desgaste

abrasivo en la camisa y anillos del pistón, lo que determinó la parada del motor, suscitándose un incendio que no pasó a mayores y que se tenga que realizar un overhaul a la máquina principal del buque.

**Palabras clave:** Repercusiones, Presencia, Finos, Catalíticos, Máquina, Principal, Buque, Containero, AS, Faustina, Naviera, Wilhemsen, Ahrenkiel.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to point out that the repercussions originated from the presence of catalytic fines in the main engine of the container ship “AS Faustina” of the shipping company Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020. It was a study with a qualitative approach, basic type, exploratory level and narrative design. A non-probabilistic sampling was applied by criterion, which was made up of 07 documented events, 11 information units composed of subjects (08 machine crew members, 02 MAN technicians and 01 superintendent) and 03 documentary units. Observation, interview and documentation were used as data collection techniques and field notes, interview guide and a research file were used as data collection tools. The results allowed to establish theorizations in a systematic way related to the chronology and outstanding events that determined to establish the following subcategories of analysis: Observed indications, affected components, measures and lessons learned. It was concluded by stating that the repercussions caused by the presence of the catalytic fines in the main engine produced abrasive wear on the piston liner and rings, which caused the engine to stop, causing a fire that did not

progress and that it was necessary to perform an overhaul to the main engine of the ship.

**Keywords:** Impact, Presence, Fine, Catalytic, Machine, Main, Ship, Container, AS, Faustina, Shipping company, Wilhemsen, Ahrenkiel.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de los finos catalíticos, elementos los cuales fueron observados en el sistema de combustible y máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020.

Los finos catalíticos vienen a ser un producto secundario del refino los cuales consisten en pequeñas partículas de metal que son introducidos en el combustible marino como catalizadores para poder lograr la desintegración catalítica, los cuales, de no reducirse por purificación, al llegar a las piezas de la máquina principal pueden incrustarse y causar daños graves principalmente abrasivos.

Con la implantación de las normas “OMI 2020”, lo cual determina que se pueda utilizar combustible reglamentario a bordo del buque, como por ejemplo los residuales con bajo contenido de azufre, utilizado de forma masiva por la industria marítima vinculada a la operación de buques mercantes, se vienen observando

diversas repercusiones los cuales han venido siendo anunciadas por la Organización Marítima Internacional (OMI) a través del Comité de Protección del Medio Marino (MEPC).

El desconocimiento de las repercusiones y la mala gestión en relación con el uso de combustible marino residual con bajo contenido de azufre trajo como consecuencia que se observen daños abrasivos a la camisa y anillos del pistón del buque en estudio, lo que condujo a una situación que imposibilitó poder seguir operando el buque y en consecuencia generar daños económicos a la naviera propietaria del buque.

La presente investigación se realizó con el propósito de señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020, de manera que se pudo establecer una cronología de hechos y/o eventos en relación con el problema central, sirviendo como caso de ejemplo para mejorar la gestión del uso de combustible reglamentario en otros buques y la capacidad de reacción frente a un hecho similar que puede ocurrir por el consumo masivo del combustible residual con bajo contenido de azufre.

Los aspectos que formaron parte del análisis de manera sistemática respecto al tema central y que permiten obtener una mejor comprensión de lo ocurrido se corresponden con las siguientes subcategorías de análisis: Indicios observados, componentes afectados, medidas y lecciones aprendidas, cajones conceptuales que

enmarcan dentro de cada uno sucesos relevantes que caracterizaron la narrativa presentada sobre el caso de estudio.

Para el desarrollo de la investigación, fue necesario utilizar como técnicas de recolección de datos la observación, la entrevista y la documentación, información obtenida que mediante el proceso de triangulación de la información permite responder al planteamiento del estudio, que con estrategia metodológica se presenta en el presente informe de tesis, lo cual guía la presentación de resultados que permitieron establecer las teorizaciones correspondientes con el objetivo específico y general del presente estudio.

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

**CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA,** Se presenta la descripción y 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, marco legal y el marco teórico.

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

**CAPITULO V: 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 establecidas.

CAPITULO VI: 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**

Los finos catalíticos son aluminosilicatos los cuales se introducen a los combustibles marinos residuales durante el proceso de craqueo catalítico llevada a cabo en las refinerías para realizar el proceso de desulfuración, de manera que se pueda cumplir con los límites en virtud del cumplimiento de las normas medioambientales aplicables a la industria marítima, particularmente en la cual se encuentran involucrados los buques mercantes (Grupo Aktiengesellschaft, 2020).

A nivel mundial, desde el 1 de enero de 2020 entraron en vigor normas que establecieron límites de 0.5 % masa/masa de azufre en el combustible marino para zonas globales y de 0.1 % masa/masa para zonas ECAs (zonas de control de emisiones), denominadas también “Normas OMI 2020” creando una repercusión económica, operativa y tecnológica tanto para los proveedores y usuarios de combustibles marinos (OMI, 2017).

En el año 2019, previo a que las “Normas OMI 2020” entrarán en vigor, el Comité de Protección del Medio Marino, órgano técnico de la OMI, estableció directrices bajo la resolución MEPC.320(74) con el objetivo de garantizar la implantación uniforme del límite del contenido de azufre en los buques mercantes en virtud de lo establecido en el Anexo VI del Convenio MARPOL, en las cuales se establecieron precauciones sobre las posibles repercusiones en los sistemas de máquinas y de combustible por el uso tanto de destilados como de residuales (MEPC, 2019).

MEPC (2019) con respecto a los finos catalíticos que:

Son un producto secundario del refino y consisten en pequeñas partículas de metal que se introducen de manera deliberada como catalizadores para lograr la desintegración catalítica de fueloil. A menos que se reduzcan por purificación, los finos catalíticos se incrustarán en las piezas del motor y ocasionarán rápidamente daños graves a este último. Debería hacerse referencia a las orientaciones del fabricante del motor con respecto a los finos catalíticos (p. 6).

Bajo lo señalado, la presencia de finos catalíticos es una repercusión por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre, donde muchas veces los análisis realizados a bordo no permiten que se puedan detectar afectando a los componentes de la máquina principal provocando daños abrasivos principalmente al pistón, anillos del pistón, las camisas del cilindro e inclusive a las bombas de inyección, generando demandas económicas altamente costosas para el buque.

El buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, navegando del puerto de Cartagena (Colombia) al puerto de Miami (Estados Unidos) el 16 de febrero del 2020 presentó una falla que condujo a que las válvulas de explosión de seguridad de la maquina principal se activaran, generando la parada inmediata del motor.

Las causas de dicha problemática, estuvo asociado a la presencia de finos catalíticos en el motor principal, lo cual venía desgastando las unidades y provocando la activación de una serie de alarmas los cuales por la falta de conocimiento y adecuada gestión por parte del departamento de ingeniería, lo que sumado a la falta de difusión de información y capacitación por parte de la compañía respecto a las repercusiones del uso de combustible con bajo contenido de azufre establecieron las condiciones para que se produzca dicho suceso.

Las consecuencias de dicho problema dieron origen a la paralización de las funciones comerciales del buque, ya que tuvo que quedar al garete, generando consecuencias económicas para la gestión de la naviera propietaria de dicho buque hasta encontrar la solución definitiva al problema lo cual se estableció durante un período aproximado de dos meses.

En ese sentido, el presente trabajo de investigación se orienta a establecer una secuencia cronológica y detallada de los hechos más relevantes que dieron lugar a dicho suceso, señalando las repercusiones tanto físicas vinculadas con el motor principal y otras relacionadas con la gestión del buque, lo que bajo una perspectiva cualitativa se establezca como un caso que es considerada una repercusión por el

uso de combustibles con bajo contenido de azufre en virtud del cumplimiento de las normas “OMI 2020”.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Qué repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020?

### **1.2.2. Problemas específicos**

-¿Cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management?

-¿Qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management?

-¿Qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management?

-¿Cuáles fueron las lecciones aprendidas que se obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal en el buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management?

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

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

Señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

-Conocer cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.

-Identificar qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.

-Señalar qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.

-Señalar cuáles fueron las lecciones aprendidas que se obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.

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

### **1.4.1. Justificación teórica**

El presente trabajo de investigación aporta con un cuerpo teórico sobre las normas relacionadas con el uso de combustible reglamentario a bordo de los buques a consecuencia de la implantación de las normas “OMI 2020” así como de los finos catalíticos y los conceptos lingüísticos asociados a dicha problemática, lo que sumado a una postura crítica conlleva a que dicho cuerpo teórico pueda servir de referencia para estudios que se desarrollen dentro del contexto vinculado a la operación de buques mercantes.

Por otra parte, los resultados presentados, detallan los eventos más importantes que tuvieron lugar a la problemática de los finos catalíticos y las repercusiones a bordo del buque en donde se desarrolla el presente estudio, lo que aporta con conocimiento útil dentro de la industria marítima para la gestión

de otros buques que puedan presentar problemas similares por la presencia de aluminosilicatos en el combustible con bajo contenido de azufre que utilicen.

#### **1.4.2. Justificación metodológica**

Tomando en cuenta que dentro de la gama de estudios de corte científico que se desarrollan dentro de la operación de buques mercantes, los casos relacionados con las repercusiones del uso de combustible con bajo contenido de azufre por el uso de finos catalíticos suelen ser documentados de manera escasa, el presente estudio toma en cuenta criterios de una metodología narrativa para poder establecer cuestiones particulares relacionados con el hecho suscitado.

Se abordan cuestiones en coherencia con el contexto donde se desarrolló el estudio, donde a través de técnicas tales como la observación, documentación y entrevista se recolectaron los datos e información los cuales fueron sistematizados acordes con un proceso científico convencional donde a través de la construcción de cajones conceptuales (categorías de análisis) se organizó la información para lograr un entendimiento adecuado en los interesados que puedan obtener el informe de tesis posterior a la aprobación y publicación respectiva.

En ese sentido, nuevos futuros investigadores o gente de mar quienes se encuentren brindando servicios a bordo del buque mercante, puedan realizar estudios bajo dichas características, ya que a bordo existen diversas

problemáticas los cuales pueden adoptar un diseño narrativo que sirva como lecciones aprendidas para la gestión de otros buques, donde la publicación y difusión de la información podría ser muy útil abordo, tomando en cuenta las repercusiones de utilizar combustible con bajo contenido de azufre.

### **1.4.3 Justificación práctica**

El presente trabajo de investigación aporta con resultados que desde el punto de vista de la utilidad práctica brinda conocimiento base sobre la cual se formulan unas teorías descriptivas e interpretativas sobre hechos relacionados con los finos catalíticos a los cuales otros buques pueden estar expuestos.

En ese sentido, se desarrollan diversos ejes problemáticos los cuales puedan corresponder a abordar nuevos estudios que desde un punto de vista la aplicación de tecnología y/o mejora de la gestión operacional del buque se puedan plantear soluciones prácticas con el fin de poder garantizar la operación segura del buque y el equilibrio de la reducción de los gases contaminantes dentro de la industria del transporte marítimo.

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

Una de las primeras limitaciones tuvo que ver con los estudios de naturaleza científica que desarrollen hechos particulares relacionados con los finos catalíticos tanto a nivel nacional como internacional, lo que apelando a criterios metodológicos conllevó a que se utilizaran estudios similares relacionados con el tema central de análisis.

Con respecto a los límites que se abordan en relación con el tema central (finos catalíticos en la máquina principal) se establecen los siguientes ejes teóricos: Indicios observados, componentes afectados, medidas y lecciones aprendidas, todas vinculadas con los hechos observados a bordo del buque containero “AS Faustina”, dentro de los cuales se detallan eventos con mayor especificidad.

Por otra parte, debido al problema suscitado muchas de las entrevistas que se llevaron a cabo fueron realizadas ya posterior a los hechos, ya que los oficiales de máquinas y especialistas de la casa manufacturadora del motor principal (MAN B&W) no disponían del tiempo necesario para poder ser abordadas en relación con obtener una información más cercana al tiempo donde se suscitaron los hechos.

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

La investigación fue viable porque se contó con el recurso humano y material para poder obtener la información acorde con las necesidades de información que se establecieron de acuerdo con el planteamiento del problema, lo que permitió responder con rigor científico al objetivo del presente trabajo de investigación.

## CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

### 2.1. Antecedentes de la investigación

La presente investigación se respalda en el antecedente de Gutierrez y Montes (2020) con un trabajo de investigación titulado: *“Finos catalíticos y su influencia en el desgaste de los componentes de la máquina principal de un buque mercante: Una aproximación cualitativa desde la perspectiva de proveedores y usuarios finales de combustibles marinos residuales intermedios vinculados al transporte marítimo”*. Se planteó como objetivo conocer la acción de los finos catalíticos en el desgaste de los componentes de la máquina principal de un buque mercante desde la perspectiva de proveedores y usuarios finales de combustible marinos residuales intermedios relacionados con el transporte marítimo peruano. Metodológicamente fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño fenomenológico. Utilizó un muestreo no probabilístico por rastreo considerando a 04 Ingenieros petroquímicos, 06 jefes de máquinas, 01 superintendente de flota y unidades documentales varios. Utilizó como técnicas de recolección de datos la entrevista y la documentación. Los resultados mostraron teorizaciones sobre en

qué circunstancias se producen los combustibles marinos residuales intermedios; presencia de finos catalíticos en el combustible marino y la afectación que producen en el desgaste de la máquina principal; la trazabilidad respecto a las medidas que garantizan la calidad del combustible; y las acciones para disminuir y eliminar la presencia de finos catalíticos con respecto a la máquina principal. Se concluyó estableciendo que no existe un conocimiento idóneo sobre las repercusiones de los finos catalíticos en el desgaste de la máquina principal dentro del transporte marítimo peruano, y que las concentraciones de finos catalíticos seguirán aumentando debido al uso de catalizadores para disminuir la concentración de azufre.

Entre los antecedentes internacionales destaca Pitti (2019), quien realizó un estudio titulado: *“Catalizadores finos, impacto en el desgaste del motor y cómo reducirlos”*. Se planteó como objetivo conocer todos los datos relevantes que involucran a los catalizadores finos y los efectos dañinos que producen cuando ingresan a los motores navales, para aplicar correctas prácticas y procedimientos para la limpieza efectiva del combustible que se recibe a bordo. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño narrativo. Utilizó como técnicas de recolección de datos la documentación y como herramientas de recolección de datos fichas de investigación. Los resultados establecieron diversas teorías relacionadas con los catalizadores, efecto de los catalizadores finos en los componentes del motor, límites máximos de catalizadores finos en el combustible marino, sistemas de limpieza de combustible, y sobre un caso de catalizadores evidenciados en el M/V AS PETRA. Concluyó sosteniendo que los catalizadores finos en combustibles pesados podrán estar controlados por la norma ISO 8217,

pero no omita el hecho de que es importante que los combustibles (búnker) se limpien a bordo de todos los buques para que se haga efectivo el cuidado del motor, por lo que es necesario que los oficiales ingenieros sean plenamente capacitados para enfrentar los diversos problemas que puedan presentarse y evitar fallos significativos a la máquina principal.

Vukicevic et. al. (2017), realizaron un estudio titulado: “*Material del anillo de pistón en un motor de dos tiempos los cuales sufren desgaste debido a los finos catalíticos*”. Se propusieron como objetivo analizar la protección preventiva del motor marino contra los efectos abrasivos de los finos catalíticos en el combustible. Fue una investigación de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño fenomenológico. Utilizó como técnica de recolección de datos la observación y documentación. La muestra estuvo conformada por el anillo del pistón de un motor de dos tiempos que sumado a las fuentes documentales aportaron con la data necesaria para responder al objetivo de estudio. Los resultados obtenidos por los análisis y mediciones indicaron que el aro de pistón cromado tenía mayor dureza y era más eficiente para resistir los efectos abrasivos de los finos catalíticos, mientras que el mayor módulo de elasticidad del material base permitía una mejor resistencia a la rotura. Se concluyó estableciendo que la presencia de finos catalíticos debe ser monitoreada cuidadosamente y las cantidades observadas reducirse al mínimo, ya que después de asentarse en los tanques de combustible, separación y filtrado, ingresan a la cámara de combustión a través del inyector de combustible, y al ser muy abrasivos pueden crear problemas en el motor principal y en consecuencia gastos altamente costosos que pueden prevenirse.

MAN Diesel y Turbo (2017) elaboraron un estudio titulado: *“Finos catalíticos, su impacto en el desgaste del motor y como reducirlos”*. Se plantearon como objetivo analizar el impacto producido por los finos catalíticos en los motores de combustión interna de dos tiempos, estableciendo criterios para la reducción. Metodológicamente el estudio se caracterizó por ser de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño narrativo. La técnica de recolección de datos fue la observación y la documentación. Utilizaron como herramientas de recolección de datos fichas de investigación. Los resultados permitieron establecer teorizaciones sobre el proceso de desgaste en la cámara de combustión, límites máximos para finos catalíticos en los combustibles marinos, sistema de limpieza de combustibles, monitoreo y experiencias diversas sobre el servicio de combustibles, el monitoreo correspondiente y las experiencias diversas sobre los servicios de las diversas problemáticas observadas. Concluyó estableciendo que los finos catalíticos se encuentran en el combustible marino, ya que los finos catalíticos se originan en los procesos de craqueo catalítico en las refinerías donde se utiliza un mineral llamado zeolitas para descomponer hidrocarburos complejos en moléculas más simples.

Adamkiewicz y Drzewienieniecki (2017) realizaron un trabajo de investigación denominado: *“Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos”*. Se propuso como objetivo analizar los problemas operativos que ocurren en elementos de motores diésel, como pistón, anillos de pistón, camisa del cilindro y bombas de inyección de combustible causados por el uso de combustible residual. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño teoría fundamentada. Utilizó como técnicas de recolección de datos la observación y la

documentación. Utilizó como herramientas de recolección de datos fichas de investigación y de análisis de contenido. Los resultados determinaron que existe una gran necesidad de implementar precauciones operativas para mejorar la eficiencia en el tratamiento de los combustibles residuales a bordo una vez que los combustibles de mala calidad sean consumidos. Concluyeron estableciendo que los combustibles residuales contienen impurezas de polvos catalíticos muy pequeños los cuales son abrasivos y son a su vez responsables del desgaste del pistón, anillos del pistón, camisa del cilindro y las bombas de inyección, problemáticas que suelen ser inesperadas ya que no siempre se distribuyen de manera uniforme en el combustible por lo que los resultados de los análisis no suelen detectarlos.

Peña (2016), realizaron un trabajo de investigación titulado: “*Medidas para la reducción de gases contaminantes en motores marinos*”. Se planteó como objetivo analizar las tecnologías y medidas que se pueden utilizar para poder controlar y mitigar las emisiones de contaminantes ocasionadas por los buques, lo que representa una situación compleja para el sector marítimo ya que existe la necesidad de cumplir con las reglas y por otro lado estar expuesto a un gasto económico, logístico y preparatorio en la implantación de nueva tecnología en virtud de la exigencia del Convenio MARPOL. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño fenomenológico. Las técnicas de recolección de datos utilizadas fueron la documentación y como materiales auxiliares hizo uso de fichas de investigación. Los resultados establecieron síntesis conceptuales referidos a principales ejes temáticos relacionados con el tema central de análisis, de los cuales resaltan las consideraciones medioambientales, normativa

antipolución, la propulsión diésel en buques mercantes, combustibles utilizados en el sector marino, formación de contaminantes y técnicas de reducción de emisiones aéreas. Concluyó señalando que es necesario realizar inversiones para poder garantizar el cumplimiento de la norma, por lo que los propietarios de los buques se enfrentan a una serie de decisiones trascendentales relacionados con inversiones si quieren hacer negocios dentro de los futuros límites de emisiones de gases contaminantes, lo cual serían retornables a medio plazo, por lo que un análisis prospectivo resulta muy necesario en virtud de las particularidades de los buques que forman parte de la flota.

Sorensen et. al. (2014) realizó un trabajo de investigación que tituló: “*Sensor de NMR para la detección de finos catalíticos en combustible marinos*”. Se planteó como objetivo informar sobre el uso de un sensor de NMR (resonancia magnética nuclear), considerado como un equipo robusto, móvil y de bajo costo para la medición continua en línea de niveles de finos catalíticos en el combustible marino a bordo de los buques. Fue un estudio de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño narrativo. Utilizó como técnicas de recolección de datos la documentación y como materiales auxiliares para la recolección de los datos utilizaron fichas de investigación. Los resultados permitieron señalar las características individuales del detector agregando además los principios de funcionamiento, instalación, mantenimiento y operación del mismo para ser utilizado de manera adecuado a bordo de los buques. Se concluyó estableciendo que el dispositivo en mención tiene un nivel alto de precisión para la detección de finos catalíticos de acuerdo con las medidas de referencia de los laboratorios

comerciales, ya que es altamente sensible y puede proporcionar una plataforma para numerosas aplicaciones de monitoreo.

Por último, El Comité Joint Hull (2013), desarrolló un estudio titulado: "*Daño de motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible*". Se propusieron como objetivo analizar cuestiones importantes relacionados con los finos catalíticos señalando información técnica y específica sobre las mismas, analizando causa y las consecuencias de los daños a la maquinaria, destacando además la evaluación de riesgos y análisis de factores correspondientes para poder reducirlos. Metodológicamente el estudio fue de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio diseño narrativo. Las técnicas utilizadas para la recolección de los datos fueron la documentación y fichas de investigación tomadas en cuenta como materiales auxiliares para recabar la información necesaria que responda al objetivo de investigación. Los resultados establecieron teorizaciones sobre la demanda a través de la legislación ambiental que requiere la quema de combustible más limpio; los combustibles marinos con bajo contenido de azufre, que contienen un mayor contenido de finos catalíticos, los cuales son obligatorios para el uso en buques que realizan operaciones comerciales en áreas de control de emisiones, lo que determina que se pueda aplicar una adecuada gestión en el cuidado del combustible. Concluyeron estableciendo que existe evidencia real de que la calidad de los combustibles marinos ha disminuido en los últimos años con el impacto resultante en la frecuencia de los daños del motor, lo que con las normas relacionadas con prevenir las emisiones de azufre brindan un panorama que agrava más la situación.

## **2.2. Marco legal**

La problemática evidenciada en el presente estudio tiene un origen de carácter normativo ya que de manera obligatoria se establecieron límites del contenido de azufre en el combustible marino para ser utilizado por los buques mercantes a nivel internacional. Los instrumentos normativos que se encuentran vinculados con el tema central de análisis (finos catalíticos) se observan en los párrafos siguientes.

### **2.2.1. Regla 14 del Anexo VI del Convenio MARPOL**

El Convenio MARPOL o “Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques” fue adoptado en el año de 1973 y entró en vigor 10 años más tarde el 2 de octubre de 1983. Considerado como un instrumento normativo de suma importancia, representa uno de los pilares del transporte marítimo.

Según OMI (2020) el Convenio MARPOL tiene como objetivo prevenir la contaminación del medio marino los cuales son originados por el transporte marítimo internacional, a causa de factores proveniente de operaciones normales o accidentales de los buques mercantes.

En la actualidad el Convenio cuenta con seis anexos técnicos, donde para efectos del tema desarrollado resalta el Anexo VI denominado “Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques”, el cual entró en vigor el 19 de mayo de 2005.

El Anexo VI del Convenio MARPOL está compuesto por 25 reglas divididas en cinco capítulos: Capítulo 1 – Generalidad / Capítulo 2 – Reconocimiento, certificación y medios de control / Capítulo 3 – Prescripciones para el control de las emisiones de los buques / Capítulo 4 – Reglas sobre la eficiencia energética de los buques / Capítulo 5 – Verificación del cumplimiento de las disposiciones del presente anexo.

Establecen un conjunto de disposiciones para establecer límites de gases contaminantes ( $\text{SO}_x$  y  $\text{NO}_x$ ) y gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ), de manera que se pueda reducir desde el transporte marítimo las afectaciones que causan dichos elementos contaminantes hacia la atmósfera y la salud humana (OMI, 2017).

La regla 14 del Anexo VI del Convenio MARPOL, denominado “Óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) y materia particulada” establece lo siguiente:

-Prescripciones generales: Se señala que el contenido de azufre en el combustible marino utilizado a bordo no exceda de 0.50 % masa/masa a partir del 1 de enero del 2020.

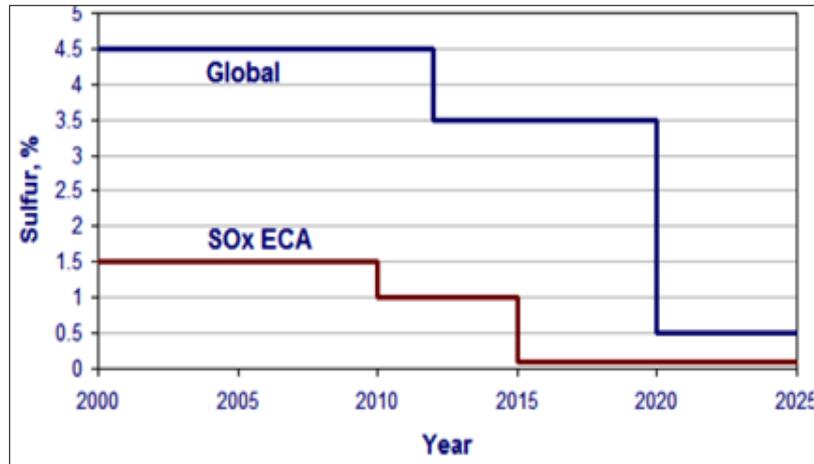
-Prescripciones aplicables en las zonas de control de las emisiones: Se dispone que el contenido de azufre en el combustible marino utilizado a bordo no exceda de 0.10 % a partir del 1 de enero del 2020. Dentro de las zonas de control de emisiones se consideran a:

- Zona del mar Báltico.
- Zona del mar del Norte.
- Zona de Norteamérica.

- Zona del mar Caribe de los Estados Unidos (OMI, 2017).

**Figura 1**

*Límites del contenido de azufre en el combustible marino establecido por la regla 14 del Anexo VI del Convenio MARPOL*



*Nota.* Los límites son para zonas globales de 0.50 % masa/masa mientras que para zonas ECAs es de 0.10 % masa/masa (<http://ingmaritima.blogspot.com/2017/06/zonas-eca.html/>)

**2.2.2. Resolución MEPC.320(74)**

Denominada “Directrices de 2019 para la implantación uniforme del límite del contenido de azufre del 0.50 % en virtud del Anexo VI del Convenio MARPOL” el cual fue adoptada el 17 de mayo de 2019 con el objetivo de garantizar la implantación uniforme del límite de contenido de azufre del 0.50 % masa/masa en razón de lo establecido en la regla 14 del Anexo VI del Convenio MARPOL (MEPC, 2019).

Según las orientaciones establecidos en el presente instrumento normativo se señala que:

Las experiencias y las lecciones aprendidas en la transición al límite del 0.10 % masa/masa de las zonas de control de las emisiones de

SO<sub>x</sub> indican que las operaciones actuales de las máquinas del buque deberían ser capaces de responder a las preocupaciones relacionadas con la combustión de los nuevos fueloiles que cumplen el límite del 0.50 % masa/masa (MEPC, 2019, p. 3).

Bajo lo señalado por la directriz, se pueden comprender que el uso de combustibles con bajo contenido de azufre genera ciertos eventos que de no establecerse una adecuada gestión del mismo a bordo del buque podría generar repercusiones en el sistema de combustible y máquina principal.

Con respecto al uso de combustible residual la presente directriz señala que dos repercusiones son las más relevantes a tomar en cuenta:

-Estabilidad y compatibilidad: Representan condiciones en la cual la precipitación de asfaltenos de los combustibles marinos pueden generar lodos o fangos los cuales perjudiquen al sistema de tuberías, filtros, bombas de inyección y tanques, determinando que la única solución para el problema es el establecer un plan de trabajo manual a ser realizado por el departamento de máquinas del buque.

-Finos catalíticos: En sentido estricto, en virtud de lo que señala la presente directriz los finos catalíticos son un producto secundario proveniente del refinado del combustible, el cual consisten en partículas pequeñas que funcionan como catalizadores para poder realizar el proceso de desulfuración del combustible marino. Dichas partículas se consideran ser muy abrasivas, los cuales al incrustarse en las piezas del motor ocasionan rápidamente daños irreversibles (MEPC, 2019).

Otras situaciones que establece el presente instrumento normativo los cuales tienen que ver con afectaciones por el uso de combustibles con bajo contenido de azufre son: Propiedades de flujo en frío; número ácido; punto de inflamación; calidad de la ignición y la combustión; viscosidad baja; componentes inusuales, etc.

El uso de combustible reglamentario en la actualidad genera diversas situaciones negativas para la operación y funcionamiento del buque lo que determina poner mayor atención dentro de la gestión interna del buque, principalmente por el recurso humano con responsabilidades directas con el mantenimiento del sistema de combustible y máquina principal (departamento de máquinas).

### **2.2.2. MEPC.1/Circ.875**

Denominada “Orientación sobre las mejores prácticas para los compradores/usuarios de combustibles marinos a fin de garantizar la calidad del combustible marino utilizado a bordo de los buques”, el cual fue adoptada el 26 de abril de 2018 donde se especifica que los proveedores tienen la responsabilidad que el combustible suministrado a los compradores de combustible marino cumplan con las especificaciones establecidas en la ISO 8217 garantizando la seguridad y funcionamiento eficaz (MEPC,2018).

Para garantizar la calidad del combustible marino se deberá de implementar las medidas correctas que cumplan con las especificaciones, fomentando la

interacción del combustible con la tripulación para su correcta manipulación para reducir el riesgo técnico y administrativo fomentando el cumplimiento de la regla 14 y 18 del Anexo VI del Convenio MARPOL (MEPC,2018).

Un factor importante para los compradores de combustibles marinos con bajo contenido de azufre, es que el combustible suministrado deba de haber pasado con un análisis técnico con la finalidad de que no exista riesgos elevados de incompatibilidad con otros combustibles.

Entre algunos aspectos relevantes a tomar en cuenta por la presente circular se tiene:

| <b>Mejores prácticas</b>  |
|---|
| <b>Generalidades</b><br>-Se establece que el comprador de combustible marino debe de asegurarse que las especificaciones del producto cumplan con las capacidades técnicas del buque, así como el área de servicio y los parámetros establecidos por la ISO 8217:2017 “Productos del petróleo – Combustibles (clase F) – Especificaciones de combustible marinos, tales como la norma ISO 13739: “Productos petrolíferos – Procedimientos para la transferencia de combustible a buque”, normas nacionales SS 524:2014: “Especificación para la gestión de la calidad para la cadena de suministro de combustible”, la SS 600: “Código de prácticas estándar de Singapur para el abastecimiento de combustible”, lo recomendado por el CIMAC y las prescripciones adicionales de fábrica de los motores con respecto a la calidad de combustible marino que son requeridos para su uso. |

### **Elección del proveedor de combustible marino**

-La elección de un proveedor se ve determinada por su registro local autorizado y con registro de conformidad en la regla 18.9.1, pero esto no excluye al comprador que sea diligente con el producto adquirido debido a que podría existir cualificaciones en las cuales podrían determinar la fiabilidad del combustible marino.

-Para que un proveedor de combustible marino comercialice su producto deberá de contar con una validez que lo respalde, la cual será proporcionada al comprador con pruebas de licencia, expedidas por el Estado ribereño o la autoridad portuaria local.

-Los proveedores dispondrán de un sistema de calidad donde su producto cumplirá con las normas ISO 9001: "Sistema de gestión de calidad – Requisitos" y el ISO 14001: "Sistema de gestión ambiental – Requisitos con orientación para su uso". Y para mayor confiabilidad serán acreditados por terceros independientes.

-El proveedor deberá de contar con procedimientos de transvase supervisadas por las autoridades competentes para el correcto transporte del combustible marino.

-Cuando se realice los abastecimientos de combustible por medio de gabarras o buques tanques, se solicitará la garantía de calidad por medio del sistema de gestión de calidad con la finalidad de acreditación del producto.

-Los compradores de combustibles marinos deberán de disponer de otras fuentes de información y no confiarse en la información de fuentes de terceros debido a que puede disponer de errores técnicos.

-Es por ello que se recomienda disponer de otras fuentes de información; tales como, la opinión externa de compradores de combustible, solicitando referencias e opiniones de clientes, consultando la calidad con agentes locales, usando métodos estadísticos con referencia a la calidad, buscando registros en los Estados miembros con la finalidad de que cumpla con lo dispuesto en la regla 18 y 14 del anexo VI del convenio MARPOL, consultado las listas de proveedores con mayor índice de calidad de combustibles marinos y la búsqueda de información que determine la reputación del proveedor de combustible marino.

-Cuando se realizan las pruebas de los límites de azufre y otros parámetros de calidad por medio de datos estadísticos, se tendrá mucho cuidado con las especificaciones brindadas porque si se informa incorrectamente, la norma ISO 4259: "Petróleo y productos relacionados. Precisión de los métodos de medición y de los resultados", lo traducirá como un informe de análisis estadístico erróneo.

-Los organismos que realizan las pruebas no estarán informados de la cantidad de entrega, ni la calidad del servicio del proveedor.

### **Contratación**

-Se establecerá un contrato contractual, en la que dispondrá como objetivo principal el tipo de combustible que debe ser suministrada entre otras especificaciones.

-En el contrato se establece las cantidades encargadas con límites de contenido de azufre incluyendo datos técnicos y calidades, que cumplan con la regla 14 del convenio MARPOL.

-El combustible marino deberá de estar sujeto a las normas ISO 8217 más reciente, la norma ISO/PAS 23263 y en caso el combustible no cumpla con la ISO 8217 tienen que cumplir con las especificaciones de las reglas 18.3.1 y 18.3.2 del anexo VI del convenio MARPOL y del convenio SOLAS capítulo II-2.

-Se manifiesta que el proveedor deberá de entregar en la documentación un certificado de calidad como garantía.

### **Manipulación a bordo, muestreo y ensayo del combustible marino**

-Las faenas de combustible irán registrados en el libro de registros de hidrocarburos, tal y como se establece en el MEPC.1/Cir.736.

-Los buques receptores deberán de contar con procedimientos de las faenas, así como procedimientos contra derrames, contaminación y emergencias.

Todo eso deberá de estar establecido en el IGS de a bordo, los planes de emergencia, la resolución A.1072(28) y la regla 37 del Anexo I del convenio MARPOL.

-Todo buque deberá contar con un plan de emergencia, en el caso de la contaminación por hidrocarburos se usará según la resolución MEPC.54(32) el SOPEP.

-Cuando se realiza las faenas de combustible se realizará con una comunicación clara y en lo posible evitar la contaminación cruzada por medio de las mezclas de combustibles en las tuberías o tanques de almacenamiento.

-En el proceso de abastecimiento de combustible, se cumplirá la resolución MEPC.182(59), el cual indica que se recogerán muestras para determinar

con el cumplimiento de lo establecido según el Anexo VI del convenio MARPOL.

-Las muestras de combustibles marinos pasaran por análisis técnicos, para ello los laboratorios deberán de cumplir con la norma ISO/IEC 17025, con la finalidad de que sea un lugar acreditado para cumplir las pruebas de calibración.

-Los laboratorios deben de cumplir con la norma ISO 9001, la cual determina que dicho laboratorio cuenta con un sistema de gestión de calidad. Con la finalidad de que los combustibles cumplan con las características técnicas.

**Figura 2**

*Manipulación a bordo, muestreo y ensayo de combustibles marinos*



*Nota.* Las faenas de combustible se deberán de realizar de forma segura, realizando los procedimientos adecuados y cumpliendo con el plan de contingencia establecido en el MEPC.54(32). (<https://www.marineinsight.com/wp-content/uploads/2019/01/What-is-Ship-Oil-Pollution-Emergency-Plan-SOPEP.png>)

-Para que el ensayo de combustibles marinos con normativa en la ISO 13739, ISO 4259, que cumpla con el Anexo VI del convenio MARPOL, la resolución de muestreo de combustibles MEPC.182(59), la circular de muestreo de combustibles con bajo contenido de azufre MEPC.1/Circ.864; se

establecerán procedimientos en la ejecución y reconocimiento de verificación de combustibles marinos.

(MEPC, 2018)

## 2.3. Marco teórico

### 2.3.1. Emisiones de azufre en buques mercantes

Para comprender el análisis del estudio es necesario tener conocimiento sobre la contaminación atmosférica y el origen de las emisiones de azufre que generan los buques mercantes, ya que es fundamental para que el cambio climático ocurra como consecuencia de los gases contaminantes, se reduzca y pueda mantener un ecosistema saludable para todas las personas que lo habitan.

**-Contaminación atmosférica:** Según IDEAM (2020) señala que la contaminación atmosférica se forma cuando se presentan partículas o sustancias gaseosas en el aire que perjudiquen o dañen a las personas, animales o plantas que formen parte de dicho ambiente, y los medios los cuales producen dichos contaminantes como los procesos industriales, transportes móviles, los cuales realizan combustión.

La OMS (2020) sostiene que los niveles del aire son superiores que los límites recomendados en las directrices que establece la misma, de tal manera que las personas lo respiran siendo las más expuestas las que habitan en los países subdesarrollados, de tal manera que representa una amenaza para la salud y el clima.

En tal sentido de lo expuesto por los autores se establece que la atmósfera en la cual las personas respiran presentan partículas que contaminan y perjudican a la salud y al clima, de tal manera que dichos materiales se generan a causa de procesos industriales o que provienen del transporte terrestre, aéreo, ferroviario, fluvial y marítimo.

### **Figura 2**

*Contaminación atmosférica ocasionado por buques mercantes*



*Nota.* Los buques mercantes emiten gases a la atmosfera que son contaminantes para las personas que habitan en la tierra y el medio ambiente. (<https://www.agenciasinc.es/Noticias/Cuantas-emisiones-contaminantes-aporta-el-transporte-maritimo>)

Así mismo es importante mencionar cuales son las sustancias o partículas derivados de dichos procesos, los cuales generan contaminación atmosférica, en las que resalta el óxido de nitrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y los óxidos de azufre.

Para el presente estudio es importante enfocarlo en las emisiones de azufre, las cuales resultan explícitamente de los siguientes elementos:

- Óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ): Es un elemento que al oxidarse se forma el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), los cuales son generado por el combustible que se emplean para el proceso de

combustión como son el uso de carbón y petróleo, y cuando se funden minerales como el aluminio, cobre, zinc, plomo y hierro; los cuales contienen compuestos de azufre, dichos óxidos pueden ser controlado eliminando el azufre del combustible o mediante la limpieza de los gases de escape con agua (Medina, 2016; LDX, 2020).

- Dióxido de azufre: Es un gas incoloro, no inflamable y contaminante primario, que presenta un olor irritante y fuerte, dura en la atmósfera de 2 a 4 días, el cual retorna y se deposita en la superficie que al entrar en estado húmedo o seco se transforma en iones de sulfato, siendo un factor determinante para las lluvias ácidas, son emitidos por la oxidación del ácido sulfúrico y la actividad volcánica, actividades humanas y combustión del petróleo y carbón.

- Trióxido de azufre: Es un elemento derivado del óxido de azufre, el cual reacciona con el oxígeno de la atmosfera para luego al tener contacto con el agua forma el ácido sulfúrico, formando la lluvia ácida y provocando daños en la salud, peces, metales, etc. (Medina, 2016).

#### **-Consecuencias de la contaminación atmosférica vinculado a las emisiones de azufre:**

- La lluvia ácida: Es conocida como lluvia contaminada, debido a que posee un pH menor 7, la cual es originada por los gases como los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno que se realizan a través de la quema de combustibles fósiles, emisiones volcánicas, de tal manera que dichos gases reaccionan con el oxígeno para formar soluciones como ácido nítrico y sulfúrico disolviéndose y depositándolo en la superficie

generando la acidificación la cual provoca efectos negativos para el ser humano y el medio ambiente (IDEAM, 2020).

Las lluvias acidas cuando se genera la acidificación causan los siguientes efectos:

- Causa la pérdida de biodiversidad y productividad en los océanos, por el bajo pH del agua marina.
  - Causa aguas continentales ácidas, lo que conlleva a la muerte de peces anfibios y plantas; además que los metales pesados son desplazados hacia las aguas subterráneas, de tal manera que no deben ingerirse para el consumo.
  - Causa daño en los bosques ya que el bajo pH del suelo impide la adecuada absorción del agua afectando raíces, disminuyendo el crecimiento y volviéndolas débiles y vulnerables.
  - Causa daño a patrimonio artísticos, histórico y cultural, ya que la lluvia acida corroe, deteriora elementos metálicos al depositarse de tal manera que se disuelven por los efectos de la misma (Iberdrola, 2020).
- 
- Enfermedades: Las emisiones de azufre causan enfermedades en las personas por el aire contaminado que respiran día a día, de tal manera que pueden afectar gravemente la salud inclusive hasta perder la vida de la persona. Es por ello que se resaltan las siguientes enfermedades:
    - ) Disminución de la frecuencia cardiaca
    - ) Infección o inflamación de las vías respiratorias
    - ) Asma

- ) Leucemia
- ) Edema pulmonar
- ) Cardiopatía coronaria
- ) Cáncer del pulmón (OMS, 2020; Murcia Salud, 2020)

En ese sentido, es importante tener conocimiento de las consecuencias que presentan las emisiones de azufre, para que las empresas y gente de mar se involucren en mejorar la calidad del hidrocarburo que se emplea en los buques de tal manera que los óxidos de azufre sean controlados, no perjudiquen la atmósfera.

### Figura 3

*Consecuencias de las emisiones de azufre*



*Nota.* Las consecuencias de las emisiones de azufre son las lluvias ácidas, problemas respiratorios, disminución de la frecuencia cardíaca, pérdida de fauna marina y problemas respiratorios.

### **-Propagación de emisiones de azufre ocasionados por buques**

**mercantes:** Los buques mercantes emplean un sistema de propulsión, el cual hace que sea posible la navegabilidad de la embarcación, de tal manera que los hidrocarburos utilizados como el fueloil pesado contienen azufre por la combustión del motor que genera el buque, liberando gases de escape y

emisiones que contienen azufre, siendo perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana (OMI, 2020).

Es así que, cuando se refiere a la propagación de emisiones de azufre, se debe al empleo de los hidrocarburos fósiles, los cuales contienen sustancias contaminantes al generar la combustión propia de los buques, generando preocupación en las organizaciones relacionadas a cuidar el medio ambiente en general.

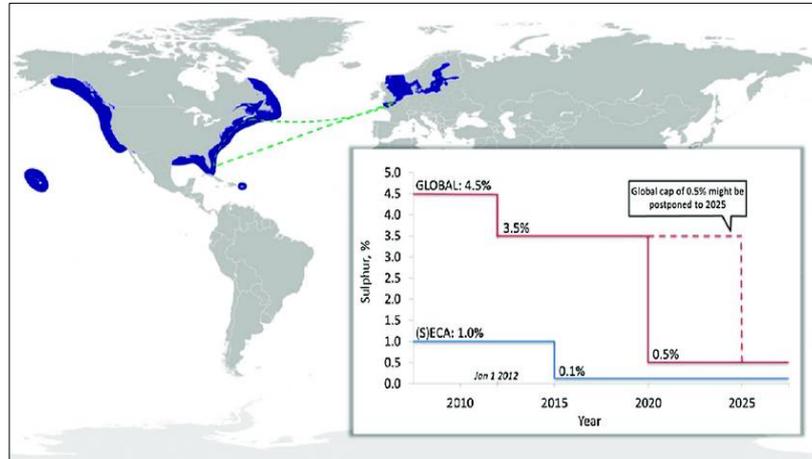
**-Acciones respecto a las emisiones de azufre en los buques mercantes:**

En tal sentido, la OMI (2020) establece medidas para controlar las emisiones de azufre, de tal manera que sean mínimas y no perjudiquen el medio ambiente y la salud, estableciendo lo siguiente:

- Límites de las emisiones de azufre en los buques mercantes: El convenio MARPOL establece los límites de las emisiones de azufre en el combustible para realizar la combustión, de tal manera que el 1 enero del 2020 es de 0.50% aplicables a zonas marítimas designadas, las cuales son:
  - ) Zonas Globales: son áreas de control de emisiones de azufre en donde el contenido de azufre descenderá al 0.5%.
  - ) Zonas ECAS: Son áreas para el control de las emisiones de azufre en donde el contenido descenderá a 0.1%, el cual se extiende hasta las 200 millas náuticas, las cuales son:
    - . Zona del Mar Báltico
    - . Zona del Mar del Norte

- . Zona del Canal de la Mancha
- . Zona de Norteamérica
- . Zona del Mar del Caribe de los Estados Unidos (Seco, 2017).

**Figura 4**  
Zonas ECAS y Globales



*Nota.* Las zonas ECAS son áreas en donde controlan las emisiones de azufre el cual es de 0.1% y en las zonas Globales 0.5%. ([https://www.researchgate.net/figure/Map-of-the-current-Sulphur-Emission-Control-Areas-Patricksson-et-al-2015\\_fig1\\_322267651](https://www.researchgate.net/figure/Map-of-the-current-Sulphur-Emission-Control-Areas-Patricksson-et-al-2015_fig1_322267651))

- Efectos de la limitación de las emisiones de las emisiones de azufre: La OMI (2020) señala que los límites establecidos tendrán efectos beneficiosos, los cuales se presentan lo siguiente:
  - ) Aire más limpio
  - ) Efectos positivos en la salud humana
  - ) Combustibles de mayor calidad
  - ) Adaptaciones de los armadores, propietarios y refinerías
  - ) Cambios en las autoridades encargadas del cumplimiento

En tal sentido de lo mencionado líneas arriba, se comprende que la OMI dentro del convenio MARPOL establece lineamientos que limitan el uso de azufre en

los buques mercantes en zonas globales y zonas ECAS, dichas medidas generan beneficios para el medio ambiente y la salud humana.

Con respecto a las adaptaciones de las medidas establecidas por el ente regulador, las empresas navieras deben implementar y buscar los medios y equipos necesarios para que se reduzcan dichas emisiones que perjudican a atmosfera, la vida humana y el medio marino.

**Figura 5**  
*Beneficios del límite de azufre.*



*Nota.* Reducir las emisiones de azufre trae efectos ventajosos para la salud humana. (<https://portalportuario.cl/omi-2020-entra-en-vigor-el-limite-de-azufre-en-el-combustible-marino/>)

### 2.3.2. Combustibles marinos

Los combustibles marinos, denominados también “bunker fuel” son elementos indispensables para que la máquina principal de un buque posea la energía necesaria para propulsar de manera óptima y adecuada en razón de cumplir con los fines comerciales.

El término bunker se remonta a los buques que eran propulsados por vapor, donde el carbón que se utilizaba como combustible era almacenado dentro de

los bunkers de carbón a bordo del buque, lo que, en la actualidad, se han convertido en tanque de combustible, pero que generalmente reciben el nombre de bunker (Crownoil, 2020).

Si bien es cierto, el bunker es consumido generalmente por el motor principal del buque, los motores auxiliares también lo suelen utilizar para proporcionar calefacción, iluminación, etc. En ese sentido, existen diversos tipos de combustible marino que pueden ser utilizados a bordo del buque (Brownlee, 2007).

Existen dos tipos de combustible marinos:

-Residuales: Los combustibles residuales provienen de la mezcla de residuales y diluyentes, de tal manera que puedan cumplir con las especificaciones de diferentes grados. Suelen tener un color negro y ser de naturaleza pastosa. Existen disponibles en diversas viscosidades y variantes alto y bajo de azufre.

A su vez los combustibles residuales suelen clasificarse en: combustible residual con alto contenido de azufre (HSHFO), combustible residual con contenido muy bajo de azufre (VLSFO) y combustible residual con contenido Ultra bajo de azufre (ULSFO).

-Destilados: Son obtenidos producto de la condensación de vapores destilados del petróleo crudo, y las variantes utilizadas dentro de los buques mercantes son los Gasoil marino (MGO) y Diesel marino (MDO). El MGO se caracteriza por no contener componente residual, mientras que el MDO

posee al menos pequeñas cantidades de componente residual (BIMCO, 2018).

**Figura 6**  
*Combustibles marinos*



*Nota.* Los combustibles marinos deben cumplir con especificaciones de acuerdo con lo establecido en la norma ISO 8217:2017 (<https://www.offshore-energy.biz/monjasa-supplies-first-ulsfo-ahead-of-imo-2020/>)

En la actualidad los combustibles que se suministran a bordo de los buques mercantes deben cumplir con las especificaciones de la norma ISO 8217:2017 (Productos del petróleo – Combustibles (clase F) Especificaciones de combustibles marinos) la cual señala los requerimientos para el uso de los mismos en calderas y motores diésel marinos, previo al tratamiento convencional que se realiza a bordo (sedimentación, centrifugación, filtración) (ISO, 2020).

Las características más importantes del combustible marino son:

- Densidad: Representa la masa por unidad de volumen, medidas convencionalmente en  $\text{kg/m}^3$ .
- Punto de ebullición: Representa la temperatura en la cual los vapores tienen a ser inflamables.

-Punto de fluidez: Representa la temperatura en la cual el combustible empieza a solidificarse.

-Viscosidad: Representa la medida de la resistencia de flujo o desplazamiento del combustible.

Además de los mencionados, los parámetros que son regulados por la ISO 8217:2017 son: residuo carbonoso, cenizas, agua, azufre, vanadio, sedimento potencial, aluminosilicatos, sulfhídrico, etc. Dichas especificaciones aplican tanto para los combustibles marinos residuales y destilados.

Un punto importante a señalar es que la norma ISO 8217:2017 divide los combustibles marinos en grados de destilados marinos (DM), destilados FAME (DF) y residuales marinos (RM). Por otra parte, por lo general los cuatro tipos de combustible marino más utilizado en los buques mercantes son Gasoil marino (MGO), Diesel marino (MDO) y los residuales de 180 cSt y 380 cSt IFO.

De manera análoga, dichos combustibles se corresponden con los siguientes grados de ISO:

-MGO se corresponde con DMA.

-MDO se corresponde con DMB y DMC.

-IFO 180 cSt se corresponde con RME180 y RMF180.

-IFO 380 cSt se corresponde con RMG380, RMH380 y RMK380 (López, 2015).

### 2.3.3. Proceso de refinado de petróleo para la obtención de combustible marino

El petróleo crudo es una mezcla de un conjunto de hidrocarburos diferentes y diferentes impurezas. La composición del crudo puede variar significativamente según la fuente de extracción, inclusive si son extraídos de las mismas áreas geográficas (Islam, 2015).

Los combustibles marinos suelen ser parafínicos, nafténicos y aromáticos. Cada crudo contiene los tres tipos de hidrocarburos, pero relativamente en porcentajes diferentes determinados muchas veces por las zonas de extracción de la materia prima en referencia.

La refinería tiene como objetivo base el separar del crudo las diferentes fracciones más solicitadas y en la actualidad también se orienta a eliminar las emanaciones de compuestos de azufre de los combustibles que en el consumo de las máquinas emiten gases contaminantes hacia el medio ambiente (Cerón, 2016).

Los procesos aplicables en las refinerías del petróleo para la obtención del combustible marino son los siguientes:

| Procesos utilizados  |
|--|
| <b>-Destilación:</b> Es la primera y la más fundamental donde el crudo se calienta en equipos especiales y al pasar por una columna de destilación que opera a presión atmosférica se logra la separación en diversas fracciones que |

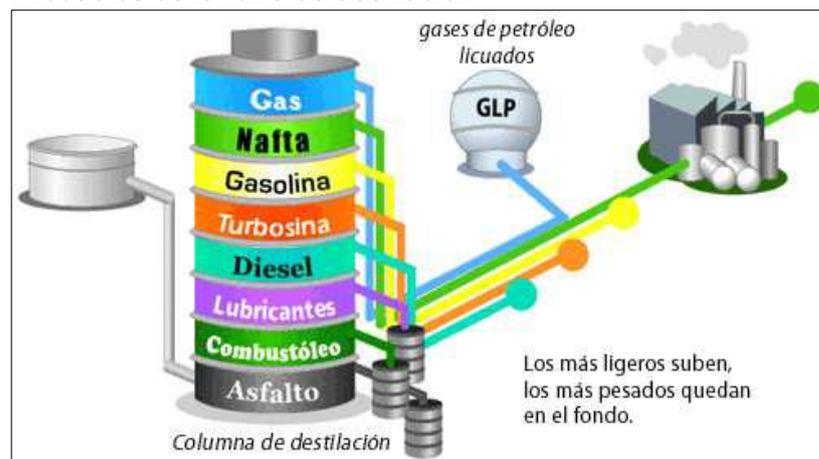
incluyen del gas licuado de petróleo (LPG), nafta, querosene, gasóleo y un residuo que corresponde a los compuestos más pesados los cuales no llegaron a evaporarse.

En una segunda columna se logra la vaporización adicional de un producto que forma parte de las refinerías para lograr la conversión y obtener otros ligeros de mayor valor.

En el primer proceso, el petróleo se separa en fracciones que luego serán procesados, dando origen a gases LPG, gasolinas, jet, diésel y combustibles marinos.

**Figura 8**

*Productos de la torre de destilación*



*Nota.* Los productos más ligeros suben, los más pesados quedan en el fondo (Introducción a la refinación del petróleo, Cerón, 2015)

**-Cracking térmico:** Para poder tener una mayor eficiencia en la refinación el cracking térmico genera nuevos productos tales como destilados (gas oil) y fuel oil (residuo). A temperaturas de entre los 440 – 500 °C, por lo general las moléculas se vuelven inestables y tienden a romper enlaces para llegar a moléculas cada vez más pequeñas.

El cracking térmico se basa en el principio de reacción endotérmica, lo cual emplea el calor para cumplir con los objetivos de romper grandes cadenas de hidrocarburos transformándolos en partículas más pequeñas.

Los parámetros de trabajo, tanto como la presión y la temperatura dependen de los resultados que se busquen.

| Procesos                              | Rango de temperatura (°C) | Rango de presiones (bar) |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Reducción de viscosidad (visbreaking) | 440-450                   | 5-10                     |
| Producción de gas oil                 | 500                       | 20-25                    |
| Coking retardado                      | 450-500                   | 20-30                    |

**-Cracking catalítico:** Es un proceso basado en el mismo principio del cracking térmico con la única diferencia que utiliza un catalizador, lo cual corresponde a una sustancia que acelera el proceso pero que no interviene en el mismo). Los catalizadores más utilizados son el óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

El rango de temperatura del proceso es de  $480^\circ\text{-}510^\circ\text{C}$ , la cual utiliza como fuente de alimentación el residuo de la torre de destilación al vacío y entrega nuevos productos tales como destilados y residuales.

Otros productos que son entregados del cracking catalítico son: Gas seco, propano/propileno (PP), butano/butileno (BB), gasolina, aceite de reciclo pesado (ARP), aceite lodoso, aceite de reciclo liviano (ARL) y coque.

**-Hidrotratamiento:** Con el objetivo de reducir los compuestos de azufre, y evitar daños ambientales por la lluvia ácida, el hidrotratamiento somete varias fracciones que se obtienen en la destilación atmosférica y al vacío.

Al utilizar hidrógeno que reacciona con los compuestos de azufre de los hidrocarburos y el uso de un catalizador para formar ácido sulfhídrico. Posteriormente dicho compuesto se convierte en azufre elemental sólido, lo que requiere altas presiones y temperaturas, y la conversión se realiza en un

reactor químico con catalizador sólido impregnado por molibdeno, níquel y cobalto.

**-Hidro cracking (HCK):** Un proceso de la refinería que emplea catalizadores para acelerar la separación de moléculas grandes, de bajo valor en hidrocarburos más ligeros, pero con más valor. En el presente proceso, se obtiene gases ligeros, nafta y destilados medios. La calidad de la producción dependerá de diversos factores, tales como el tipo de catalizador, la presión y la temperatura de operación.

**-Visbreaking:** Tratamiento basado en la aplicación de la temperatura con la intención de reducir la viscosidad de los residuales. Se realiza con el objetivo de poder evitar inestabilidad al mezclar varios tipos de combustible. Con el presente proceso se reduce el uso de destilados como cortador de fuel oil.

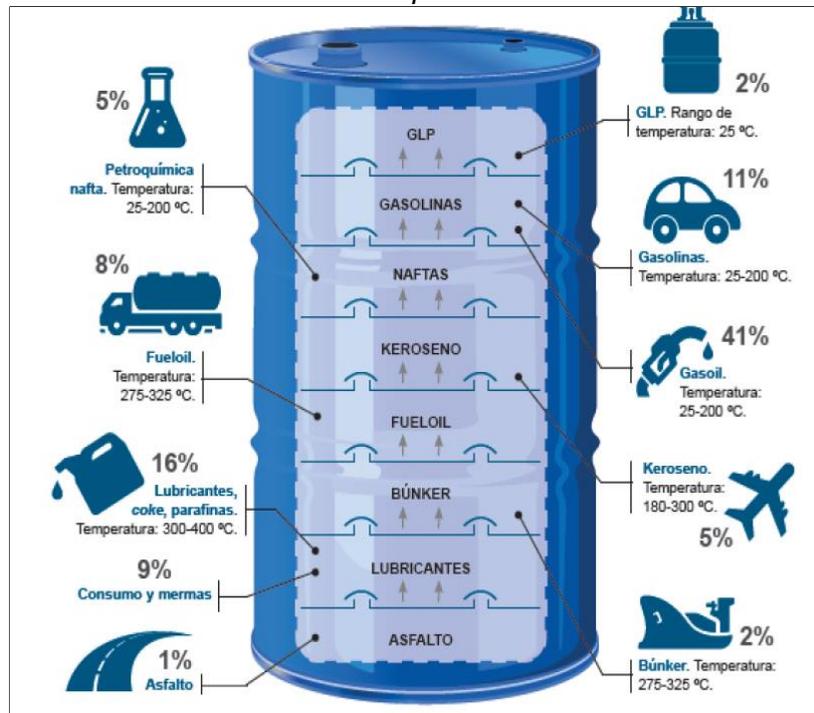
**-Conversión media:** Un esquema convencional actual se encuentra formado por: Destilación a vacío del residuo atmosférico, unidad desulfuradora media de destilados medios, unidad FCC e incorporación de unidades de cogeneración de energía eléctrica.

**-Conversión profunda:** Al esquema básico se añade: unidad de hidro craqueo, unidad de isomerización y planta de conversión del residuo asfáltico en energía eléctrico e hidrógeno.

Los procesos señalados forman parte del proceso de refinado de los combustibles en las refinerías, donde el objetivo principal es la separación de productos ligeros y pesados principalmente a través del proceso de destilación, sobre los cuales, se establecen otros procesos opcionales para poder buscar como resultado combustible con más calidad y que cumpla con los requerimientos técnicos como medioambientales.

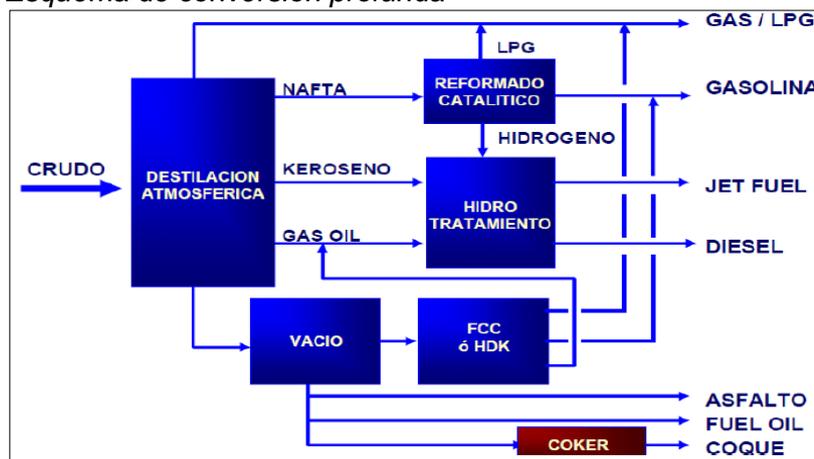
(Cerón, 2016; Islam, 2015; López, 2015)

**Figura 7**  
*Productos de la destilación del petróleo*



*Nota.* Del proceso de destilación del petróleo se generan distintos productos que son utilizados en diversas industrias (Evaluación de las consecuencias de la nueva regulación de la OMI sobre combustibles marinos, López, 2015, p. 100)

**Figura 8**  
*Esquema de conversión profunda*



*Nota.* Se aprecian los diversos procesos a los cuales es sometido el petróleo en la refinería (Evaluación de las consecuencias de la nueva regulación de la OMI sobre combustibles marinos, López, 2015, p. 106)

#### 2.3.4. Finos catalíticos

Según CM Technologies (2018) los finos catalíticos son partículas pequeñas que son utilizados como catalizadores en los procesos catalíticos utilizados en la refinería, suelen ser de naturaleza dura y capaces de rayar severamente e inclusive cortando metales.

Joint Hull (2013) señala que los finos catalíticos son compuestos a base de aluminio-sílice los cuales se encuentran por lo general en los combustibles marinos residuales, que al ingresar al espacio de combustión del motor pueden incrustarse en diversos componentes principalmente del sistema de combustible y máquina principal.

**Figura 9**

*Fino catalítico incrustado*



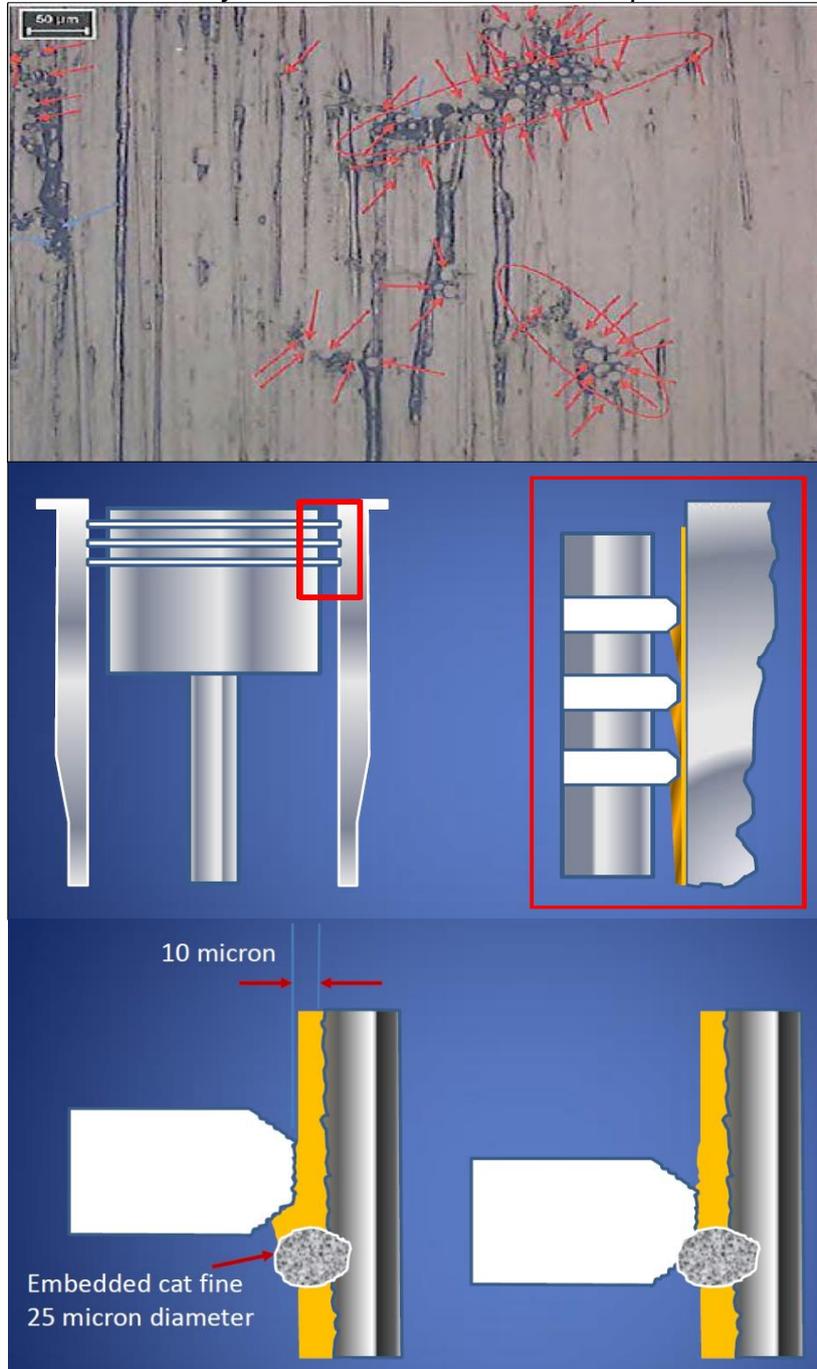
*Nota.* Fino catalítico incrustado en la camisa de un pistón ([http://www.iumi.com/images/gillian/London2013/Wednesday1809/Paul%20Hill%20%20John%20L%20David\\_FINAL.pdf](http://www.iumi.com/images/gillian/London2013/Wednesday1809/Paul%20Hill%20%20John%20L%20David_FINAL.pdf))

Los finos catalíticos que ingresan a la máquina principal, después de pasar por la separación centrífuga, tienen un potencial de causar desgastes abrasivo

y daños a la máquina principal, afectando anillos del pistón y la camisa de pistón generalmente.

**Figura 10**

*Finos catalíticos y su afectación a la camisa del pistón*



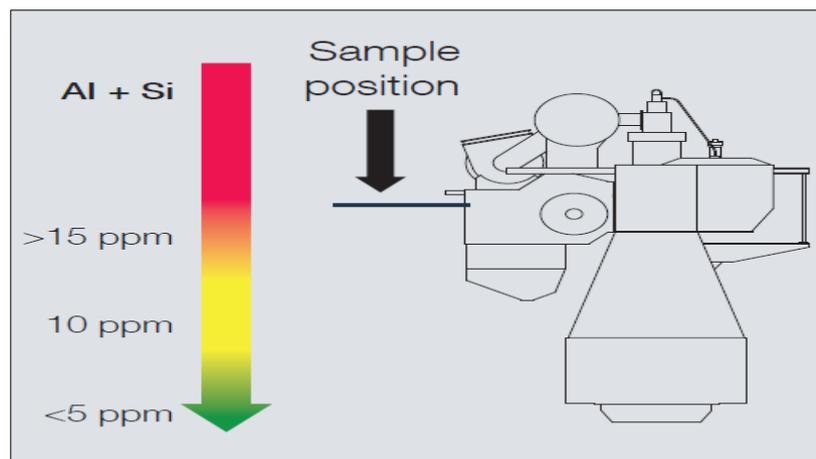
*Nota.* Los finos catalíticos pueden incrustarse en la camisa del pistón ocasionando rayaduras y cortes en su superficie ([http://www.iumi.com/images/gillian/London2013/Wednesday1809/Paul%20Hill%20%20John%20L%20David\\_FINAL.pdf](http://www.iumi.com/images/gillian/London2013/Wednesday1809/Paul%20Hill%20%20John%20L%20David_FINAL.pdf))

Siendo un producto secundario del refino, las recomendaciones establecidos por MEPC (2019) determinan que debe aplicarse una adecuada gestión a bordo de los buques, de tal manera que por purificación los finos catalíticos no puedan incrustarse en las piezas del motor y ocasionar rápidamente daños graves.

De acuerdo con la norma ISO 8217:2017 el contenido permitido de finos catalíticos es de 60 ppm, sin embargo, los fabricantes de motores prevén que el sistema de limpieza deba reducirlos a un máximo de 10 a 15 ppm, de manera que las repercusiones de dichos aluminosilicatos no generen daños irreversibles.

**Figura 11**

*Límite de finos catalíticos en el combustible*



*Nota.* Los ensayos demuestran que mientras menor contenido de finos catalíticos se observe en el combustible, menor será el desgaste (<http://www.tribocare.com/pdf/mft/sl2017-638-hfo-clean.pdf>)

- **¿Cómo se forman los finos catalíticos?** De acuerdo con lo establecido por Alfa Laval (2020) las refinerías utilizan la destilación atmosférica y por vacío para eliminar productos más volátiles y de mayor valor, para luego romper el crudo restante en diversas fracciones utilizando procesos térmicos y catalíticos.

En el craqueo catalítico, se añaden catalizadores físicos para que se puedan romper las moléculas de hidrocarburos. Los catalizadores que con frecuencia se suelen utilizar son las zeolitas cristalinas sintéticas, los cuales se encuentran formados de aluminio y silicio, los cuales son de naturaleza abrasiva y extremadamente duros.

Los catalizadores suelen ser costosos para las refinerías, por lo que suelen recuperarse y volver a utilizarse, lo que determina que en el combustible marino se pueda observar contenidos de dichos compuestos abrasivos que afectan al motor principal de los buques mercantes, principalmente quienes vienen utilizando combustibles con bajo contenido de azufre.

#### **-Características de los finos catalíticos:**

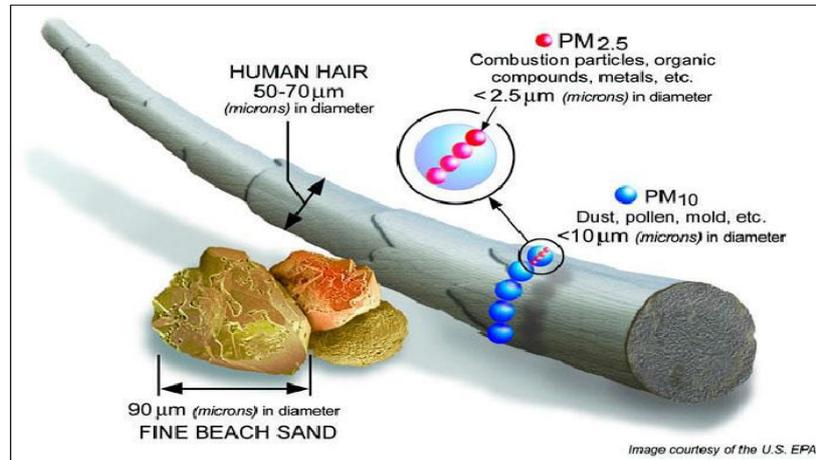
- Son compuestos cerámicos de aluminio y silicio.
- Se utilizan como catalizador en el proceso de refinado del petróleo, para mejorar la calidad de los combustibles (Craqueo catalítico)
- Se adhieren dentro de los filtros del sistema de combustible con facilidad.
- Los tamaños pueden ser de entre 75  $\mu\text{m}$  hasta 1  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  = 0.001 mm).
- Los principales componentes que son afectados son las camisas y anillos del pistón; bombas de combustibles; inyectores y válvulas (Hill y David, 2013).

Los finos catalíticos es una repercusión del uso de combustible marino con bajo contenido de azufre, lo cual ha sido establecido a partir de la implantación de la nueva normativa medioambiental que busca mejorar las condiciones atmosféricas a nivel mundial y mejorar la calidad de vida de los seres humanos,

principalmente de quienes viven cerca a zonas donde el tráfico marítimo es recurrente.

**Figura 12**

*Comparación de finos catalíticos con el cabello humano*



*Nota.* Los ensayos demuestran que mientras menor contenido de finos catalíticos se observe en el combustible, menor será el desgaste

[http://www.iumi.com/images/gillian/London2013/Wednesday1809/Paul%20Hill%20%20John%20L%20David\\_FINAL.pdf](http://www.iumi.com/images/gillian/London2013/Wednesday1809/Paul%20Hill%20%20John%20L%20David_FINAL.pdf)

### 2.3.4.1. Zeolitas

En la actualidad, las refinerías usan un catalizador moderno para el craqueo catalítico fluidizado con una composición de zeolitas, matriz, aglutinantes y soporte. Con la finalidad de promover un craqueo selectivo en la fluidización y adecuadas propiedades de transporte (Escudero,2009).

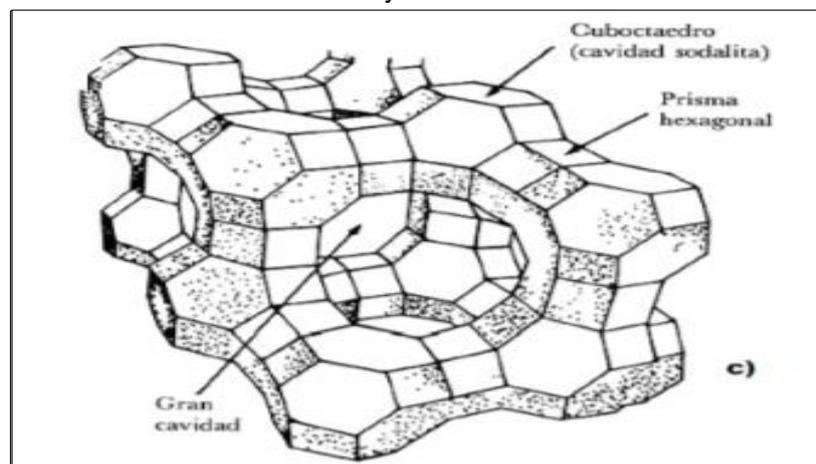
Con relación al origen de las zeolitas, se clasifican en naturales (son formadas en sedimentos y rocas metamórficas de las cenizas volcánicas), y sintéticos (fabricadas por medio del hidróxido y la difracción de rayos X).

En donde, la zeolita tipo Y perteneciente a los sintéticos de tipo faujasita son los más usados en el craqueo catalítico fluidizado.

Las zeolitas son polímeros inorgánicos cristalinos en redes de tetraedros conformados por aluminosilicatos, unidos por oxígeno compartido, las cuales tienen cavidades intracrystalinas por los 4 átomos que conforman un tetraedro unido en sus esquinas las cuales logran una estructura que puede contener moléculas pequeñas (Peskoj,2021).

**Figura 13**

*Estructura de una zeolita faujasita*



*Nota.* La zeolita faujasita tipo Y es el tipo de catalizador más usados en las refineras. (<http://ri.uaemex.mx/oca/bitstream/20.500.11799/13891/1/Tesis.417137.pdf>)

### **Beneficios generales de las zeolitas sintéticas**

**- Aplicación de las zeolitas sintéticas:** Existe una alta demanda del uso de las zeolitas sintéticas con un fin netamente económico, en la industria se usan en:

-Industria de detergentes

-Catálisis

- Adsorción
- Intercambio iónico
- Agentes antibacterianos

**- Uso de zeolitas sintéticas en la catálisis:** Para una mejora del combustible marino se usan las zeolitas sintéticas tipo faujasita en las catálisis, tales como:

- Craqueo catalítico
- Hidro craqueo
- Isomerización de parafinas
- Catálisis de reacciones aromáticas
- Manufactura de productos químicos intermediarios y finales
- Reducción de aromáticos contenidos en el diésel
- Extracción de aceite de desechos plásticos
- Proceso Cylar
- Descomposición de óxidos nitrosos

**- Uso de zeolitas sintéticas en la adsorción:** El propósito de las zeolitas sintéticas en la adsorción, tiene como finalidad proporcionar una purificación de gases y líquidos, estos compuestos facilitan su uso como tamices moleculares, la cual por medio del proceso inicial proporciona la remoción de agua, dióxido de carbono, compuestos de azufre, adsorción fluoruro-carbono y separación de nitrógeno por medio del vaivén de presión.

**-Uso de zeolitas sintéticas en el craqueo catalítico:** En las plantas de refinería, el proceso de craqueo catalítico inicia en un reactor de lecho fluidizado, en donde una muestra de petróleo crudo junto con un

catalizador de zeolita Y ultra estable son mezclados, a una temperatura de 450 – 520°C, luego se separa el catalizador de los productos generados por el proceso de regeneración, con la finalidad de eliminar el coque que se haya adherido en los compuestos aromáticos.

(Rodriguez,2016)

- **¿Cómo se forman las zeolitas sintéticas?**: En el proceso de catalizar en el FCC, la zeolita es el componente clave y más costoso, la cual determina la selectividad del catalizador, es por ello los laboratorios realizan las primeras pruebas de campo para determinar la composición por medio de un horno de tres zonas.

El método consiste en colocar una muestra calentada de materias primas hidrocarbonadas en las capas del catalizador, formando líquidos en el curso del craqueo y los gases producidos son acumulados en el gasómetro; después de terminar dicha prueba ambos productos se someten a análisis cromatográfico del gas. Para luego, dar inicio el análisis de contenido de coque.

Todos los procedimientos incluyen la determinación de los procesos por el cual transita el proceso de formulación de una zeolita sintética, en la actualidad existen pocos laboratorios con la capacidad de demostrar la calidad y proporcionar al cliente índices de actividad catalítica y equilibrio material (Aes,2013).

- **¿Por qué el uso de las zeolitas sintéticas en la producción petroquímica?**: Como se conoce la zeolita faujasita tipo Y, es un

compuesto del catalizador que es usado en los procesos de FCC por un mecanismo de hidrocarburos las cuales involucran las cargas carbocationicas, en donde las zeolitas tienen menos impurezas, mayor eficiencia unitaria, mayor capacidad, mayor selectividad, y además son re-generables y no son peligrosas. En comparación con catalizadores nocivos para el medio ambiente tales como los ácidos fosfóricos sólidos fluorhídrico entre otros (Peskov,2021).

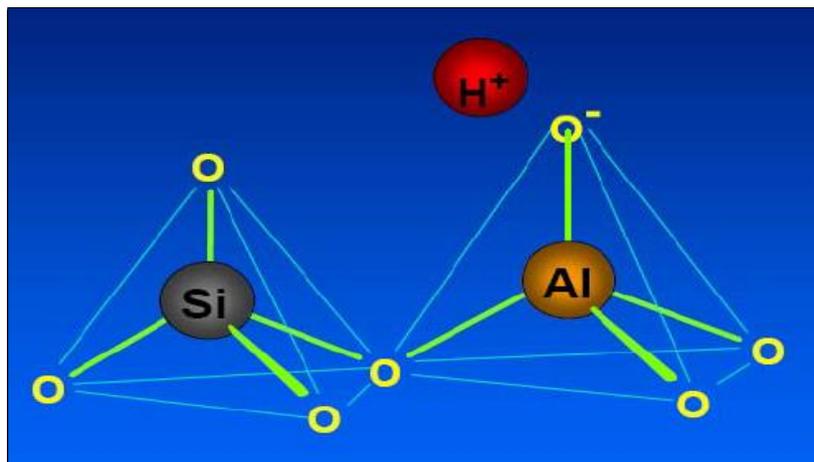
En la producción petroquímica, se usa los procesos de craqueo catalítico en donde se forman iones carbónicos en la base del catalizador, donde se producen las rupturas de los enlaces, isomerización, intercambios de hidrógeno, olefinas, iso-parafinas, iso-olefinas y aromáticos (Escudero,2009).

**-El uso de zeolitas en catalizadores con relación a finos catalíticos:**

La MEPC (2019), menciona que los finos catalíticos son pequeñas partículas de metal que en su producción secundaria del refino crean pequeñas partículas de metal que ocasionan en las partes del motor daños graves.

**Figura 14**

*Estructura de la zeolita*



*Nota.* El craqueo catalítico con presencia de hidrogeno son denominadas “Hydro cracking”.  
(<https://core.ac.uk/download/pdf/30042438.pdf>)

En este proceso de craqueo secundario, un moderno catalizador con componente principal a la zeolita faujasita y por medio del “hydro cracking” ocasiona la eliminación de componentes químicos como el azufre y nitrógeno (Escudero,2009).

Los craqueos catalíticos tienen una repercusión en el sector marítimo debido a que los finos catalíticos son un conjunto de componentes del catalizador usado en los procesos de FCC, debido a su forma metálica daña el motor y sus partes que la conforman.

## **CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO**

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

Por las características metodológicas del presente trabajo de investigación, tomando en cuenta las posturas de Hernández y Mendoza (2018), Rios (2017) y Pelekais et. al. (2015) se determinó que es de enfoque cualitativo, tipo básica, nivel exploratorio y diseño narrativo.

Hernández y Mendoza (2018) en correspondencia con los estudios de enfoque cualitativo manifiestan que “la investigación desde la ruta cualitativa se enfoca en comprender los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en su ambiente natural en relación con el contexto” (p. 390).

En ese sentido, para responder al objetivo de la investigación fue necesario recurrir a la observación por parte de los investigadores y las versiones de la tripulación de máquinas quienes vivieron el suceso recopilado, realizando el estudio desde una perspectiva natural en un contexto propio y muy particular.

Con respecto a los estudios de tipo básica, Rios (2017) establecen que se caracterizan por generar conocimiento base, los cuales no conllevan a fines prácticos, siendo de esta manera el fundamento base para plantear problemáticas que conlleven a mejorar condiciones.

Dicha postura, es acorde con el presente trabajo de investigación ya que los resultados narran un conjunto de eventos que dio lugar a la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero "AS Faustina", los cuales no contribuyen a resolver un problema práctico pero que deja evidencias que coadyuvan a formular nuevos estudios en aras de plantear nuevas líneas de investigación que mejoren condiciones desde el punto de vista técnico y operacional a bordo del buque.

Sobre los estudios de nivel exploratorio Hernández y Mendoza (2018) suelen caracterizarse cuando se empieza a investigar temas pocos estudiados que no fueron estudiados con anterioridad o que no existe información al respecto, sobre el cual se formulan dudas o que no se han abordado antes.

Al establecerse que la problemática sobre los finos catalíticos y las repercusiones en la máquina principal de los buques se presenta como una condición novedosa a bordo de los buques, quienes principalmente utilizan combustible con bajo contenido de azufre, el presente estudio se corresponde con un nivel exploratorio, ya que toma en cuenta los sucesos de un caso particular observado en el buque containero "AS Faustina".

Con respecto a los estudios de diseño narrativos Hernández y Mendoza (2018) establece que se caracterizan por analizar vivencias sobre sucesos considerando una perspectiva cronológica, cimentándose en narrativas individuales o grupales tanto escritas, verbales como no verbales, para luego integrarlas en una narrativa general.

Las características del diseño narrativo son compatibles con el proceso abordado para cumplir con el objetivo general del presente trabajo de investigación, ya que se tomó en cuenta narrativas tanto personales como del grupo de trabajo quienes fueron testigos de los sucesos a bordo del buque, de manera que la información obtenido pueda sistematizarse y establecerse de acuerdo con un protocolo de informe de tesis acorde con un estudio cualitativo.

### **3.2. Sistema de categorías**

Pelekais et. al. (2015) señaló que:

Es de hacer notar que no todas las investigaciones utilizan una metodología bajo un enfoque netamente positivista o cuantitativo, es decir, formulan hipótesis, variables, aplican estadísticas, entre otros; también existen la investigación cualitativa, que hace uso de categorías, subcategorías, unidades de análisis. Este tipo de enfoque produce hallazgos a los que no se llega a través de procedimientos estadísticos o cuantitativos (p. 83).

Bajo dicha postura, el presente estudio formula una sistematización de aspectos para poder interpretar y conocer las cualidades profundas del tema central de análisis. En ese sentido, se establece la matriz categorial donde se señalan además la coherencia respecto a los objetivos de estudio planteados.

**Tabla 1**  
*Matriz categorial*

| Esquema   |  |
|---|--|
| Categoría de análisis: Finos catalíticos en la máquina principal.<br>Espacio: Buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhelmsen Ahrenkiel Ship Management.<br>Subcategoría de análisis: Indicios observados, componentes afectados, medidas y lecciones aprendidas. |  |
| Subcategorías   | Indicadores  |
| Indicios observados   | -Origen<br>-Alarmas<br>-Cadena de errores<br>-Capacitación                         |
| Componentes afectados   | -Inspección inicial<br>-Inspección intermedia<br>-Inspección final                 |
| Medidas   | -Alarma de incendio en sala de máquinas<br>-Buque al garete<br>-Compañía<br>-Buque |
| Lecciones aprendidas  | -Enseñanzas<br>-Mejores prácticas<br>-Actividades formativas                       |

**Tabla 2**  
*Definiciones operacionales*

| Categoría de análisis                     | Definición  |
|---|---|
| Finos catalíticos en la máquina principal | Productos secundarios del refino que consisten en pequeñas partículas del metal los cuales se introdujeron en el sistema de combustible y máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhelmsen Ahrenkiel Ship Management, 2020, lo |

|                           |  |
|---------------------------|--|
|                           | que dañó a las camisas y anillos del pistón de la máquina principal.   |
| Subcategorías de análisis |  |
| Indicios observados       | Eventos previos observados con respecto a la problemática que causó el daño a la camisa y anillos del pistón de la máquina principal, enfatizando en el origen, alarmas que se activaron, la cadena de errores y las capacitaciones previas que debieron establecerse. |
| Componentes afectados     | Componentes que sufrieron perjuicios por la aparición de finos catalíticos en el sistema de combustible y máquina principal, tomando en consideración la inspección inicial, intermedia y final.   |
| Medidas                   | Acciones que fueron tomadas en relación con la alarma de incendio en la sala de máquinas, cuando el buque estuvo al garete tanto por la gestión interna del buque y la compañía.   |
| Lecciones aprendidas      | Son las enseñanzas, mejores prácticas y actividades formativas que pueden aplicarse a la tripulación del buque en donde se desarrollaron los hechos.   |

### 3.3. Muestreo

Los muestreos en los estudios cualitativos se caracterizan por ser no probabilísticos, ya que se orientan a profundizar sobre un fenómeno o tema central de análisis y no se interesan en la generalización a partir de casos particulares hacia una población.

Para efectos del presente estudio, se aplicó un muestreo por criterio. Según Pelekais et. al. (2015) el muestreo por criterio “se fundamenta en el criterio o juicio del investigador para seleccionar unidades muestrales representativas” (p. 116),

los cuales además son elegidos bajo una base confiable y conocimiento de las situaciones particulares que van a investigar.

En ese sentido, la muestra del presente estudio se compone por eventos, sujetos y unidades documentales los cuales proporcionaron la información respectiva para responder a cada objetivo específico y general en correspondencia.

-Eventos:

- Nota de campo 1 (08-12-20)
- Nota de campo 2 (12-02-20)
- Nota de campo 3 (16-02-20)
- Nota de campo 4 (17-02-20)
- Nota de campo 5 (19-02-20)
- Nota de campo 6 (23-02-20)
- Nota de campo 7 (14-03-20)

-Sujetos: Se presentan las unidades de información compuesto enfocando el cargo / nacionalidad / edad / etiqueta.

- Jefe de máquinas / Ruso / 52 años / JM1
- Jefe de máquinas / Filipino / 43 años / JM2
- Segundo de máquinas / Ucraniano / 44 años / SM1
- Segundo de máquinas / Ucraniano / 34 años / SM2
- Tercero de máquinas / Filipino / 28 años / TM
- Cuarto de máquinas / Ucraniano / 29 años / CM
- Oiler / Filipino / 27 años / OIL1

- Oiler / Filipino / 28 años / OIL 2
- Técnico de MAN / Alemán / 46 años / TEC1
- Técnico de MAN / Canadiense / 55 años / TEC2
- Superintendente Ahrenkiel / Alemán / 60 años / SI

-Documentos:

- Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz, 2017)
- La rutina diaria: Finos catalíticos y desgaste del motor (Alfa laval, 2020)
- Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)

### **3.4. Técnicas para la recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnica**

En el presente trabajo de investigación se hizo uso de técnicas de recolección de datos tales como la observación, entrevista y documentación.

#### **3.4.2. Instrumentos**

Según Hernández y Mendoza (2018) los estudios cualitativos se caracterizan porque el instrumento de recolección de datos queda definido por

el investigador quien es el que recolecta y analiza los datos extraídos de la realidad que observa.

Bajo lo establecido, en el presente trabajo de investigación, el instrumento queda definido por los investigadores autores del presente trabajo de investigación quienes fueron el medio por el cual se recopiló, se analizó y se pudo sistematizar los datos obtenidos para poder responder al objetivo del presente trabajo de investigación.

Cabe resaltar que se hizo uso también de herramientas de recolección de datos tales como fichas de observación, guía de entrevista y ficha de investigación, los cuales representaron a ser los medios auxiliares que ayudaron a poder obtener los datos requeridos para poder responder al planteamiento del estudio. (Ver Anexo 3).

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

Para el procesamiento y análisis de los datos se hicieron uso de técnicas en relación con cada forma de cómo se recopilaron los datos. Con respecto a la observación, una vez realizadas las notas de campo se hizo uso de técnicas de corte y clasificación en relación con las ideas y eventos clave.

Con respecto a la información proveniente de las entrevistas se aplicó técnicas de selección de categorías emergentes, a través de los cuales se pudo organizar

las síntesis conceptuales coherentes con la información recibida y el propósito de estudio que se buscó lograr.

Por último, con respecto a la información proveniente del análisis documental se aplicó técnicas vinculadas al análisis de contenido, lo cual fue propicia para poder capturar ideas centrales que ayudasen a dar mayor consistencia a la información proveniente de los entrevistados, particularmente en la subcategoría lecciones aprendidas. Cabe resaltar que se hizo uso de programas tales como Microsoft Word y ATLAS.ti 7.

### **3.6. Rigor cualitativo**

De acuerdo con lo que establece Hernández y Mendoza (2018) y Pelekais et. al. (2015) en los estudios cualitativos al rigor científico se determina a través de los criterios de validez y confiabilidad. La validez corresponde a capturar lo que realmente los sujetos, documentos o eventos quieren mostrar en la realidad, mientras que la confiabilidad se determina a través de la triangulación de técnicas de recolección de datos, informantes, documentos y/o eventos.

Para la validez, se utilizaron estrategias de relecturas constantes a la información recabada, mientras que para determinar la confiabilidad en razón de la información recabada de las entrevistas se realizó por medio de la saturación de la información, lo que a su vez se comparó con la información proveniente tanto de la observación y las unidades documentales.

En ese sentido, los resultados presentados son válidos y confiables, por lo que muestran los hechos de manera real y considerando las características metodológicas de la investigación cualitativa la cual conllevó a que se pueda responder al problema planteado con rigor científico.

Cabe resaltar que, para dar mayor validez al proceso, se buscó a jueces expertos en temas vinculados a asuntos marítimos relacionados con la operación de buques, de tal manera que se contó con un juicio que conllevó a dar mayor aval al proceso que se siguió.

### **3.7. Aspectos éticos**

Con respecto a la aplicación de las entrevistas, se tuvo que aplicar consentimientos informados a las unidades de información compuesto por sujetos, de tal manera que se les informara sobre el porqué de la información requerida y sobre las condiciones en las cuales se manejará la misma. (Ver Anexo 5).

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

Los resultados obtenidos se presentan priorizando la información proveniente de las notas de campo obtenidas a través de la observación, lo que sumado con la información proveniente de las entrevistas brindaron los argumentos necesarios para poder establecer las teorizaciones tanto parcial como final.

Los resultados se presentan en correspondencia con el objetivo específico y general respectivamente, tomando en cuenta la matriz categorial elaborada para establecer una sistematización que conlleve a poder informar de manera adecuada al lector.

Cada información recopilada se encuentra vinculada con cada dimensión, subcategoría de análisis y en correspondencia con la categoría principal, los cuales de manera coherente responden al planteamiento del problema que enmarca el desarrollo de un hecho que afectó a la máquina principal a causa de la aparición de finos catalíticos en el sistema de combustible y máquina principal.

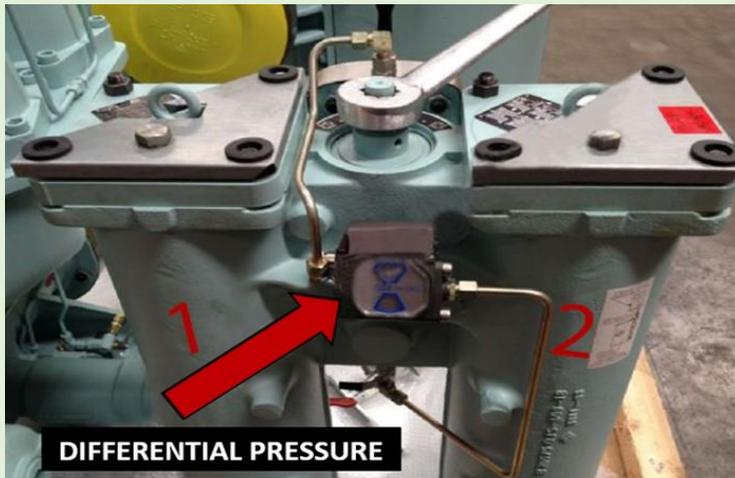
**4.1. Señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020.**

**4.1.1. Conocer cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.**

-Origen:

Observación

| NOTA DE CAMPO |  |
|---------------|--|
| 1             | Nº: 01   |
| <b>2</b>      | <b>Fecha: 08/02/2020</b>   |
| 3             | Lugar: Buque Portacontenedores MV AS Faustina  |
| 4             | Momento de la observación: En navegación (underway)  |
| 5             | Observaciones  |
| a             | 1420 horas - Durante la supervisión de los equipos el segundo oficial de máquinas observa que el diferencial de presión (PDI - <u>diferential pessure</u> ) del filtro doble de combustible de la máquina principal (Fuel oil <u>M/E dúplex filter</u> ) en condiciones anormales indicando el filtro sucio y saturado, la cual no era compatible con el sistema de alarmas de la sala de control de máquinas (Engine control room). |



Indicador diferencial de presión- Differential pressure gauge

Este indicador es utilizado comúnmente en los filtros dobles, se puede observar claramente que el indicador cambia a un color rojo indicando que el filtro se encuentra sucio.



- b 1450 horas - Se realiza el cambio de servicio al filtro # 2 en espera (stand by) y se procedió a la apertura de la cámara # 1 del filtro sucio, encontrando cada unidad del filtro y la cámara con sedimentos de combustible residual sobre la superficie (Residual fuel oil). Se procede con la limpieza de la cámara # 1 y a reemplazar el filtro con las unidades de filtros limpios, agregando 40 litros de destilado (MDO) en la cámara # 1 para evitar que al sistema ingrese aire y ayude a la limpieza de la misma. Se procedió además a sellar la cámara.



Filtro doble del motor principal – Main Engine Duplex filter

Los filtros dobles están conformados por varias unidades de filtros, estas unidades son armadas uno dentro de otra formando así un filtro con sub filtros, generalmente los filtros dobles están ubicados exactamente antes de que el combustible ingrese al motor.

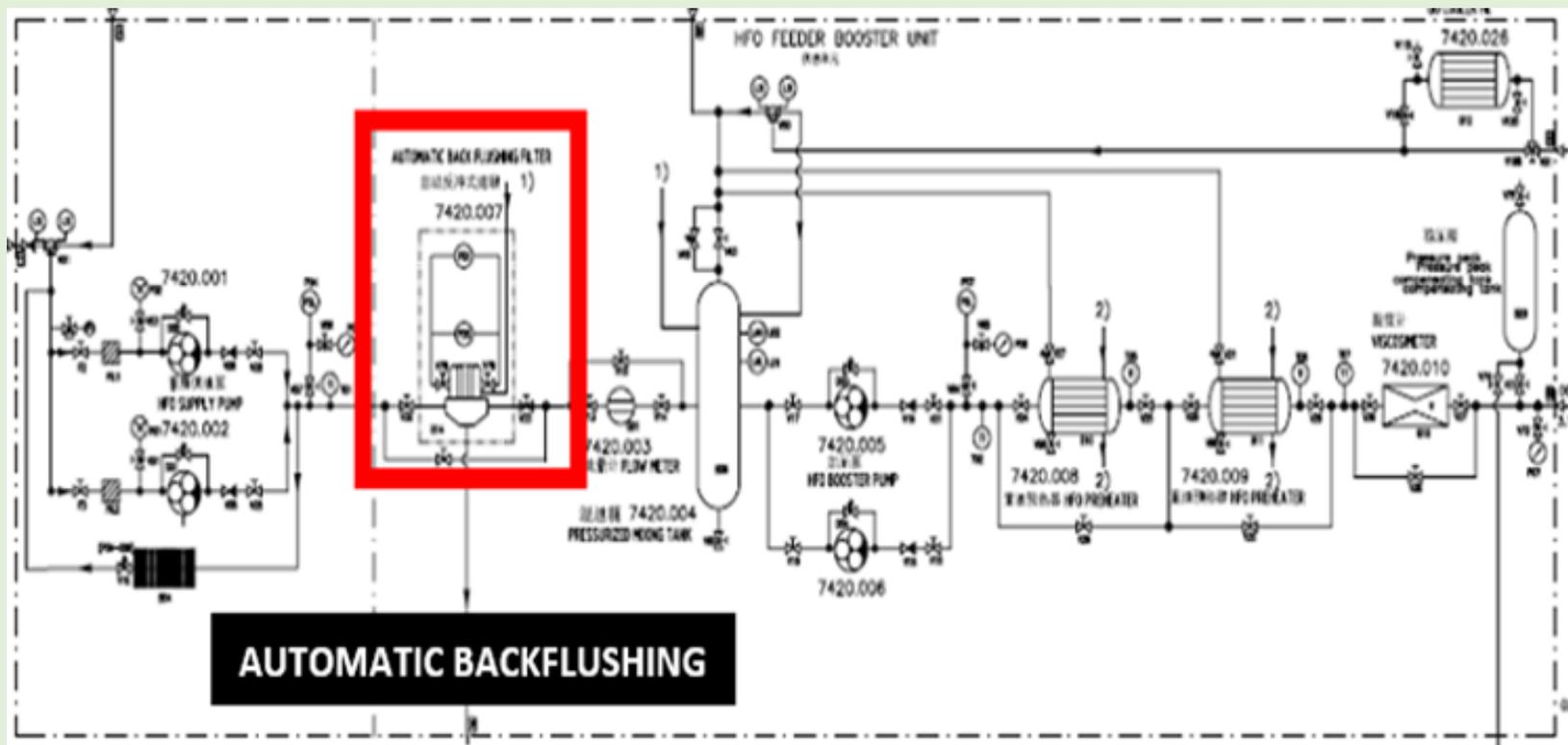
c 1505 horas – Se activa la alarma de en sala de máquinas - Alarma de presión diferencial alta del filtro doble de combustible de la máquina principal (High Differential Pressure Main Engine Duplex Filter Fuel Oil)



### Panel de alarmas en sala de máquinas

En este panel se encuentran registradas todas las alarmas provenientes de todos los sistemas encontrados a bordo, de igual manera encontramos el botón de reconocimiento de alarma ("ack"- acknowledge) mediante este botón los oficiales paran el sonido de la alarma afirmando así el reconocimiento de la alarma.

d 1600 horas – Se activa la alarma de autofiltro sucio de la máquina principal (Dirty FO M/E Auto Filter).



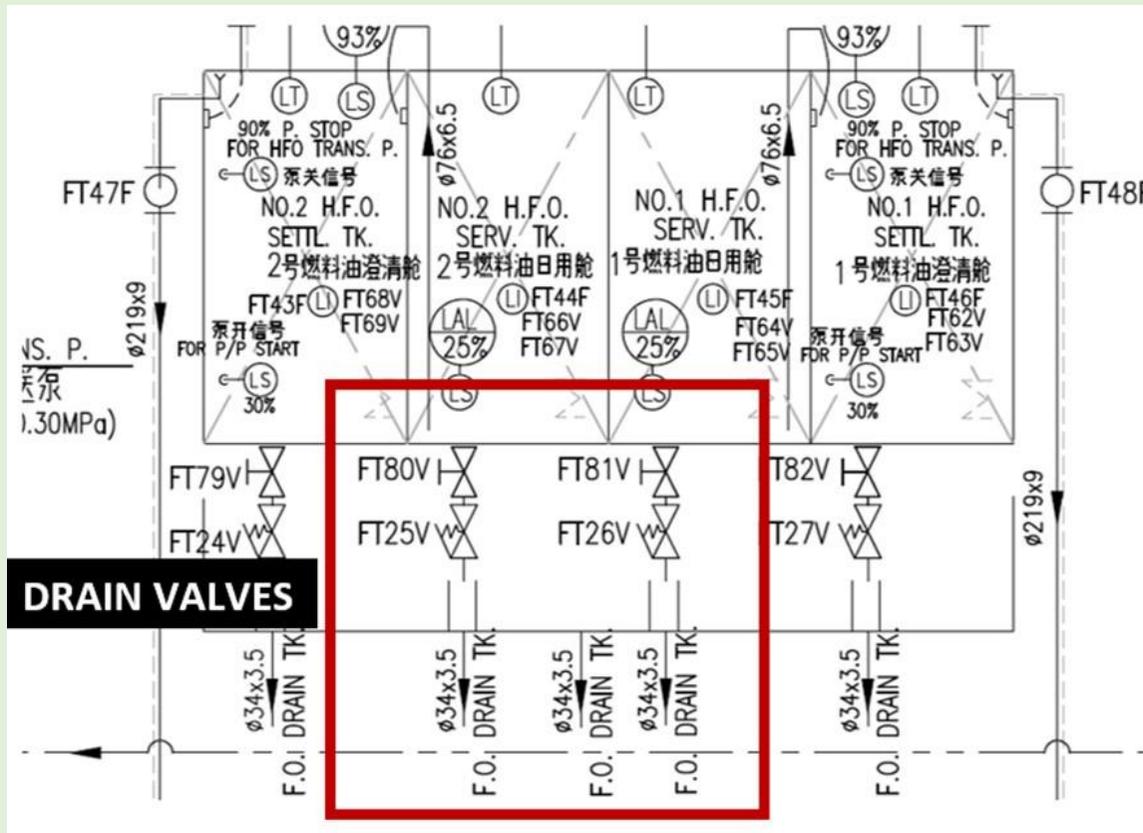
Filtro automático de combustible – Automatic backflushing filter

Es un filtro el cual realiza su limpieza automáticamente de manera periódica de manera neumática, estas están ubicadas en la unidad aumentadora de presión (Booster Unit).

e 1637 horas - Se procede a cambiar el filtro de servicio del # 2 al filtro # 1 (recientemente cambiado) y asimismo a la apertura de la cámara # 2 para la inspección ya que solamente estuvo 15 min en servicio y ya mostraba alarma de estar saturado y sucio, encontrándose gran cantidad de sedimentos en la cámara y superficie de las sub-unidades del filtro. Se procedió a la limpieza de la cámara # 2 y a reemplazar el filtro con unidades limpias, asimismo se agregaron 40 L de destilado (MDO) y se realiza el sellado de la cámara.



- f 1700 horas - Se realizó el purgado de los tanques de servicio de combustible residual número 1 y 2 (HFO service tanks # 1 y # 2) y a supervisar la operación de los purificadores de combustible residual 1 y 2 (HFO # 1 y # 2). Se puso énfasis en la temperatura de la operación y cauda. Además, se limpió el filtro de la bomba de combustible residual en la succión de la purificadora (Suction filter pump del HFO). Terminada la operación se procedió a revisar el FO M/E Autofilter.



- g 1735 horas - Se llevó a cabo la inspección del autofiltro de combustible de la máquina principal (FO M/E Autofilter -Auto backflushing filter) encontrándose parcialmente saturados los filtros tipo vela (candels) por lo consiguiente se reemplazaron por unos limpios.



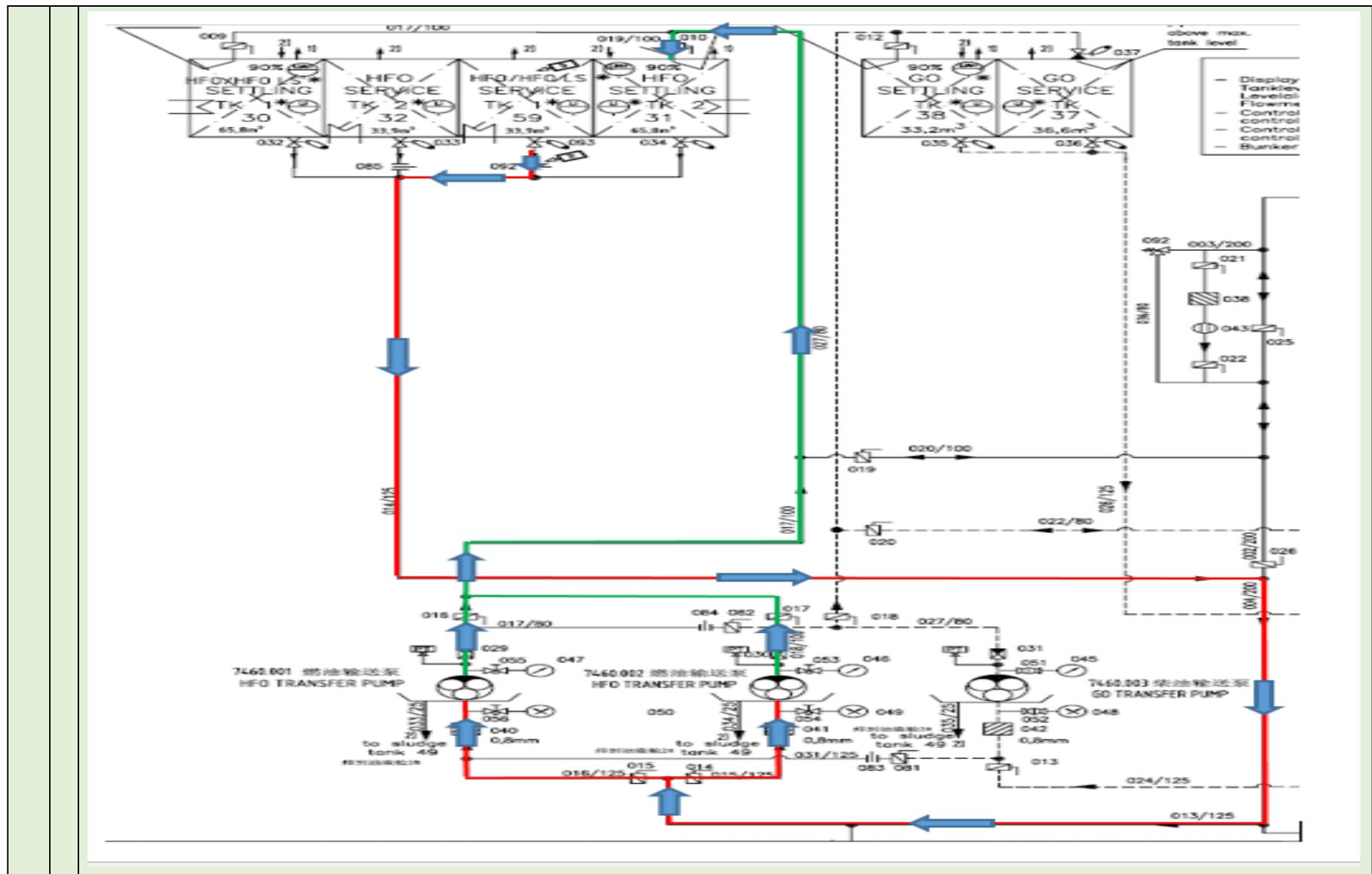
### Filtros tipo vela - Candels

Son las unidades de filtros que se encuentran dentro de la estructura de los filtros automáticos de combustible.



Interpretación: Se observaron diferentes anomalías relacionadas con el sistema de combustible, específicamente los sistemas de filtros, retención y separación de impurezas, lo cual indicaba baja calidad del combustible y poca eficiencia en la purificación. Ante dicha situación se activaron las alarmas correspondientes de los filtros del sistema de alimentación de combustible.

| NOTA DE CAMPO |   |
|---------------|---|
| 1             | Nº: 02  |
| <b>2</b>      | <b>Fecha:12/02/2020</b>   |
| 3             | Lugar: Buque Portacontenedores MV AS Faustina   |
| 4             | Momento de la observación: En navegación (Underway)   |
| 5             | Observaciones   |
| a             | 1220 horas - Se observó durante la anotación de las horas de trabajo en el panel del filtro automático del sistema de combustible (automatic backflushing filter) un descenso en la periodicidad de la limpieza automática (flush), del rango normal 1 flush/60 s a 1 flush/45s y un aumento de presión en el PDI (Diferential Pressure). |
| b             | 1600 horas - Se activa la alarma de filtro automático sucio (Dirty FO M/E Auto Filter) en el panel de alarmas. El Segundo oficial de máquinas reconoce la alarma y fuerza la limpieza automática de manera manual (flushing).   |
| c             | 1700 horas - Se realiza el cambio del filtro doble de combustible de la máquina principal en servicio (M/E Duplex filter) del filtro # 1 al filtro # 2, asimismo se limpió la cámara y se reemplazó el filtro # 1 por uno limpio. Se volvió a poner en servicio el filtro # 1.  |
| d             | 1730 horas - Se realiza la transferencia parcial del combustible del tanque de servicio 1 (HFO Service Tank #1) hacia el tanque de decantación (Settling Tank #2) para nuevamente pasar por proceso de purificación.  |



|  |   |   |
|--|---|---|
|  | e | 2037 horas - Se activan las siguientes alarmas de baja temperatura y baja presión de combustible en la unidad aumentadora de presión (Booster unit FO low temperature/low pressure). El segundo oficial reconoce la alarma. |
| Interpretación: Se observan que los filtros se obstaculizan en rango de periodos cortos, lo que conllevó que se realice una recirculación del combustible para poder asegurar una mejor calidad de combustible y monitorear los parámetros de purificación, buscando separar por etapas e identificar la razón principal de las anomalías. |   |   |

| NOTA DE CAMPO |  |
|---------------|--|
| 1             | Nº: 03   |
| <b>2</b>      | <b>Fecha:16/02/2020</b>  |
| 3             | Lugar: Buque Portacontenedores MV AS Faustina  |
| 4             | Momento de la observación: Navegación (Underway)   |
| 5             | Observaciones  |
| a             | <p>El buque se encuentra navegando en la ruta del puerto de Barranquilla (Colombia) a Port Everglades (MIAMI) a 11 nudos.</p> <p>0710 horas - Se activa la alarma de filtro doble de combustible de la máquina principal (Fuel oil M/E dúplex filter).</p> <p>0720 horas – Se observa baja presión en la bomba aumentadora de presión # 1 (Booster pump). El 4to oficial de máquinas de guardia reconoce y omite la alarma considerándola como una alarma recurrente, asumiendo un fallo eléctrico o electrónico.</p>  |
| b             | <p>0750 horas – La tripulación se encuentra en el departamento de máquinas en reunión de rutina (meeting).</p> <p>0751 horas – Se activan alarmas en conjunto en la sala de máquinas (Serie de alarmas). Las alarmas activadas fueron:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Parada de emergencia de la máquina principal (Main Engine Emergency Stop-Shutdown)</li> <li>2. Explosión de la caja de cigüeñal (Crankcase explosión)</li> <li>3. Incendio en sala de máquinas (Fire alarm in enginer room)</li> </ol> <p>0755 horas – Se activó la alarma de abandono de buque (Abandon ship alarm)</p> <p>0800 horas - La tripulación atendió a la emergencia suscitada de lucha contra incendios.</p> <p>0810 horas - El buque queda al garete varado millas cercanas a las costas de Jamaica y Cuba.</p> <p>0915 hrs - Al término de la ventilación de la sala de máquinas se realizó la investigación respectiva observando indicios de una explosión en las válvulas de alivio y seguridad de la caja de cigüeñal (Crankcase safety relief valves).</p> |



### Válvulas de alivio – Relief explosion valves

Estas válvulas se encuentran ubicados en los cobertores del cárter del motor principal, su función es liberar la presión por causa de una explosión interna en el cárter y de esta manera no dañar el motor principal.

Interpretación: La explosión se debió a la acumulación de gases de combustión acumuladas en la caja de cigüeñal producto del pase de los gases de la combustión de la unidad numero 3 al espacio de la caja de cigüeñal. Dicho suceso fue producido por fricción y desgaste excesivo entre la camisa del cilindro y el pistón en la unidad número 3 del motor principal, y de la ruptura de los anillos de compresión y lubricación.

Entrevista

| 1. ¿Cuáles fueron los indicios que dieron origen al problema evidenciado?   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| JM1   | SM1  | CM   | Síntesis conceptual   |
| <p>-Bueno desde mi punto de vista, los puntos que influenciaron en el origen del problema fue que en el sistema de circulación de combustible a la maquina principal existe procedimientos de mantenimientos de los diferentes filtros por los cuales pasan los combustibles pero en los últimos días era frecuente la limpieza de tales filtros, cuando se me informo de lo que estaba pasando procedí</p> | <p>Hubo una serie de anomalías recurrentes en el sistema de combustible, hicimos limpieza de los filtros dobles de la maquina principal y de los filtros automáticos en periodos cortos de tiempo, asimismo asumimos que pudieron haber sido problemas en las señales enviadas por el PDI.</p> | <p>- Los principales indicios que, tal vez, me pudieron indicar cierta sospecha respecto al problema que se dio en la máquina principal, lo que conllevó al “overhaul” total de la misma, las diferentes alarmas me dieron unas primeras luces, pero como siempre indicaban problemas en los filtros dobles del sistema de combustible, mi respuesta era limpiarlos y luego cambiarlos debido a su obstrucción con sedimentos según mi apreciación, que, consecuentemente conllevó a una saturación total de los mismos.</p> | <p>-Los indicios que dieron origen al problema evidenciado básicamente se observó en la saturación y obstrucción de filtros del sistema de combustible, los cuales fueron recurrentes previo al problema suscitado.</p> |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <p>a dar la orden de una revisión más constante de dicho sistema pero no contábamos que con el pasar de los días el problema empeoraría porque a pesar de hacer los mantenimientos correspondientes existió una saturación y obstrucción, el cual fue uno de los motivos por el cual ocasiono problema suscitado.</p> |  |  |  |
|---|--|--|--|

-Alarmas:

Entrevista

| 2. ¿Qué alarmas se activaron previamente al suceso ocurrido?   |  |   |  |
|--|--|---|--|
| JM1  | SM1  | CM  | Síntesis conceptual  |
| <p>-Bueno, por lo que me dieron a conocer los oficiales las alarmas fueron frecuentes en el transcurso de la semana en las cuales estaba el de filtros dobles y autofiltro de combustible de la maquina principal. Estos eran indicadores de que había una posible obstrucción con relación a los filtros es por ello que se realizaban los cambios de servicio.</p> | <p>Durante los días previos eran recurrentes alarmas en los sistemas de filtros de combustibles, tales como;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• High Differential Pressure Main Engine Duplex Filter Fuel Oil</li> <li>• Dirty FO M/E Auto Filter</li> </ul> <p>Sin embargo como ya había mencionado dada los periodos cortos de tiempo de las alarmas asumimos en un inicio fallas eléctricas o alarmas falsas.</p> | <p>-Puntualmente, las alarmas que se suscitaban muy repetitivamente durante la semana en la que se dio el problema general en la máquina principal fueron las que me indicaban problemas con los filtros doble de combustible en la máquina principal los llamados “duplex filter” y la “dirty FO M/E Auto Filter”, a los cuales, el mantenimiento que se le daba un mantenimiento correctivo según el análisis que se le aplicaba.</p> | <p>-Las alarmas que se activaron durante una semana de manera repetitiva fueron las de filtro doble de combustible de la máquina principal (Fuel oil M/E dúplex filter) y autofiltro sucio de la máquina principal (Dirty FO M/E Auto Filter).<br/>-Todo ello dio origen a que el filtro doble se realicen cambio de servicio de un filtro a otro, lo cual brindaba indicios de obstrucción.</p> |

-Cadena de errores:

Entrevista

| 3. Según su perspectiva ¿Cuál fue la cadena de errores que originaron el problema a la máquina principal?  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| JM1  | SM1  | CM   | Síntesis conceptual   |
| -Bueno las inspecciones eran constantes pero desde mi punto de vista uno de los errores fue el desconocimiento de las repercusiones que podrían causar el consumo de combustible con bajo contenido de azufre, debido a que existen combustibles residuales y destilados pero en términos generales desconocemos la procedencia de | Desde mi punto de vista el inicio de la cadena de errores que originaron una falla en la planta de propulsión fue el no saber reconocer las alarmas inicialmente ni tomar las medidas pertinentes en el tratamiento de combustible, además de asumir que eran problemas y fallas de los sensores. Esto no permitió que tomemos acción tal como el problema central lo ameritaba, | -Sinceramente y haciendo un análisis retrospectivo, puedo reconocer que fue, en parte, el desconocimiento que se tiene respecto a las otras posibles causas que pudieron generar este gran problema en la máquina principal, también el exceso de confianza entre los tripulantes de máquinas al suponer que la causa era una y no tratar de llegar al origen del problema, hoy en día se podría tener muchas más herramientas escritas o de conocimiento para que se puedan evaluar motivos, sin embargo, las empresas no invierten en temas de capacitación a su personal, con lo cual limitan nuestro | -Se reconoce que el punto central que dio origen a la problemática evidenciada tuvo que ver con el desconocimiento sobre las posibles repercusiones operativas que se vienen observando por el uso masivo del combustible residual con bajo contenido de azufre, lo que fue un factor determinante para que se brindasen las condiciones que desencadenaron dicho suceso. |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| dicho producto porque en algunas refinerías se usan diferentes catalizadores y no se mida las consecuencias de ello. | asimismo el no considerar otras posibles razones y limitarnos a tomar acciones correctivas. | campo de acción o capacidad de respuesta. |  |
|--|---|---|--|

-Capacitación:

Entrevista

| 4. Previo al suceso ¿Se habían realizado capacitaciones sobre las repercusiones operativas por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre?   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| JM1   | SM1  | CM  | Síntesis conceptual   |
| -Por lo que recuerda no se ha brindado capacitaciones con relación al uso de los combustibles marinos que son establecidas en la regla 14.3 del anexo VI del convenio MARPOL, en el cual se estipula que se debe de conocer la manipulación del combustible por sus características que van referidas a la ISO:8217 2017. Por | Previo al problema con la maquina principal ya se venía hablando dentro del ámbito marítimo de las nuevas normativas implementadas por OMI respecto al bajo contenido de azufre en los combustibles residuales y de sus posibles repercusiones, sin embargo, era un conocimiento más general y poco técnico en la cual involucre el sistema de | -No se llevaron a cabo capacitaciones a bordo respecto a las repercusiones del uso de los nuevos combustibles de bajo contenido de azufre, con lo cual limitan nuestras acciones reactivas ante algún desperfecto operacional de los sistemas presentes en la sala de máquinas y, por ende, repercute negativamente dentro de la empresa y los buques que maneja. | -De acuerdo con la información obtenida se pudo conocer que por parte de la gestión interna de la compañía y el buque no se precisaron capacitaciones sobre las repercusiones operativas a causa del uso de combustible reglamentario de acuerdo con las normas establecidas en la regla 14.3 del Anexo VI del Convenio MARPOL.<br>-La falta de información sobre las repercusiones por el uso de combustible reglamentario dentro de la industria naviera representa otro factor fundamental que condiciona o rezaga a la gente de mar que opera los buques. |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p>consiguiente, Si los oficiales hubieran conocido estos temas en mención otra hubiera sido la historia y esto se debe a la falta de divulgación de información.</p>  | <p>combustible del buque. Por otro lado, la compañía no nos refirió esta información técnica ni dio capacitación alguna sobre las posibles medidas a tomar para evitar estas repercusiones operativas.</p>                 |  |  |
| <p>5. ¿Maneja información con respecto a los daños que pueden ocasionar los finos catalíticos en el motor principal de un buque?</p>   |  |  |  |
| <p>JM1</p>   | <p>SM1</p>   | <p>CM</p>  | <p>Síntesis conceptual</p>   |
| <p>-Bueno hasta el día que sucedió el accidente no tenía conocimiento concreto con las normativas de los combustibles marinos, y reconozco que todo oficial debería conocer este aspecto porque es un sistema con el</p> | <p>A pesar que existe información en las normas y algunos estudios realizados, nosotros no tenemos la información técnica que involucren directamente al sistema de combustible y a sus componentes, si bien es cierto</p> | <p>- Puedo decir que, desde mi punto de vista, los finos catalíticos se relacionan directamente con la temperatura a la cual se debe calentar el combustible para ser inyectado en la máquina principal, mientras la temperatura sea mayor, habrá mayor presencia de estos finos catalíticos, esto debe tener alguna repercusión en algún sistema dentro de la</p> | <p>-Los entrevistados no manejan información respecto a los asuntos vinculados con las repercusiones operacionales por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre en relación con la máquina principal.<br/>-Por otra parte, la problemática sobre los finos catalíticos nunca fue escuchado hasta que se pudo observar la problemática observada en el buque que forma parte del contexto del estudio.</p> |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <p>cual se usa para la propulsión de la máquina. Después del accidente me informé del tema y me siento capacitado, pero no se debería de esperar a que nos pase algo para recién informarnos. Y para finalizar puedo agregar que los finos catalíticos son la consecuencia catalizadora de las refinerías, que usan este tipo de catalizadores en los craqueos catalíticos con zeolitas faujasitas tipo Y combinadas la matriz, que componen dicho catalizador, el cual deja estos</p> | <p>las normas nos dan un panorama, no nos brinda las herramientas tecinas y aplicables para nosotros los operadores.</p> | <p>maquina principal, sin embargo, no estoy seguro.</p> |  |
|--|--|---|--|

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| residuos en los combustibles y afectan directamente al motor principal. |  |  |  |
|---|--|--|--|

**Teorización parcial sobre el primer objetivo específico:** Los indicios sobre la problemática suscitada con respecto a la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera en mención, empezó con una inspección rutinaria en la cual se pudo observar que el “filtro doble” del motor principal se encontraba sucio y saturado, cuya situación no daba indicativos en la visualización del panel de alarmas.

-Posteriormente, otro de los indicios observados al poco tiempo tuvo que ver con la alarma encendida en relación con la misma problemática señalada, pero en el “filtro doble” # 2, ya que debido a la situación mencionada con el “filtro doble” # 1 se tuvo que hacer el cambio de servicio acorde con las circunstancias evidenciadas.

-Luego otro de los indicadores estuvo relacionado con la alarma del “filtro automático sucio de combustible del motor principal”, se procedió a inspeccionar dicho filtro evidenciándose saturación de los candelos por lo que se reemplazaron por unos limpios.

-Días después, se pudo observar un descenso en la periodicidad de descarga del “filtro automático de combustible del motor principal”, de un rango de 1 flush/60s a 1 flush/45s y un aumento de presión en el indicador de diferencial de presión del equipo. Horas más tarde, se activó la alarma de “filtro automático sucio de combustible de la máquina principal”. Las acciones preventivas tuvieron que ver con el cambio de servicio del “filtro doble” # 1 al “filtro doble” # 2, haciendo la limpieza respectiva volviendo otra vez poner en servicio al filtro # 1. Además, ante la situación evidenciada, se realizó la transferencia parcial del combustible del tanque de servicio # 1 hacia al tanque de sedimentación # 2, de tal manera de repurificar el combustible en servicio.

-Luego, también se observó la alarma de la unidad de aumentador de presión (booster unit) de combustible lo cual indicaba baja presión y temperatura.

-En los siguientes cuatro días las alarmas se volvieron recurrentes (“filtro doble” y “filtro automático de la máquina principal”) para los oficiales quienes prestaban servicio a bordo del buque, sin embargo, los indicativos previos al grave problema que se evidenció tomo lugar con el encendido de un pack de alarmas escuchadas al mismo tiempo:

- Parada del motor principal.
- Alarma de explosión de cárter.
- Alarma de incendio en sala de máquinas.
- Alarma de abandono de buque.

-Todos los eventos suscitados previos al problema más agravante se suscitaron en un período de 8 días, lo cual básicamente se pudo evidenciar por el encendido de alarmas respecto a filtros del sistema de combustible, lo cual indicaba saturación a causa de sedimentos.

-Por otra parte, el desconocimiento de los oficiales a cargo fue un factor de suma importancia para las repercusiones físicas que se presentaron en la máquina principal, ya que durante dicho período se omitían las alarmas sin dar pie a una investigación más exhaustiva en conformidad con lo que ameritaba la situación. La falta de conocimiento sobre las repercusiones a causa del uso de combustible residual con bajo contenido de azufre propicio un escenario negativo dentro de la gestión en relación con el

comportamiento del combustible a bordo del buque, lo que determinó que la presencia de finos catalíticos no se haya podido evidenciar previo al examen técnico que fue realizado por los especialistas de la casa manufacturadora de la máquina principal.

-Bajo dicha secuencia de eventos, se tiene que establecer que la tripulación del departamento de máquinas hasta la fecha en la cual se produjo el problema no habían recibido capacitaciones sobre la gestión correspondiente con el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre, lo cual de acuerdo con la Resolución MEPC.320(74) genera afectaciones operativas en los buques mercantes por la masificación en el uso del nuevo combustible reglamentario.

-A los indicios señalada, es válido establecer que la falta de conocimiento sobre la problemática vinculada con el uso del nuevo combustible marino fue un factor que originó dicho suceso, lo que conllevó a que se produzca un incidente que pudo haber tenido consecuencias mayores para la seguridad de la tripulación y el buque en sí.

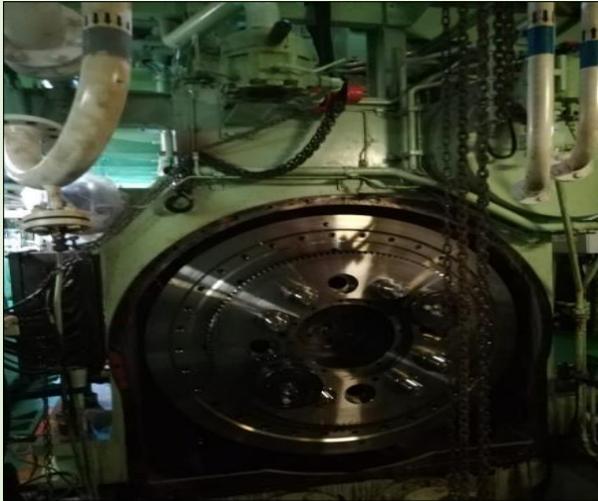
**4.1.2. Identificar qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management”.**

-Inspección inicial:

Observación

| NOTA DE CAMPO |   |
|---------------|---|
| 1             | Nº: 04  |
| <b>2</b>      | <b>Fecha:17/02/2020</b>   |
| 3             | Lugar: Buque Portacontenedores MV AS Faustina   |
| 4             | Momento de la observación: Al garete (Adrift)   |
| 5             | Observaciones   |
| a             | <p>0815 horas – Se solicita autorización a la compañía para desmontar el motor principal y poder realizar unza inspección general, tomando en cuenta el sistema de combustible y lubricación. El plan concibió desmontar los siguientes sistemas y equipos:</p> <p><b><u>Componentes de la máquina principal</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Culata (Cylinder covers)</li> <li>• Camisa (Cylinder liners)</li> <li>• Pistones (Pistons)</li> <li>• Volante (Vibration Damper)</li> </ul> |

- Bombas de inyección (Fuel injections pumps)
- Tuberías de inyección de combustible (Fuel injection pipes)
- Inyectores de combustible (Fuel injectors)
- Línea de agua de alta temperature (HT Water Line)
- Turbocompresor (Turbocharger)
- Línea de agua de baja temperatura (LT wáter LINE)
- Bomba de lubricación (Lube oil pumps)
- Colector de aire de adminisión (Air admisión pipe line)
- Colector de gas de escape (Exhaust gas pipe)
- Otros componentes de la máquina principal



Volante – Vibration Damper

Parte del motor principal encargado de reducir vibraciones.



Culata del motor

principal

Es la parte superior del motor principal el cual cubre muchas partes mecánicas y permite liberar el calor de la cámara de combustión.

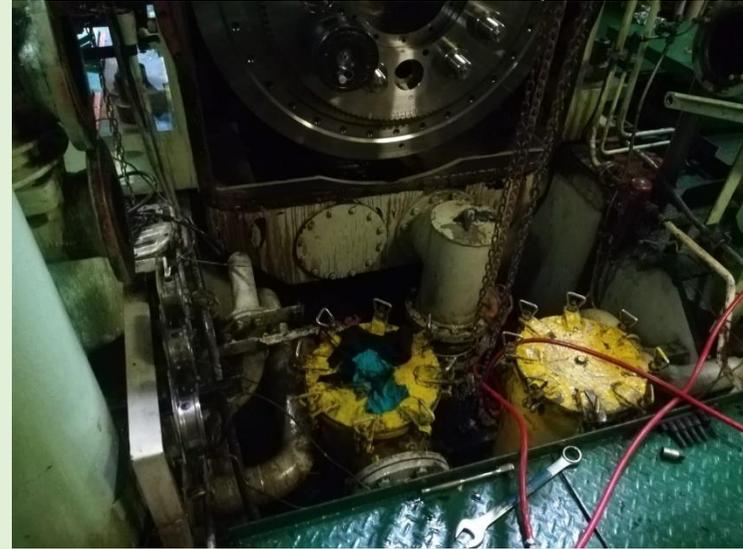
Motor principal sin culata

Proceso de desmotado del motor principal.





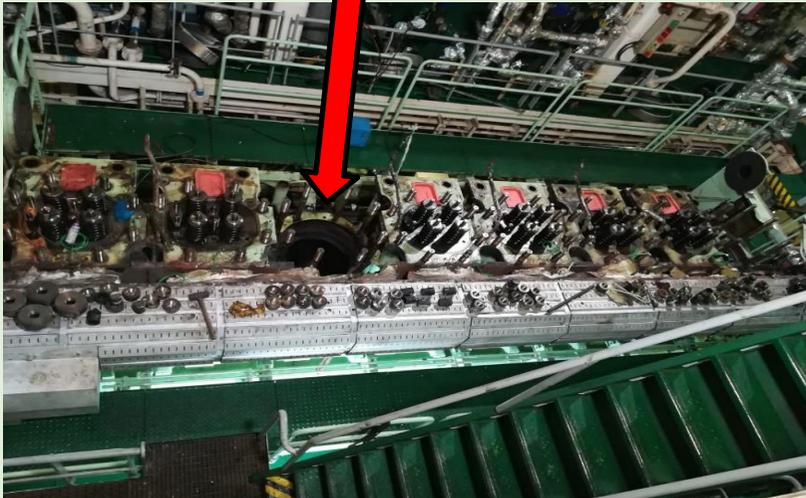
Grupo de culatas desmontadas



Volante – Vibration Damper y filtros de  
lubricación



Motor principal sin culata y sin pistón de la  
unidad N°03





Camisa de la unidad N°3 con rayaduras  
observadas desde el cárter



Pistón de la unidad N°3 con rayaduras y  
desgaste abrasivo



Pistón de la unidad  
N°3 con rayaduras y  
desgaste abrasivo

Interpretación: La inspección inicial establecida de pistones y camisas de cilindros revelaron una alta fricción entre las superficies.

Entrevista

| 6. ¿Cómo se realizó la inspección inicial y que hallazgos relevantes se produjeron?  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| JM1  | SM1  | CM   | Síntesis conceptual   |
| De acuerdo a las rutinas que se disponen a bordo con las inspecciones diarias de la maquina principal y equipos relacionados. Se me informo que el mantenimiento de los filtros del sistema de combustible eran constantes y que las alarmas empezaban a activarse a pocas horas de haber limpiado el filtro en actividad, era un suceso extraño porque antes no era frecuente pero todo ello paso | Bueno, en la etapa inicial cuando se comenzó a realizar los mantenimientos de los filtros del combustible, se comenzó a apreciar sedimentos los cuales provocaban la saturación y obstrucción del flujo de combustible, posteriormente se encontró que habían equipos que empezaron a mostrar pequeñas fallas como en la unidad de aumentador de presión, en donde se encontraron partículas de metal que eran provenientes de los | La manera en cómo se realizó la primera inspección fue progresiva porque cada día que pasaba se observaba un problema nuevo, y por órdenes del jefe empezamos a realizar mantenimientos progresivos pero no se lograba entender de la localización de partículas metálicas y las ralladuras en la camisa del motor principal, en un comienzo se pensó que los anillos del motor principal de habían desgastado y por la fricción se pudo ocasionar las ralladuras, luego se pensó que era debido a la falta de lubricación pero esta presencia de metales están relacionados a los componentes que | -Los indicios que dieron origen al problema evidenciado básicamente se observó en la saturación y obstrucción de filtros del sistema de combustible, los cuales fueron recurrentes previos al problema suscitado. Tanques de servicio |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| debido al uso de combustibles con bajo contenido de azufre y como resultado pudimos observar la saturación y obstrucción de los filtros como primer suceso ya que al realizar las inspecciones de los componentes de la maquina principal tales como culatas, cilindros, pistones y demás; se apreció desgaste abrasivo en la camisa. | tanques de servicio, realizaron debidos mantenimientos pero a pesar de seguir los procedimientos establecidos, el daño que se estaba propagando era inminente y fue debido al desconocimiento de este tipo de partículas que se usan para los catalizadores en las torres de craqueo catalítico en las refinerías. | de conforman los combustibles marinos porque se encontraron alrededor de los sistemas de combustible y nos pareció muy raro porque son productos destilados con mayor refinamiento para el uso en el motor principal por la normativa IMO 2020. |  |
| OIL1  | SI   |   |  |
| Cuando me informaron que se debía de realizar los mantenimientos de los filtros de combustible se lograron localizar en la superficie e   | Cuando el jefe de máquinas, me informa de los sucesos que se estaban presentando recurrí a que se me informara progresivamente   |   |  |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p>interior múltiples partículas de metales, luego de ello se realizó una inspección exhaustiva al sistema de combustible y con la localización en casi todo el sistema, se reportó al jefe de máquinas para que se tomen acciones con relación al tema presentado, como consecuencia y con los días en contra el accidente fue inminente porque al no encontrar el error las partículas seguían en aumento dentro de la cámara de combustión.</p> | <p>de cómo se estaba llevando a cabo los mantenimientos, y solicite que se me envíe las fotos de las partículas encontradas en las saturaciones y obstrucción de los filtros del sistema de combustible. Luego al adquirir las fotos procedí a realizar un estudio con mi personal para dar una solución al problema pero mientras pasaban los días no encontrábamos una falla y creíamos que era algo concurrente pero no contábamos que la composición de los combustibles marinos contengan alto contenido de catalizadores con</p> |  |  |
|--|--|--|--|

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | zeolitas faujacitas tipo Y; usados en las torres de craqueo con el proceso de hidro-craqueo para la disminución de contenido de azufre; se filtraran estos componentes que son dañinos para la maquina principal. |  |  |
|--|---|--|--|

-Inspección intermedia:

| NOTA DE CAMPO |   |
|---------------|---|
| 1             | Nº: 05  |
| <b>2</b>      | <b>Fecha:19/02/2020</b>   |
| 3             | Lugar: Buque Portacontenedores MV AS Faustina   |
| 4             | Momento de la observación: Al garete (Adrift)   |
| 5             | Observaciones   |
| a             | <p>0800 horas – Especialistas de la casa manufacturadora de la máquina principal llegan al buque</p> <p>1000 horas – Se inicia acciones para seguir con las investigaciones y parte del mantenimiento general en marcha. En esta fase se dio inicio al desmonte de los siguientes sistemas y equipos:</p> <p><b><u>Sistema de combustible – Sistema de lubricación</u></b></p> <p><b>Fuel oil System-Lube oil system</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Unidad aumentadora de presión (Booster unit)</li><li>• Filtro automático de combustible (Fuel oil auto filter)</li><li>• Purificadoras de combustible residual (HFO purifiers)</li><li>• Purificadora de aceite de lubricación (Lube oil purifier)</li><li>• Filtro doble de aceite de lubricación (Lube oil duplex filter)</li><li>• Filtro doble de combustible residual (HFO duplex filter)</li><li>• Bomba de lubricación (Lube oil pumps)</li></ul> |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro automático de aceite de lubricación (Lube oil autofilter)</li> <li>• Intercambiador de calor de aceite de lubricación (Lube oil heat exchanger)</li> </ul> |
| b  | 1600 horas – Se encontraron pequeños y finos restos metálicos en los filtros de aceite   |
| c  | 1700 horas – Se observan residuos de partículas metálicas en los filtros tipo vela (candels filters)   |
| d  | 1737 horas – Se observan residuos metálicos en los intercambiadores de calor de aceite de lubricación  |
| <p>Interpretación: De acuerdo con la inspección intermedia, realizada dos días después del inicio del “overhaul” se pudo observar en los filtros de aceite, filtros de tipo vela y los intercambiadores de calor de aceite de lubricación residuos metálicos lo que hace suponer que presuntamente existía desgaste por fricción entre la camisa del cilindro y el pistón. Dicho escenario permitió suponer además que el aceite contenido en el sistema de lubricación se encontraba contaminado con restos metálicos pequeños.</p> |  |

Entrevista

| 7. ¿Cómo se realizó la inspección intermedia y que hallazgos relevantes se produjeron?   |   |  |  |
|--|---|--|--|
| JM1  | SM1   | CM   | Síntesis conceptual  |
| <p>-Bueno, esta inspección se inició aproximadamente en el segundo día de empezar con el "overhaul", consistió básicamente en desmontar los sistemas de lubricación y combustible, y lo que hallamos fue sorprendente. Pudimos evidenciar restos metálicos dentro de los filtros de aceite, lo cual nos hizo suponer que provenían de la fricción mal lubricada de los componentes de la maquina</p> | <p>-Esta inspección intermedia consistió principalmente en el desmontaje de los sistemas de combustible y de lubricación. Tuvimos que revisar los filtros automáticos, filtros dobles de aceite de lubricación, las purificadoras de aceite y de combustible entre otros equipos. Fue un trabajo muy minucioso, en el cual encontramos factores y problemas comunes entre los diferentes filtros de los distintos sistemas, entre los</p> | <p>-Los hallazgos que se encontraron, según los técnicos que llegaron al buque a hacer la inspección, fueron unas partículas diminutas presentes en el combustible que se utilizan normalmente para disminuir el azufre presente en el mismo, los cuales llegaron a la maquina principal y estropearon todo el sistema, rayándolo y propiciando el mal funcionamiento de las unidades del motor principal.</p> | <p>-Esta inspección intermedia fue crucial para la determinación de las causas directas del desperfecto presentado en la máquina principal. Consistió en el desmontaje de los sistemas de lubricación y de combustible, con el objetivo de poder examinar minuciosamente los diferentes componentes de dichos sistemas. Se pudo inspeccionar los filtros dobles, los filtros automáticos, purificadoras, entre otros componentes. Esta inspección permitió poder evidenciar la presencia de contaminantes de procedencia metálica en los filtros, lo cual dio las primeras luces sobre las posibles causas. Luego de un examen de laboratorio se corroboró la procedencia de dichos contaminantes, los cuales fueron producto de los daños abrasivos generados en las unidades de la maquina principal, siendo la mas afectada la N°3. Además, dichas pruebas de laboratorio, mostraron la presencia de una gran cantidad de aluminosilicatos en el combustible, comúnmente conocidos como finos catalíticos en la industria petroquímica. Estos elementos son vertidos en los combustibles en el proceso de crackeo catalítico en las refinerías para poder reducir la presencia de azufre en los mismo, para de esa manera poder cumplir con las exigencias de</p> |

|   |   |      |  |
|---|---|------|--|
| <p>principal, lo cual se descubrió que fue producto de unas partículas llamadas zeolitas, las cuales se incrustaron en la camisas del motor principal, siendo la más afectada, la de la unidad n°3; lo que sí me dejó cierta intriga, incluso hasta ahora, fue la presencia de estos mismos restos metálicos en los “candels”, lo que me hace suponer que el combustible fue recibido ya contaminado.</p> | <p>cuales el más resaltante tuvo que ver con la presencia de partículas metálicas e impurezas halladas en los mismos, lo que llevo a pensar, en un inicio, que provenía de alguna posible contaminación del combustible desde los tanques de almacenamiento, sin embargo, se llegó a la conclusión, por poseer un combustible de bajo contenido de azufre, que se debió a los aluminosilicatos utilizados como catalizadores en el mismo.</p> |      | <p>la OMI respecto a los combustibles marinos. Estos componentes se incrustaron en las partes de las unidades de la maquina principal, generando los daños ya mencionados.</p> |
| OIL1  | TEC1  | TEC2 |  |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p>-en verdad, respecto a las inspecciones, es información que no manejo de primera mano, sin embargo, he podido escuchar cuando los ingenieros han estado conversando y comentando sobre el tema, y entendí que fue por alguna especie de contaminación del combustible o de los aceites, lo cual guarda relación debido a que los filtros de ambos sistemas estuvieron saturados y, previo a que la maquina dejara de funcionar, tuvimos que cambiarlos varias</p> | <p>-Respecto a la inspección, se tuvo que desmontar de manera íntegra los sistemas de lubricación y de combustible para poder llegar al meollo del asunto, ya que esta inspección intermedia dio un panorama más amplio y coherente respecto a las posibles causas de este fallo en la maquina principal. Al momento de desmontar diferentes partes de los sistemas, entre los cuales se incluyen los filtros dobles de combustible y aceite, filtros automáticos tipo vela, la bomba de lubricación, el intercambiador de</p> | <p>-No es la primera vez que veo este tipo de casos, en una inspección anterior en otra unidad de otra empresa naviera se presentó un problema similar, sin embargo, no pude, hasta que se hizo la inspección, saber a ciencia cierta ni asegurar cuál fue la razón por la cual se dio esta falla general en la máquina principal. En esta inspección se desmontaron los sistemas de combustible y de lubricación, lo cual permitió al equipo ver más de cerca el estado de todos los componentes, lo cual corroboró mis sospechas. Se encontraron partículas metálicas presentes en los filtros dobles y en los automáticos, lo que directamente se relacionó a una contaminación del sistema de lubricación y del combustible utilizado.</p> |  |
|--|--|--|--|

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <p>veces, por eso creo que se llegó a esa conclusión.</p> <p>-</p> | <p>calor, entre otros, se pudo ver que, en casi todo el sistema, pero principalmente en los filtros doble y automáticos, se encontraron impurezas sólidas, que, bajo una posterior prueba de laboratorio, se llegó a la conclusión que eran partículas metálicas. Adicionalmente, dicha prueba de laboratorio también sirvió para saber a ciencia cierta qué fue lo que originó estos problemas, y se identificó que el combustible y el aceite presente en los sistemas tenían un alto contenido de aluminosilicatos, componentes utilizados en el proceso de crackeo</p> | <p>Luego de una inspección de laboratorio se pudo corroborar lo pensado en un principio, el problema se debió a la presencia de aluminosilicatos presentes en una cantidad excesiva en el combustible, los cuales son conocidos como finos catalíticos, que son agregados en el proceso de crackeo catalítico dentro de las refinerías para poder cumplir con el nivel de azufre exigido en la norma OMI.</p> |  |
|--|--|---|--|

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | <p>que se lleva a cabo en las refinerías para poder disminuir la presencia del azufre, estos componentes se incrustaron en diferentes partes del sistema y de las unidades de la maquina principal, dando como resultado la destrucción de anillos y daños abrasivos.</p> |  |  |
|--|---|--|--|

-Inspección final:

| NOTA DE CAMPO |  |
|---------------|--|
| 1             | Nº: 06   |
| 2             | <b>Fecha:23/02/2020 - 25 /02/2020</b>  |
| 3             | Lugar: Buque Portacontenedores MV AS Faustina  |
| 4             | Momento de la observación: Al garete (Adrift)  |
| 5             | Observaciones  |
| a             | <p>0900 horas – Se empezaron a desmontar los siguientes sistemas y equipos:</p> <p><b><u>Sistema de refrigeración</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intercambiador de calor de agua de baja temperatura de la maquina principal. (Main Engine LT WATER HEAT EXCHANGER)</li> <li>• Intercambiador de calor de agua de alta temperatura de la maquina principal. (Main Engine HT WATER HEAT EXCHANGER)</li> <li>• Se inspeccionó los Tanques de agua de alta y baja temperatura.</li> </ul>                                     |
| b             | <p><b>25/02/2020</b></p> <p>1000 horas – Se da inició con la inspección de los tanques de combustible, observando los siguientes:</p> <p><b><u>Tanques de combustibles residual (HFO)</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanque de almacenamiento #1 para combustible residual. Estribor (Storage tank #1 HFO ST)</li> <li>• Tanque de almacenamiento #2 para combustible residual. Estribor y Babor (Storage Tank #2 HFO ST –PS)</li> <li>• Tanque de servicio para combustible residual #1 (Service Tank # 1 HFO)</li> </ul> |

- Tanque de servicio para combustible residual #2 (Service Tank # 2 HFO)
  - Tanques de decantación para combustible residual (Setting Tanks)
- 1600 horas – Se obtienen muestras para ser enviadas al laboratorio.

Interpretación: Al observar ciertas partículas extrañas en los autofiltros de la unidad aumentadora de presión, determinaba la presunción de una baja calidad del combustible, por lo que se procedió a inspeccionar los tanques de almacenamiento de combustible residual (HFO). Dicha situación condujo a que se tomaran muestras de los tanques de combustible para ser enviadas al laboratorio. Con la llegada de los técnicos e ingenieros de MAN B&W quienes trabajaron con la tripulación de máquinas se procedió a iniciar con el overhaul de maquina principal, limpieza de tanques de combustibles (almacenamiento, decantación y servicio [storage, setling y service tank]), asimismo al sistema de lubricación y refrigeración.

| NOTA DE CAMPO |   |
|---------------|---|
| 1             | Nº: 07  |
| 2             | <b>Fecha: 14/03/2020</b>  |
| 3             | Lugar: Buque Portacontenedores MV AS Faustina   |
| 4             | Momento de la observación : Buque amarrado (Alongside)  |
| 5             | Observaciones   |
| a             | 1500 horas – Se recibe el informe final del análisis realizado al combustible del buque.  |
| b             | 1700 horas – Especialistas de MAN determinan desgaste de camisas y ruptura de anillos del pistón a causa de alta concentración de finos catalíticos en el combustible utilizado por el buque. |
|               |    |

|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  |  |
| Interpretación: Se determinó que la falla del motor principal se debió a la presencia de finos catalíticos, lo cual produjo un daño sensible a componentes de la máquina principal. |  |  |

Entrevista

| 8. ¿Cómo se realizó la inspección final y que hallazgos relevantes se produjeron?  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| JM2  | SM1   | TM   | Síntesis conceptual  |
| <p>La inspección final se realizó después de haberse inspeccionado todo el sistema de lubricación de la máquina principal, esta inspección empezó con el desmontado de los intercambiadores de calor de la máquina principal tanto baja como alta, asimismo se inspeccionó los tanques de agua de temperatura alto y baja ya que se quería revisar todos los sistemas que hayan tenido</p> | <p>Durante la inspección final se revisó tanto el sistema de refrigeración como los tanques de combustible, en esta inspección de tanques de combustible se tomaron muestras que se enviaron al laboratorio el cual mostró que la cantidad de finos catalíticos era excesiva, debido a estos resultados y a todas las inspecciones de todos los sistemas relacionados directamente con el motor principal los especialistas llegaron a la</p> | <p>Después de que se inspeccionara todo el sistema de lubricación, el cual fue clave para llegar a la causa del gran daño que sufrieron las camisas como el pistón de la unidad 3, se procedió a la inspección final el cual consistía en desmontar el sistema de refrigeración precisamente los intercambiadores de calor de alta y baja temperatura de igual manera sus tanques de agua, finalmente se procedió a tomar muestras de combustible de los tanques para poder ser enviados a laboratorio, de esta manera los especialistas de MAN pudieron concluir en que el causante de los grandes daños que sufrió</p> | <p>En la última inspección realizada por todo el departamento de máquinas y los especialistas de la casa manufacturadora (MAN) se pudo revisar el sistema de refrigeración de la máquina principal pero se enfocó principalmente en las inspecciones de los tanques de combustibles debido a que en las previas inspecciones del sistema de lubricación se encontraron rastros de residuos metálicos en distintos filtros producto del desgaste abrasivo de los componentes del motor principal, gracias a este indicio se pudo intuir que el probablemente el daño causado era debido a la calidad del combustible, dando así lugar a la recolección de muestras de combustible de los distintos tanques de este mismo para posteriormente ser enviadas al laboratorio. Los resultados obtenidos efectivamente mostraron el exceso de la presencia de finos catalíticos en el combustible que se había estado utilizando.</p> |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| <p>contacto con la máquina principal y poder revisar las condiciones en las que este estaba trabajando, después de inspeccionar todo el sistema de enfriamiento se procedió con la inspección de los tanques de combustible, debido a que se habían encontrado residuos metálicos en la inspección del sistema de lubricación, en el que se procedió a tomar unas muestras de combustible de dichos tanques para ser enviadas a laboratorio.</p> | <p>conclusión de que el daño de los componentes del motor principal fue por causa del exceso de finos catalíticos en el combustible que se estaba utilizando.</p> | <p>el motor principal fueron los finos catalíticos.</p> |  |
| <p>TEC2</p>  | <p>TEC1</p>   |   |  |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p>En base a la inspección que realizamos al sistema de lubricación pudimos encontrar ciertas partículas metálicas en los filtros de aceite y en las velas de los filtros automáticos lo cual nos hizo sospechar directamente con la calidad de combustible, por ese motivo la inspección final se enfocó en tomar muestras de combustible de los distintos tanques de combustible con la finalidad de conocer las condiciones en las que se encontraba el</p> | <p>La última inspección fue llevada a cabo en base a lo encontrado en el sistema de lubricación de la inspección previa, llevando a cabo la inspección de los tanques de combustible, tomando muestras que se enviaron a laboratorio, de igual manera en esta última inspección se revisó el sistema de refrigeración para analizar todo tipo de daños que se pudieron haber generado y asegurarnos de tener un buen funcionamiento del motor principal una vez ya reparada. Se llegó a la conclusión de que la causa de todos</p> |  |  |
|--|--|--|--|

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <p>combustible suministrado, además se pudo realizar la inspección de los intercambiadores de calor de alta y baja temperatura de la máquina principal como parte de la inspección total de las condiciones en las que el motor principal estaba trabajando en esos momentos. Finalmente al recibir el informe del análisis de combustible que habíamos enviado previamente pudimos evidenciar que la cantidades de aluminosilicatos era excesiva, esto daba a conocer la</p> | <p>estos daños de los componentes del motor principal y la contaminación del sistema de lubricación fue la presencia excesiva de finos catalíticos en el combustible residual que se estaba usando a bordo, esta conclusión se determinó basándonos tanto en las características de los daños de los componentes del motor principal como las inspecciones de los distintos sistemas relacionados precisamente al motor principal.</p> |  |  |
|---|--|--|--|

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| causa fundamental del daño del motor principal y los restos metálicos encontrados en el sistema de lubricación. |  |  |  |
|---|--|--|--|

**Teorización parcial sobre el segundo objetivo específico:** Con la autorización de la compañía y los especialistas de la casa fabricante (MAN B&W) se realizó el desmontado del motor principal para poder realizar una inspección más exhaustiva, examinando principalmente los sistemas de combustible y lubricación.

-Entre los componentes que se inspeccionaron se tiene culatas, cilindros, pistones, volante, bombas de inyección de combustible, tuberías de inyección de combustible, inyectores de combustible, línea de agua de temperatura alta, línea de agua de temperatura baja, turbocompresor, bombas de aceite lubricante, línea de tuberías de admisión de aire, tubería de gases de escape, etc.

-En días posteriores, se inspeccionaron otros equipos tales como: Unidad aumentador de presión, filtro automático de combustible, purificadores de combustible pesado, purificador de aceite de lubricante, filtro doble de aceite lubricante, filtro doble de combustible pesado, bombas de aceite lubricante, filtro automático de aceite lubricante, intercambiador de calor del aceite lubricante, etc.

-También se pudo observar que equipos del sistema de enfriamiento tales como el intercambiador de calor de agua de alta temperatura del motor principal, e intercambiador de calor de agua de baja temperatura del motor principal fueron inspeccionados. Tomando en cuenta el plan de trabajo de los especialistas de la casa manufacturadora (MAN B&W) la inspección se puede establecer que la inspección fue sistemática y ordenada, de tal manera que se pudo evidenciar componente por componente la causa central del problema en relación con la máquina principal.

-Un punto resaltante a considerar tuvo que ver con el hallazgo de partículas extrañas de los filtros automáticos de la unidad de aumentador de presión lo que conllevó a interpretar que era la causa de la baja calidad del combustible. Ante dicho escenario, se inspeccionaron también los tanques: Tanque # 1 de almacenamiento de combustible pesado, tanque # 2 de almacenamiento de combustible pesado, tanques de sedimentación de combustible pesado y los tanques de servicio de combustible pesado.

-Con resultados obtenidos de las inspecciones a los componentes físicos de máquina principal se pudo concluir que los daños se produjeron en la unidad 3 del motor principal, donde la camisa y los anillos del pistón sufrieron daños excesivamente abrasivos. Sumado a dichos componentes las válvulas de liberación, como se mencionó anteriormente fue el primer componente observado por los oficiales de máquinas que sufrió perjuicio físico, lo que determinó el reemplazo por un activo nuevo.

-Con los resultados obtenidos del laboratorio respecto a las propiedades del combustible que se utilizaba a bordo del buque, así como las de aceite de los sistemas de combustibles y lubricación se pudo determinar que la causa principal de todo el problema fueron la presencia excesiva de aluminosilicatos, conocidos también como finos catalíticos, lo cual representa a elementos abrasivos que se introducen en el proceso de producción del combustible residual con bajo porcentaje de azufre dentro de la planta de craqueo catalítico (FCC), lo que en la actualidad, según las orientaciones establecidos por CIMAC y MEPC establecidas ya desde el año 2015 y 2019 respectivamente, así como de otras organizaciones vinculadas a proyectos de investigación sobre el uso de combustible marino reglamentario a bordo de los buques, representa una repercusión clave que afecta principalmente a los componentes señaladas en el presente caso.

**4.1.3. Señalar qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.**

-Alarma de incendio en sala de máquinas:

Entrevista

| 9. ¿Qué medidas se tomaron al escuchar la alarma de incendio de la sala de máquinas?  |   |   |  |
|---|---|---|--|
| JM2   | SM1   | TM  | Síntesis conceptual  |
| -Inicialmente estuvimos en la sala de control de máquinas durante la reunión matutina para distribuir los trabajos diarios, cuando la alarma de incendio se activó seguido de una parada de emergencia de la maquina principal. Las primeras medidas que tomamos fue acudir a sala de | Instintivamente nosotros los oficiales de gestión acudimos a la sala de máquinas para realizar una inspección visual de los problemas en transcurso, sin embargo, no pudimos ingresar a la sala de máquinas porque se presentaba una acumulación de gases dentro de la misma, por lo consiguiente tuvimos que | Inicialmente recibí la orden de quedarme en el control de máquinas para operar los generadores, bombas contra incendio y reconocer las alarmas que se activasen, cuando los oficiales superiores regresaron de sala de máquinas se me ordeno preparar mangas contra incendio y habilitar las botellas de CO2 para una posible activación tras una confirmación de incendio en máquinas. | -La tripulación en sala de máquinas tuvo una respuesta acorde a los procedimientos establecidos para el abordaje de una situación como la suscitada a bordo, además el jefe ingeniero tuvo tino en la gestión de la seguridad internamente para con su personal, sin exponer a ninguno de los miembros bajo su cargo. Como primera reacción se trató de ingresar a la sala de maquinas para evaluar las condiciones en las que se encontraba topándose con una gran nube de humo que |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p>máquinas a realizar una inspección en el lugar, sin embargo, esta no se pudo realizar debido a la acumulación de gases dentro de sala de máquina, por otro lado, la tripulación de máquinas nos reunimos en el control para empezar a reconocer las alarmas y empezar a tomar las medidas correspondientes para hacer frente a un posible incendio seguido de un abandono de buque.</p> | <p>esperar y empezar a reconocer las alarmas en la consola. Por otro lado, el jefe de máquinas inicio las comunicaciones con el capitán para coordinar las acciones a tomar en caso haya una confirmación de incendio.</p> |  | <p>imposibilitó en primera instancia la inspección que luego pudo ser realizada. Otros procedimientos que se dieron tuvieron relación con el despliegue de las actividades preparatorias ante una sospecha de incendio en sala de máquinas, vigía constante en la consola de alarmas para la toma de decisiones oportuna, entre otras.</p> |
|--|--|--|--|

| OIL1   | OIL2  | SI         |  |
|--|---|------------|--|
| <p>Recibí la orden directa del segundo oficial de permanecer en el control de máquinas de asistiendo al tercer oficial. Posterior se nos dio la orden a mí y al tercer oficial de preparar las mangas contra incendios y de habilitar las botellas de CO2 y estemos preparados para una posible lucha contraincendios.</p> | <p>De acuerdo a mi cuadro de obligaciones acudí a la estación de reunión para vestir el traje de bombero, asimismo estuve atento a la orden y confirmación de incendio en sala de máquinas.</p> | <p>N/A</p> |  |

-Buque al garete:

Entrevista

| 10. ¿Qué acciones se tomaron cuando el buque se encontró en la condición de “al garete”?   |   |  |   |
|--|---|--|---|
| JM2  | SM1   | TM   | Síntesis conceptual   |
| <p>Lo primero que hicimos como departamento de máquinas fue asegurar la producción de electricidad debido a que teníamos una cantidad considerable de carga refrigerada, así que mantuvimos un generador con la capacidad suficiente para mantener funcionando esos contenedores refrigerados. Otro punto importante fue mantener la</p> | <p>Recuerdo que priorizamos la producción de electricidad debido a la carga refrigerada que estábamos llevando, también tuvimos que encender la caldera de forma inmediata ya que si no manteníamos la temperatura en los sistemas podríamos haber experimentado un daño mayor en las tuberías de combustible debido a que cuando la temperatura del combustible residual se reduce</p> | <p>Lo primordial fue proteger la carga refrigerada manteniendo un generador en funcionamiento, además activamos la caldera a fin de conservar la temperatura en los distintos sistemas abordo. Durante todo ese tiempo en el que el buque quedó al garete se mantuvo una buena comunicación con el superintendente y la compañía, ya que ellos serían los que darían las indicaciones a seguir en base a la situación enfrentada en ese momento.</p> | <p>La principal acción que se tomó cuando el buque quedó en situación de al garete fue poner en funcionamiento un generador para suministrar energía a toda la carga refrigerada que se llevaba a bordo, así mismo otro punto esencial en el que el departamento de máquinas tomó acción fue en la producción de vapor en el cual se procedió a poner en funcionamiento la caldera, este factor era crítico debido a que muchos sistemas esenciales dependían del vapor, uno de ellos eran los tanques de combustible los cuales si no se mantenían a una temperatura elevada el combustible almacenado se empezaría a solidificar haciendo imposible la transferencia de esta, de igual manera este se solidificaría en las tuberías de transferencia causando obstrucciones generalizadas, consecuentemente conllevaría a toda una limpieza interna de todo el sistema de combustible. La última acción que se tomó fue la constante comunicación del buque con la compañía y superintendente para así poder recibir indicaciones y autorizaciones para poder ejecutar nuevas acciones.</p> |

|   |   |    |  |
|---|---|----|--|
| <p>producción de vapor encendiendo la caldera debido a que la temperatura es un parámetro crítico para diferentes sistemas y equipos. Así mismo mantuvimos la comunicación con la compañía y el superintendente para recibir nuevos ordenes e indicaciones.</p> | <p>drásticamente este empieza a solidificarse dejando así obstrucciones en todas las tuberías de combustible.</p> |    |  |
| OIL 1   | OIL 2   | SI |  |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <p>Las acciones que se tomaron en ese momento fueron mantener la electricidad y el sistema de vapor con los cuales mantuvo al combustible residual en su estado líquido. Así mismo la comunicación entre el buque y la compañía se mantuvo constante.</p> | <p>Cuando el buque se encontró al garete se procedió a poner en marcha un generador para poder tener electricidad abordo y así evitar pérdidas de cargas refrigeradas, también se encendió la caldera para tener vapor en las líneas de acompañamiento del combustible residual.</p> |  |  |
|---|--|--|--|

Entrevista

-Compañía:

| 11. ¿Qué medidas tomó en cuenta ante el suceso reportado?   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| JM2   | SM1   | TM  | Síntesis conceptual  |
| <p>-al momento de la explosión, todos nos encontrábamos reunidos en la sala de control de máquinas, cuando se escuchó un gran estruendo y la propulsión del buque se detuvo, seguidamente empezaron a sonar todas las alarmas en la sala y se dio un "black-out". Casi instintivamente, me dirigí, acompañado del segundo ingeniero de máquinas y del cadete de</p> | <p>-Nos encontrábamos en el "toolbox-meeting" en la sala de control de máquinas, todo se desarrollaba con normalidad, se estaba coordinando los trabajos que se realizarían durante el día, cuando de pronto sentimos un ruido inmenso, que fue seguido de la parada de toda la máquina y un "black-out". Empezaron a sonar todas las alarmas de manera ininterrumpida, fue un suceso que pocas veces había</p> | <p>-Justo cuando llegué a la sala de control de máquinas, se dio la gran explosión que dejó inhabilitada la propulsión del buque y dio lugar a un "black-out", luego de este suceso, el panel de control de alarmas empezó a marcar todas las alarmas que indicaban incendio en la sala de máquinas, yo pensé que el jefe ingeniero daría aviso al puente inmediatamente para poder activar el sistema fijo de CO2 para poder mitigar cualquier posible incendio en sala de máquinas, sin embargo se dirigió a la misma acompañado del segundo ingeniero y del cadete, siempre noté al cadete</p> | <p>- Toda la tripulación tuvo acciones pertinentes y oportunas para manejar este incidente que fue resultado de un mal funcionamiento de la maquina principal que propicio una explosión a bordo. El jefe ingeniero actuó de manera inmediata, en conjunto con el segundo ingeniero y el cadete de máquinas para poder verificar la situación de la sala de máquinas y descartar la presencia de un fuego y así poder tomar acciones pertinentes como la que se dio, que fue resolver en no utilizar el sistema fijo de CO2 y ventilar la zona en conjunto con todo el personal disponible e informar a la oficina sobre los hechos ocurridos.</p> |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <p>ingeniería, a la sala de máquinas para poder cerciorarnos lo que se había suscitado dentro de ella y evaluar el uso del sistema fijo de CO2 en caso se haya desatado un incendio producto de la explosión. Cuando ingresamos a la sala de máquinas, lo hicimos sumo cuidado, inmediatamente nos percatamos de la gran presencia de humo, pero no se notaron llamas ni peligros de incendio, seguidamente, informe al puente sobre las condiciones en</p> | <p>presenciado, con lo cual me traslade inmediatamente al panel de control de alarmas y pude ver que todas indicaban incendio en la sala de máquinas, yo esperaba lo peor, que un incendio se estaba desarrollando producto de la explosión, sin embargo, el jefe ingeniero se dirigió a la sala de máquinas para cerciorarse de lo que había pasado en verdad, al ver esta acción, lo acompañé indicando al cadete de máquinas que haga lo propio, para prevenir cualquier accidente que pueda darse al momento del</p> | <p>proactivo, en este caso llevó un par de equipos "EEBD" para estar preparado ante cualquier eventualidad, yo relevé al segundo ingeniero en la vigilia del tablero de control de alarmas para poder monitorear cualquier anomalía que se pueda detectar consecuentemente. Luego el jefe informo que no era necesario activar el sistema de CO2 y todos procedimos a sala de máquinas para la apertura de las compuertas y facilitar la ventilación del compartimento.</p> |  |
|---|--|---|--|

|  |  |    |  |
|--|--|----|--|
| <p>las que se encontraba la sala de máquinas concluyendo que no era necesario el uso del sistema de CO2, y luego procedimos a ventilar el área abriendo todas las compuertas para tal fin.</p> | <p>ingreso. Entramos a la sala de máquinas y nos encontramos con una nube inmensa de humo, pero sin presencia de fuego aparente, esperamos unos minutos y el jefe determinó que no era necesario activar el sistema de CO2, por el contrario, indico que todo el personal de máquinas permanezca en la misma y que se proceda a abrir todas las puertas de ingreso y salida a la sala de máquinas.</p> |    |  |
| OIL 1  | OIL 2  | SI |  |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| <p>-Nos encontrábamos reunidos en la sala de control de máquinas, recibiendo indicaciones de los trabajos a realizar durante el día como limpieza de algunas fugas o goteos que las líneas dentro de sala de máquinas, cuando de pronto sentimos la explosión y todo se apagó, nos cogió de sorpresa este evento, las alarmas empezaron a sonar continuamente con un sonido casi ensordecedor, luego el jefe junto con el segundo ingeniero se</p> | <p>-El segundo oficial estaba dando indicaciones sobre los trabajos a realizar ese día, cuando de pronto se escuchó un gran ruido proveniente de sala de máquinas, a lo cual me dirigí directamente al "muster station" para recibir indicaciones respecto a algún despliegue de acciones de lucha contra incendios, me encontraba vistiendo el equipo de bombero cuando se dio la indicación que todos procedan a la sala de máquinas para poder abrir todas las puerta que daban a ese espacio para que se pueda ventilar y</p> | <p>-bueno, me encontraba en la oficina, ya casi por salir a casa, cuando recibo una llamada del capitán del "AS Faustina", el cual me indicaba que había sucedido una explosión en sala de máquinas y que el buque se encontraba sin propulsión y al garete. Inmediatamente me dispuse a hacer las coordinaciones correspondientes, sabiendo que el problema principal se dio con el motor principal me contacté con los técnicos especialistas de "MAN" para que se pudiera coordinar su apoyo para resolver esa falla presentada.</p> |  |
|--|---|---|--|

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| <p>dirigieron a ver qué había pasado en la sala de máquinas, mientras que el "oiler 2" se dirigió al "muster station" para poder estar preparados ante cualquier eventualidad relacionada a lucha contra incendios. Luego de unos minutos se informo que todo el personal proceda a la sala de máquinas para poder ventilar el área.</p> | <p>expulsar todo el humo que se encontraba contenido.</p> |  |  |
|--|---|--|--|

-Buque:

Entrevista

| 12. ¿Qué medidas se tomó en cuenta dentro de la gestión interna del buque?   |   |   |   |
|--|---|---|---|
| JM2  | SM1   | TM  | Síntesis conceptual   |
| <p>En el momento del acontecimiento nos encontrábamos en la sala de control de máquinas, cuando se activó la alarma de incendio, instintivamente me dirigí a la sala de máquinas debido a que se sintió la parada del motor principal, cuando llegue pudimos observar que habían muchos gases que cubrían la acomodación del motor principal, ordene a al segundo y oírles, abrir las ventilaciones con la intención de que la</p> | <p>Al escuchar la alarma de incendio y que el motor principal se había detenido procedí a la sala de máquinas junto con el jefe y nos percatamos de los gases que rodeaban a la maquina principal, el jefe de máquinas me indico que debía de ir a abrir las ventilaciones para poder ingresar y poder determinar las consecuencias que provocaron este accidente, me acompañaron los oilers.</p> | <p>Por orden del jefe de máquinas me indico que preparare las mangas contra incendio y habilite las botellas de CO2 en caso de que exista una confirmación de incendio.</p> | <p>Cuando se menciona, la gestión interna que se realizó, va relacionado con las acciones que se tomaron por parte de cada integrante de la tripulación con el objetivo de disponer de una organización directa con relación al actuar contra el accidente. Es por ello, es muy importante que el personal conozca sus funciones en caso de emergencia para que no existan problemas futuros.</p> |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| atmosfera sea segura para poder evaluar lo que había pasado.  |  |   |  |
| OIL 1   | OIL 2  | SI  |  |
| En el cuadro de obligaciones menciona que debo de asistir al segundo ingeniero, es por ello que cuando el jefe de máquinas le dieron la orden de abrir la ventilación procedí a cumplir con mis funciones de apoyo. Asimismo, asistí al tercer ingeniero en preparar las magas contra incendio y las botellas de CO2. | Por mis funciones establecidas en el cuadro de obligaciones procedí a colocarme el traje de bombero para combatir el incendio, es por ello que cuando se determinó el posible incendio me dirigí a la estación de bombero más próximo. | Cuando se me informo del accidente, se procedió a realizar la logística con relación al remolque que se iba a usar, el dique más cercano. Esto se desarrolló de la mejor manera con la finalidad de sobre guardar la vida del personal a bordo. |  |

**Teorización parcial sobre el tercer objetivo específico:** Entre las primeras medidas tomadas en cuenta por la alarma de incendios de la máquina principal fue la preparación de la tripulación para hacer frente a un posible incendio, lo que consecuentemente no paso a situaciones mayores respecto a al fuego suscitado en correspondencia con la alarma observada.

- Posteriormente, al término de la ventilación de la sala de máquinas, el departamento de ingeniería realizó una inspección total en busca de los causantes de todas las alarmas suscitadas, donde se pudo concluir que la causa era el motor principal del buque debido a que las válvulas de liberación de explosión estaban activadas producto de una explosión en el cárter. Una primera lectura se ciñó a establecer que la explosión generada fue por los gases de combustión acumulados en el cárter producto del pase de gases desde la cámara de combustión de la unidad número 3 hacia el espacio del cárter. Se pudo observar también que dicha consecuencia fue a causa por fricción y desgaste excesivo entre la camisa del cilindro y el pistón de la unidad 3 de la máquina principal, lo que a su vez conllevó a la ruptura de anillo de compresión y lubricación.
- Con el reporte a la compañía, se solicitó remolcador para llegar a la costa más cercana (Kingstone-Jamaica) de tal manera de que se pueda realizar una inspección más exhaustiva y tomar las medidas correspondientes para superar el problema.
- Se solicitó asistencia a especialistas de la casa fabricante del motor principal (MAN B&W) para poder realizar la inspección y el plan de trabajo correspondiente sobre la situación problemática vinculada con la parada de la máquina principal.

**4.1.4. Señalar cuáles fueron las lecciones aprendidas que se obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.**

-Enseñanzas:

Entrevista

| 13. ¿Qué enseñanzas nos deja este evento suscitado en el buque?  |  |   |   |
|--|--|---|---|
| JM2  | SM1  | SM2   | Síntesis conceptual   |
| Una de las mayores enseñanzas que me ha brindado es que a bordo es muy importante la propagación de información con relación a las nuevas medidas que se implementan en la OMI, y prestar mucha atención a las directrices como las circulares que son tan importantes para el manejo de los diferentes sistemas. Como en este caso al desconocer sobre los finos catalíticos conllevo a que a bordo no se | Bueno una de las principales razones fue el desconocimiento de los finos catalíticos y el desconocimiento de la localización de estos en los combustibles marinos, es por ello que esta experiencia me brinda la sensación que a bordo no se cuenta con la influencia de la empresa con relación a los nuevos temas. Pero esto no quiere indicar que por mi parte no indague de los temas a tratar a bordo, y por último, la mejor | A bordo lo que se espera encontrar son los procedimientos establecidos por la empresa, es por ello que se solicita al personal recién embarcado se familiarice con los procedimientos lo más concurrente posible. Pero a pesar de ello, no se encuentran poblaciones actualizadas. La mejor enseñanza que me brinda esta enseñanza es el estudio de los componentes marinos a | -Una de los principales aportes que nos brinda este tipo de sucesos es que la tripulación nos disponía de conocimientos íntegros sobre los finos catalíticos y las repercusiones a la máquina principal es por ello que se deberían de implementar medidas formativas.<br>-Se recomienda que la correcta limpieza de todos los filtros de combustible para reducir a gran escala los aluminosilicatos y filtros no mayores a 10 micras en el filtro automático<br>-Frecuente drenado de los tanques de sedimentación y los de servicio<br>-instalación de equipos especializados en analizar la cantidad de finos catalíticos |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| disponga de un plan en contra de los finos catalíticos o procedimientos para reducir los daños que podrían darse.   | enseñanza es la lectura con relación a las medidas que son proporcionadas al tripulante.  | profundidad con la finalidad de conocer y en caso de emergencia poder conocer lo teórico y con las bases experimentales poder solucionar el problema.  |  |
| OIL2  | TEC1  | SI   |  |
| Una de las enseñanzas que me brinda este tipo de casos es que a bordo las actividades deben de estar reguladas y que los oficiales de alto rango deben de estar informados de las nuevas regulaciones para que en caso de emergencia puedan tomar acción. | Con relación a la enseñanza que me proporciona este tipos de sucesos es que a bordo la implementación de charlas informativas relacionadas a las nuevas normativas como en el caso de los nuevos combustibles que cumplen un factor importante a bordo porque debido a la desinformación en este caso sucedió el accidente. | Con todos los sucesos que se han ido propagando puedo concluir que la implementación de nuevas medidas correctivas será necesaria para que todos a bordo dispongan de los conocimientos necesarios para actuar en caso emergencia y sobre todo implementar todo ello en el sistema de gestión. |  |

-Buque al garete:

Entrevista

| 14 ¿Qué mejores prácticas deben tomarse en cuenta por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre para prevenir aparición de finos catalíticos en el motor principal ?  |   |  |    |  |
|---|---|--|----|--|
| JM2   | SM1   | SM2  |    | Síntesis conceptual  |
| <p>Principalmente realizar una mejor purificación del combustible, controlando los parámetros de temperatura y caudal, asimismo realizar un análisis periódico del combustible en los laboratorios especializados. Por otro lado, desde el tema operativo realizar correctamente los drenajes de los tanques de servicio y decantación.</p> | <p>Se hace un énfasis en el tratamiento y purificación del combustible a inyectarse en la cámara de combustión, asimismo el uso de filtros que retengan partículas en el orden de 10 micras para de esta forma asegurar la retención de partículas abrasivas. Además, se hizo la instalación de un sistema de monitoreo de finos catalíticos en diferentes puntos del sistema de combustible.</p> | <p>Es importante una adecuada purificación y tratamiento de combustible, además de utilizar los filtros adecuados para retener partículas más pequeñas del tamaño de los finos catalíticos. También es importante realizar correctamente el drenado de los tanques combustible, así como tener en cuenta los detalles técnicos del combustible recibido a bordo y de las muestras enviadas a los laboratorios autorizados.</p> |    | <p>El tratamiento y purificación de combustible residual, el uso de combustibles adecuados que aseguren una mayor calidad, el drenado de tanques, el uso de filtros que retengan partículas más pequeñas y el monitoreo constante aseguran las apariciones de finos catalíticos en el motor principal.</p> |
| OIL 2   | TEC 1   | TEC 2  | SI |  |

|  |   |  |   |  |
|--|---|--|---|--|
| <p>Tiene relevancia la correcta limpieza de los filtros, mediante uso de cámara de ultrasonido para remover las pequeñas partículas que saturan rápidamente los filtros, además de tener en cuenta un mejor drenado de los tanques de servicio y decantación, de esta forma nos aseguramos que partículas peligrosas ingresen a la cámara de combustión.</p> | <p>Dadas nuestras recomendaciones para mejorar las practicas operacionales en el uso de combustibles residuales con bajo contenido de azufre, se hace un mayor énfasis en una adecuada purificación del combustible, y teniendo en cuenta las normativas vigentes, nosotros sugerimos la concentración de aluminosilicatos presentes en el combustible residual en una concentración no mayor a 15 ppm.</p> | <p>Para nosotros es importante la calidad del combustible por lo cual se sugiere recibir solamente combustibles que garanticen realmente las concentraciones máximas y adecuadas de aluminosilicatos, además de tener un especial cuidado en el tratamiento de combustible a bordo, así como su purificación, filtración y almacenamiento, asimismo de un monitoreo continuo ayudados con la tecnología.</p> | <p>La compañía buscara constantemente mejorar las condiciones operacionales para el tratamiento de combustible, así como el contrato de proveedores de combustible con altos estándares de calidad. Además de contratar servicio de laboratorio para monitorear cada bunker recibido a bordo. Desde ya se han generado algunas directrices y guías para los operadores de máquinas para</p> |  |
|--|---|--|---|--|

|  |  |  |   |  |
|--|--|--|---|--|
|  |  |  | el resto de la flota y no vuelva a ocurrir el mismo problema. |  |
|--|--|--|---|--|

-Actividades formativas:

### Entrevista

| 15. ¿Considera que deben implementarse actividades formativas en relación con el uso de combustible reglamentario y sus repercusiones operativas en la tripulación de máquinas?   |  |   |   |  |
|---|--|---|---|--|
| JM2   | SM1  | SM2   | OIL2  | Síntesis conceptual  |
| <p>-Considero que es imperativo que se implanten cursos y capacitaciones en el marco de un correcto desarrollo de actividades formativas en relación con el uso del combustible reglamentario para que se puedan mitigar diferentes repercusiones operativas que se puedan presentar a bordo de los buques, puesto que, esta normativa no es pasajera, el uso de combustibles que cada vez irán buscando la reducción de azufre al mínimo hasta su erradicación en el transporte marítimo es una prioridad de la OMI, es por eso que es urgente</p> | <p>-Luego de esta experiencia con los problemas que conlleva la utilización de los nuevos combustibles con bajo contenido de azufre, considero urgente la implementación de actividades formativas relacionadas al manejo y la detección de repercusiones respecto a la utilización de estos nuevos combustibles, dado que, de suscitarse continuamente estos problemas que no son fácilmente detectados por una tripulación que desconoce de la existencia de estas</p> | <p>-desde mi punto de vista, que la tripulación en general conozca respecto a esta ya existente problemática en los buques, es de vital importancia no solo para el profesionalismo y el incremento de conocimiento y capacidades por parte de la tripulación, sino también, para el beneficio de las compañías navieras y por ende del transporte marítimo mundial. Las actividades formativas en relación al uso de combustibles reglamentarios y sus posibles repercusiones en los buques debe ser</p> | <p>-Respecto a la implementación de actividades formativas, puedo opinar que es oportuno la implantación de estas, debido a que, de esa manera nos darán más herramientas relacionadas al manejo de un conocimiento acorde y preciso a la hora de poder afrontar problemas como los que se dieron en el buque. La empresa a la larga se verá beneficiada también, debido a que se ahorra gran capital útil para otros proyectos que guarden relación con su crecimiento económico, sería muy dañino para la empresa tener que gastar muchos millones de dólares en reparaciones que se hubieran podido evitar si es que se hubiera preparaba correctamente a toda la tripulación en temas de utilización de los nuevos combustibles reglamentarios y sus repercusiones.</p> | <p>-los entrevistados convergen en la opinión de considerar apropiado la implementación de actividades formativas relacionadas al uso de combustibles reglamentarios y sus repercusiones en la tripulación de máquinas, debido a que es esta la que va a tener que enfrentar esta nueva problemática que conlleva la búsqueda de reducción del azufre en los combustibles marinos, además también se incita a que los centros de formación y entrenamiento marítimo tomen cartas en el asunto en conjunto con las compañías navieras para el logro de competencias optimas respecto al manejo de estos nuevos combustibles con el fin de mantener el transporte marítimo en una mejora continua.</p> |

|  |   |   |  |  |
|--|---|---|--|--|
| <p>poseer un conocimiento basto y técnico respecto a esta nueva problemática, con lo cual considero oportuno y critico la implantación de dichas actividades formativas.</p>   | <p>nuevas repercusiones, puede generar pérdidas multimillonarias, propiciando un panorama económicamente desalentador para cualquier compañía naviera.</p>  | <p>prioridad de los centros de formación y de los centros de instrucción marítima, para que de esa manera se busque una mejora continua de la gente de mar, que a su vez puede verse potenciado con el apoyo de las compañías navieras para así consolidar estas competencias.</p>  |  |  |
| TEC1   | TEC2  | SI  |  |  |
| <p>-partiendo del punto de vista de que el conocimiento es la herramienta fundamental para poder combatir diferentes problemáticas que se puedan suscitar en los buques hoy en día por el uso de los nuevos combustibles reglamentarios de bajo contenido de azufre, es casi imperativa la obligación de implantar actividades formativas respecto al uso y repercusiones de los combustibles reglamentarios en el</p> | <p>-si considero que es pertinente implementar actividades formativas respecto a la manipulación de combustibles reglamentarios y sus repercusiones, es de vital importancia para la formación de la gente de mar y para la empresa, debido a que, de esa manera se optimizaran las respuestas operativas ante algún problema parecido al que se dio en este buque.</p> | <p>-considero que sí es importante implementar actividades formativas a la tripulación respecto al manejo y repercusiones de los nuevos combustibles reglamentarios, además de implementar buenas prácticas para la limpieza y mantenimiento de los filtros de combustible para eliminar impurezas de manera eficiente como lo pueden ser los aluminosilicatos.</p> |  |  |

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
| <p>personal de máquinas, puesto que, ellos son los operadores directos y deben manejar competencias acorde a esta nueva problemática para poder minimizar estas repercusiones.</p> |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|

**Teorización parcial sobre el cuarto objetivo específico:** Las lecciones aprendidas que dejó el hecho por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal, lo cual determinó que se haga un “overhaul” a toda la máquina principal permitió conocer una repercusión grave a causa del uso de combustible marino residual con bajo contenido de azufre, lo cual, tal como lo determinaban las publicaciones provenientes de CIMAC, MAN y la OMI (MEPC.320(74) en razón de poseer un combustible con alto contenido de aluminosilicatos conllevó a que la camisa, cabeza y anillos del pistón sufran un daño abrasivo que ocasionó la explosión de todas las válvulas de seguridad (Relief Valves).

El problema generado conllevó a que se ponga mayor énfasis en la gestión y verificación del combustible marino residual con bajo contenido de azufre, conllevando a que el caso se pueda extrapolar a todos los buques que compone la flota de la naviera propietaria del “AS Faustina”, llamando la atención principalmente de los oficiales de máquinas quienes tienen a su cargo garantizar el funcionamiento adecuado del sistema de combustible y máquina principal.

Los especialistas de MAN después de llegar a la conclusión de que las causas del daño del motor principal fueron los finos catalíticos encontrados en el análisis de combustible dieron recomendaciones para poder reducir la cantidad de aluminosilicatos en el combustible antes de llegar al motor principal.

Recomendaron realizar una excelente limpieza de todos los filtros de combustible, así como una extraordinaria operación de purificación, cuyos procedimientos brindan las condiciones adecuada para reducir gran cantidad de los aluminosilicatos.

Uno de los procedimientos más simples para reducir los aluminosilicatos es el frecuente drenado de los tanques de sedimentación y los de servicio.

El límite máximo de aluminosilicatos en el combustible antes de ingresar al motor principal debe ser de 15 ppm para asegurar que las camisas, cabeza, ni los anillos sean dañados abrasivamente.

Además, se requiere una instalación de un filtro no mayor de 10 micras en el filtro automático.

Adicionalmente existen equipos especializados para analizar constantemente la cantidad de finos catalíticos en puntos estratégicos en el sistema de combustible, uno de estos equipos especializados es conocido como "*catguard-online measurement of catfines*".

Recomendaron además realizar un análisis de laboratorio de combustible cada cuatro meses para verificar si el combustible cumple periódicamente los límites máximos de finos catalíticos.

Si en caso las especificaciones de combustible recibido en la faena de combustible muestren más de 25 ppm de aluminosilicatos se debe revisar periódicamente la eficiencia de los purificadores.

Otra recomendación es recircular el combustible del tanque de servicio hacia el tanque de sedimentación para ser purificado por segunda vez, asimismo se puede implementar un sistema de tratamiento automatizado (ATS) el cual realiza la recirculación del combustible del tanque de servicio hacia el tanque de sedimentación de manera automática.

A lo señalado, se incidió también en que tomando en cuenta las demás repercusiones que puedan producirse por el uso de combustible de acuerdo con lo que avizoran las publicaciones especializadas sobre el tema, se debe realizar actividades formativas que ayuden a mejorar el entendimiento y problemáticas que pueden sufrir los buques por el uso de combustible reglamentario, cuya actividad podría ser un elemento importante en aras de poder garantizar el funcionamiento adecuado del buque y no evitar daños significativos y pérdidas económicas tanto en repuestos como aquellas relacionadas con la gestión comercial del buque.

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

-Las repercusiones que se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020, fue el daño abrasivo que sufrieron la camisa y anillos del pistón, así como la explosión de las válvulas de seguridad lo que condujo que se tenga que realizar un mantenimiento cero horas (overhaul) lo que trajo consecuencias operativas y comerciales por la paralización que sufrió el buque por un período casi de dos meses. La narrativa establecida con respecto a los hechos y la información establecida proviene de notas de campo los cuales fueron realizadas según la secuencia de acciones que se vivieron a bordo del buque previo, durante y después de que se produjera la explosión en el buque, lo que sumado con las perspectivas de la tripulación de máquinas quienes fueron partícipes de los hechos condujo a que se pueda sistematizar la información de manera adecuada para que se puedan entender los eventos esenciales y que el caso pueda servir de lección para otros buques, tanto de la compañía como de otros quienes en la actualidad vienen utilizando combustible reglamentario, de los cuales lo combustibles residuales con bajo contenido de azufre son los más utilizados dentro de la industria para poder cumplir con el los límites establecido por la norma.

-En razón de la fecha en la cual se realizó el incidente a bordo del buque producido por los finos catalíticos, ningún tripulante a bordo había conocido la problemática a la cual se encuentra sometido un buque por la presencia de aluminosilicatos, a pesar de que había ya publicaciones que con anterioridad avizoran la posible observancia de dicha problemática, lo que determina que

dentro de la gestión interna de la naviera no se tomaron actividades que conlleven a realizar un análisis situacional de los pro y contras respecto al uso de combustible reglamentario en los buques, a pesar de que existía información que permiten dar algunas luces sobre las posibles problemáticas, principalmente las directrices establecidos por OMI en el año de 2019 (MEPC.320(74)).

-Es muy probable que dentro de una gestión en relación con el uso de los nuevos combustibles marinos residuales a bordo de los buques, donde se desconozca las repercusiones que genera en el sistema de combustible y máquina principal, la situación observada pueda replicarse, por lo que es importante que la labor investigativa realizada a bordo de los incidentes propios de los buques y la difusión de la información sean herramientas que brinden cambios propicios y evitar consecuencias significativas.

-El hecho suscitado pudo haber traído consecuencias como pérdidas de vida si un tripulante de máquinas hubiese estado realizando labores cerca de las válvulas de seguridad que explotaron, sin embargo, deja una reflexión que establece que la presencia de finos catalíticos ¿puede causar la muerte de un tripulante a bordo de producirse un evento de características similares, ya sea en el mismo buque o en otro buque.

-Otra de las repercusiones observadas tuvo que ver con el incendio, pero que no pasó a mayores, lo que conlleva a pensar que también en los temas formativos relacionados con lucha contraincendios existan nuevas razones que es importante que las tripulaciones que brindan servicio a bordo de los buques, principalmente de máquinas, puedan conocer, ya que podrían estar sujetos a eventos similares donde deba existir un conocimiento mínimo de la situación para poder establecer una capacidad de respuesta acorde con la situación.

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

### **5.1. Discusión**

Los resultados obtenidos, a través de un análisis cualitativo realizado estableció la narrativa correspondiente a la presencia de finos catalíticos, la cual se pudo sistematizar a través de una matriz categorial la cual orientó la presentación de la información recopilada de la fase empírica del proceso, la cual se pudo extraer a partir de la observación, entrevistas y documentación, los cuales satisficieron las necesidades cognoscitivas en relación con el planteamiento del estudio.

Con la información que se pudo recabar y plasmar en el marco referencial se pudo establecer que la problemática vinculada con la aparición de finos catalíticos se veía venir, ya que experiencias pasadas de buques quienes operaban en zonas ECAs, mostraron evidencias de las posibles repercusiones por el uso de combustible marino

con bajo contenido de azufre, lo que conllevó a establecer que una mala gestión desde esferas internas de la empresa naviera la cual no brindó las capacitaciones necesarias al personal del buque.

Si bien es cierto, hasta la actualidad la información respecto a los finos catalíticos resulta ser escasa, en la bibliografía en español resultó casi nula, lo que es entendible por ser una repercusión ante un fenómeno nuevo la cual se puede visualizar por utilizar combustible marino residual con bajo contenido de azufre, donde en la actualidad resulta ser un elemento vital para poder cumplir con las normativas medioambientales relacionadas con las emisiones de azufre y que se corresponde con una respuesta del transporte marítimo para con las políticas internacionales que buscan reducir la emisión de gases contaminantes.

Con respecto a la validez interna, por la metodología utilizada se puede establecer que el presente trabajo de investigación es válido y los hechos que enmarcan la teoría puede ser útil para otros contextos donde por el uso de combustible con bajo contenido de azufre se puedan evidenciar la presencia que finos catalíticos los cuales produzcan situaciones similares que ponga en peligro el funcionamiento de la máquina principal del buque y en consecuencia también poner en riesgo la vida de la tripulación.

La metodología utilizada para poder ubicar los eventos más importantes sobre los cuales se puedan comprender los hechos que se suscitaron durante la explosión que conllevó a identificar la presencia de finos catalíticos y los fallos estructurales que

tuvo lugar en la camisa y anillos del pistón, fue la adecuada, ya que el diseño narrativo que forma parte de los estudios cualitativo permiten reconstruir situaciones pasadas con el fin de aportar con evidencias, que en el ámbito operacional de los buques mercantes enmarcan que se publiquen incidentes que puedan servir de alerta para otros buques.

Con respecto a la validez externa, se puede señalar que los resultados no pueden ser generalizados, ya que se avoca a un caso y hecho particular que afectó al buque donde se observó el suceso, lo que sumado al tipo de enfoque no corresponde a poseer resultados que sean generalizables, ya que las unidades de información ayudan a profundizar en el hecho para que pueda ser comprendido de manera holística. Por otra parte, se puede establecer que los resultados pueden ser transferibles a otros contextos de tal manera de comparar situaciones similares que conlleven a seguir presentando características que coadyuven a mejorar la gestión a bordo de los buques respecto al uso de combustible residual con bajo contenido de azufre y las posibles repercusiones.

Con lo establecido por Gutierrez y Montes (2020) en donde se establece el desconocimiento de parte de los proveedores y usuarios finales acerca de la influencia de los combustibles marinos con finos catalíticos en el desgaste de los componentes de la máquina principal, y que la concentración de finos catalíticos seguirá presente en la mezcla final por el uso de catalizadores en la torre de craqueo catalítico para obtener una concentración de azufre permisible para la normativa. Ante ello, se consolida la idea de la falta de instrucción e interés que debería de

disponer la compañía en brindar capacitaciones con bases teóricas en las normativas. En tal sentido, la presente investigación narra sucesos surgidos en la mar en donde al no disponer de conocimientos acerca de los finos catalíticos acontecen los hechos mencionados.

Con la investigación de Pitti (2019) se planea conocer los datos relevantes que tienen los finos catalíticos y la abrasión sobre los motores navales, es por ello que se tiene que aplicar nuevas prácticas y procesos de limpieza efectiva para el combustible marino que son recibidas en el “bunkering” cumpliendo las normas ISO 8217 y capacitando a los oficiales ingenieros en los procesos mencionados. En este aspecto, se demuestra la importancia de conocer la procedencia de los finos catalíticos para no tener problemas relacionados a los componentes de la maquina principal.

Con la investigación de Vukicevic et. al. (2017) donde se plantea analizar la protección preventiva del motor principal contra la abrasión que hacen los finos catalíticos por medio de la combustión del combustible marino. Y la importancia de monitorear el ingreso de las cantidades a una velocidad mínima con la finalidad de que no ocasione problemas al motor principal. En ese marco, la presente investigación narra sucesos importantes en los cuales sintetiza que si los oficiales ingenieros hubieran tenido la capacitación adecuada se hubiera realizado una acción preventiva.

En la investigación de MAN Diesel y Turbo (2017) donde se muestra un análisis del impacto que producen los finos catalíticos en motores de dos tiempos, así como criterios establecidos en la reducción de los “cat fines” en los combustibles marinos debido a que en el proceso de craqueo catalítico se usan catalizadores con contenido mineral llamado zeolita con la finalidad de la descomposición de los hidrocarburos complejos moleculares. En ese marco, los relatos que se mencionan van referidos a la falta de información que poseían los oficiales ingenieros, ocasionando gastos elevados en la reparación de la máquina principal.

Con la investigación de Adamkiewicz y Drzewienieniecki (2017) en donde se analizan los problemas operativos que ocurren en la cámara de combustión y daño a los elementos de los motores diésel debido a las impurezas de polvos catalíticos en los combustibles residuales que a su vez son responsables de los procesos abrasivo al pistón, anillos del pistón, camisa del cilindro y las bombas de inyección. En tal sentido, la presente investigación relata sucesos importantes en la manipulación de los combustibles marinos y el desconocimiento de la composición de los finos catalíticos y los efectos perjudiciales al motor principal.

La investigación realizada por Peña (2016) en donde se menciona las tecnologías y medidas para controlar y mitigar las emisiones contaminantes que son ocasionadas por los buques con la finalidad de cumplir con las normativas del sector marítimo con los debidos gastos económicos, así como la correcta logística y la preparación de la nueva tecnología para el cumplimiento del Convenio MARPOL señalando la inversión para el cumplimiento de la norma, en donde las empresas navieras se ven en una

encrucijada por las inversiones que serían retornables a mediano plazo es por ello que se debería de realizar un análisis prospectivo. Ante ello, la narración del presente trabajo de investigación demuestra que las empresas no están realizando una correcta inversión y por ello de desencadenó los sucesos narrados.

Con el trabajo de investigación Sorensen et. al. (2014) donde se informa sobre la medición continua en niveles de contenido de finos catalíticos en los combustibles marinos por medio de un sensor de resonancia magnética nuclear, el cual dispone de una alta precisión para detectar los finos catalíticos por su sensibilidad y plataforma de aplicación de monitoreo. En base a ello, la presente investigación muestra la falta de inversión de las empresas para la implementación de nueva tecnología, pero existe otro factor importante que es la desinformación que se dispone acerca de este tema que conlleva a una desorientación en las acciones a tomar.

Por último, con la investigación desarrollada por el comité Joint Hull (2013) donde se propuso analizar la información técnica sobre los finos catalíticos, analizando las causas que afectan al motor principal, además de una evaluación de riesgos y factores para poder reducirlos. Se estableció, por evidencia real que la calidad de los combustibles marinos ha disminuido las emisiones atmosféricas, pero con un impacto en la frecuencia del motor. En tal sentido, la presente investigación narrativa determina que existieron muchos factores que determinaron los resultados, como la falta de capacitación de los involucrados en la manipulación de los combustibles y la logística de la empresa naviera.

## 5.2. Conclusiones

Las conclusiones se formulan considerando cada objetivo específico que enmarca la narrativa señalada en razón de los sucesos más relevantes que invitan a obtener una mayor comprensión de los hechos, para luego establecer el objetivo general que se corresponde con el problema general:

En relación al primer objetivo específico del estudio, los indicios observados previo a la explosión de las válvulas de seguridad de la máquina principal tuvo que ver con observar el filtro doble sucio y saturado, la cual no activaba la alarma respectiva en el panel; posterior al primer indicio, se pudo escuchar días después la alarma del filtro automático de combustible del motor principal, que mostró evidencias de saturación de los candels y que provocó un descenso en la periodicidad de descarga. Entre otras alarmas activadas previo a la explosión fue del “booster unit”, parada del motor principal, explosión de cárter, incendio en sala de máquinas y abandono del buque.

Respecto al segundo objetivo específico, el cual se orientó a identificar los componentes de la máquina principal que fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque containero en estudio de acuerdo con las inspecciones realizadas fueron daños en la unidad 3 del motor principal, donde la camisa y los anillos del pistón habían sufrido daños totalmente abrasivos. A su vez, la explosión por la acumulación de gases conllevó a que las válvulas de liberación sufran daños físicos, lo que determinó en conjunto que se reemplazaran por nuevos componentes.

Con respecto al tercer objetivo específico, lo que determinó que se tomen medidas acorde con la situación evidenciada, resaltan la preparación de la tripulación para hacer frente a la alarma de incendios de la sala de máquina, las inspecciones que se tuvieron que realizar luego de ventilación llevada a cabo por la explosión, la solicitud del servicio de remolque debido a que el buque quedó al garete y finalmente solicitar la asistencia de especialistas de la casa manufacturadora del motor principal para que se pueda realizar el overhaul a la máquina principal y que en consecuencia el buque pueda seguir realizando las operaciones comerciales respectivas.

En cuanto al cuarto objetivo específico, las lecciones aprendidas conllevan a que se deba poner mayor atención a la gestión respecto al uso de combustible marino residual con bajo contenido de azufre, lo cual genera repercusiones en el funcionamiento del sistema de combustible y máquina principal, para lo cual se establece que deben aplicarse medidas establecidos por los fabricantes (MAN como es el caso del buque) de motores, y que sobretodo se puedan aplicar planes de formación tomando en consideración las directrices establecidas en el MEPC.320(74).

En ese orden de ideas, para responder al objetivo general se precisa que las repercusiones que originó la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management conllevó a que se pare el motor principal, quedando el buque al garete, haberse desatado un incendio que no pasó a mayores y que se tenga que realizar un overhaul a la máquina principal, lo que determinó que el buque se paralizará dos

meses, restringiéndose las actividades comerciales por ese lapso de tiempo, lo que afectó a la naviera.

Otra de las repercusiones suscitadas conllevó a que la tripulación pueda conocer la problemática vinculada con los finos catalíticos y las consecuencias graves que pueden generar, conllevando a que dentro de la gestión interna de la compañía se den las condiciones para que se puedan realizar procedimientos que puedan garantizar el uso de un combustible marino residual con bajo contenido de azufre de acuerdo con las recomendaciones establecidos por OMI y las casas manufactureras de motores marino, no solo en el buque donde se suscitó el hecho sino en los demás que componen la flota, así como establecer planes de formación que se relacionen con brindar mayor conocimiento en relación de las repercusiones por el uso del nuevo combustible reglamentario.

### 5.3. Recomendaciones

Se proponen las siguientes recomendaciones acordes con los hallazgos obtenidos:

Se recomienda a la compañía naviera propietaria del buque containero "AS Faustina" poder difundir el informe del presente trabajo de investigación a todos los buques que forman parte de la flota, lo cual servirá como un soporte informativo que conduzca a que se tomen medidas pertinentes en razón de repercusiones que puedan suscitarse por la presencia de finos catalíticos en el combustible marino residual con bajo contenido de azufre a utilizar.

Se sugiere que la compañía pueda gestionar bases informativas para poder evaluar todas las situaciones negativas a los cuales los buques que utilicen combustible residual con bajo contenido de azufre se encuentran expuestas, de tal manera que la tripulación, principalmente los que formen parte de máquinas, puedan tomar medidas apropiadas, considerando además las recomendaciones proporcionadas por la OMI.

Se recomienda a la empresa poder adquirir sensores que puedan detectar aluminosilicatos en el sistema de combustible, de tal manera que se pueda establecer un mejor control a partir del uso de la tecnología, la cual podría ser una inversión beneficiosa que pueda evitar situaciones y/o daños similares a los que se

narraron en el presente informe de tesis. Bajo dicho escenario, se pueden minimizar riesgos que puedan generar daños mayores.

Se sugiere a la tripulación del buque, principalmente de máquinas, investigar por cuenta propia las repercusiones que pueden aparecer a consecuencia de utilizar combustible residual con bajo contenido de azufre, ya que en la actualidad el uso de TICs permite que desde la predisposición propia de cada tripulante se pueda aprovechar los recursos disponibles que ofrece internet para adquirir mayor conocimiento o aprender de otras gestiones y/o casos situaciones negativas que hasta el momento han podido suscitarse.

A futuros investigadores y/o egresados de ENAMM, a utilizar diseños narrativos de investigación que puedan presentar casos similares al analizado, lo cual se encuentra relacionado con una repercusión del uso de combustible residual con bajo contenido de azufre, lo que permitirá difundir mayor información desde las vivencias internas de los buques, lo que, en consecuencia, determinaría que se pueda contar con mayor evidencia científica que ayude a los operadores de buques mercantes a establecer una mejor gestión respecto a las diversas problemáticas que puedan observarse.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### Referencias bibliográficas

- Adamkiewicz, A. & Drzewienieniecki, J. (2017). *Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos*. Universidad Marítima de Szczecin, Polonia.
- Cerón, B. (2016). *Introducción a la refinación del petróleo*. Escuela Politécnica Nacional
- Escudero, M. (2009). Diseño de un equipo de microactividad en lecho fluidizado y de una unidad de desactivación de catalizadores [Tesis de pre grado]. Universidad Carlos III de Madrid, España.
- Gutierrez, N. & Montes, Q. (2020). Finos catalíticos y su influencia en el desgaste de los componentes de la máquina principal de un buque mercante: una aproximación cualitativa desde la perspectiva de proveedores y usuarios finales de combustibles marinos residuales intermedios vinculados al transporte marítimo peruano [Tesis de pre grado]. Escuela Nacional de Marina Mercante “Almirante Miguel Grau”, Perú.
- Hernández, R. & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill.
- López, F. (2015). *Evaluación de las consecuencias de la nueva regulación de la OMI sobre combustibles marinos* [Tesis doctoral]. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, España.
- MAN Diesel & Turbo. (2017). *Finos catalíticos, su impacto en el desgaste del motor y como reducirlos*. MAN.

- Medina, O. (2016). *Emisiones de azufre en zonas ECA procedimiento de cambio de combustible* [Tesis de grado]. Universidad de la Laguna, España.
- OMI Comité Joint Hull. (2013). *Daño de motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible*. Comité Joint Hull.
- OMI. (2017). *Convenio MARPOL (6ª ed.)*. MARPOL.
- OMI. (2017). *MARPOL (6ª ed.)*. OMI.
- Pelekais, C., Kadi, O., Seijo, C. & Neuman, N. (2015). *El ABC de la investigación* (6ª ed.). Astro Delta.
- Peña, H. (2016). *Medidas para la reducción de gases contaminantes en motores marinos* [Tesis de pre grado]. Escuela Técnica Superior de Náutica y Máquinas, España.
- Pitti, L. (2019). *Catalizadores finos, impacto en el desgaste del motor y como reducirlos* [Tesis de pre grado]. Universidad Marítima Internacional de Panamá, Panamá.
- Ríos, R. (2017). *Metodología para la investigación y redacción*. Servicios Académicos Intercontinentales S.L.
- Rodríguez, M. (2016). *Evaluación de la capacidad de adsorción de  $nh_4^+$  y metales pesados  $pb^{2+}$ ,  $cd^{2+}$ ,  $cu^{2+}$ ,  $zn^{2+}$  y  $mn^{2+}$  empleando zeolitas naturales y sintéticas* [Tesis de post grado]. Universidad Nacional de San Agustín Escuela de Postgrado, Perú.
- Sorensen, M., Vinding, M., Bakharev, O., Nesgaard T., Jensen, O. & Nielsen, N. (2014). *Sensor de NMR para la detección de finos catalíticos en combustible marinos*. Universidad de Aarhus, Dinamarca.

Vukicevic, M., Racic, N. & Ivosevic, S. (2017). *Material del anillo de pistón en un motor de dos tiempos los cuales sufren desgaste debido a los finos catalíticos* (vol. 70). CrossMark.

## Referencias electrónicas

Aes, Dana. (2013). *Catalizador de FCC.*

<https://www.youtube.com/watch?v=Wx4XusdzFJU>

Alfa laval. (2020). *La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste del motor.* Alfa laval.

<https://www.alfalaval.es/industrias/marina-y-transporte/marina/tratamiento-de-combustible/fuel-line/the-daily-grind-cat-fines-and-engine-wear-part-1/>

BIMCO. (2018). *Guía de abastecimiento de combustible.* BIMCO.

<https://www.bimco.org/>

Brownlee, S. (2007). *Mejores prácticas para el abastecimiento de combustible.*

Videotel. <https://videotel.com/>

CM Technologies. (2018). *Finos catalíticos.* CMT.

<https://www.cmtechnologies.de/en/products-en/oil-condition/on-site-oil-test/catfines-menu-en.html>

Comité Joint Hull. (2013). *Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible.* Gard.

<https://www.gard.no/web/updates/content/20738994/no-01-14-prevention-of-engine-damage-due-to-catalyti>

Coria, M. (2013). *Preparación de catalizadores de potasio por el método de deposición con urea soportados en zeolita faujasita.*

<http://ri.uaemex.mx/oca/bitstream/20.500.11799/13891/1/Tesis.417137.pdf>

- Crownoil. (2020). *Explicación del combustible de bunker (gasóleo marinos): Una guía sencilla*. Crownoil. <https://www.crownoil.co.uk/guides/bunker-fuel-guide/>
- Grupo Aktiengesellschaft. (2020). *Finos catalíticos*. GEA. <https://www.gea.com/es/oil-gas-energy/downstream/cat-fines.jsp>
- Hill., P. & David., J. (2013). *Finos catalíticos en el combustible – Problemas y mitigación*. Iumi. [http://www.iumi.com/images/gillian/London2013/Wednesday1809/Paul%20Hill%20%20John%20L%20David\\_FINAL.pdf](http://www.iumi.com/images/gillian/London2013/Wednesday1809/Paul%20Hill%20%20John%20L%20David_FINAL.pdf)
- Iberdrola. (2020). *La lluvia ácida, un peligro real para los seres vivos*. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/lluvia-acida>
- Ideam. (2020). *Contaminación Atmosférica*. Ideam. <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica>
- Ideam. (2020). *Generalidades de la lluvia ácida*. Ideam. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-lluvia-acida>
- Islam, M. (2015). *Abastecimiento de combustibles marinos*. Moynulislam. [www://www.moynulislam.com](http://www.moynulislam.com)
- ISO. (2020). *ISO 8217:2017: Productos del petróleo – Combustibles (clase F) – Especificaciones de combustibles marinos*. ISO. <https://www.iso.org/standard/64247.html>

LDX. (2020). Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>). LDX.  
<https://www.ldxsolutionses.com/sox/>

MEPC. (2019). *Directrices de 2019 para la implementación uniforme del límite del contenido de azufre del 0,50% en virtud del anexo vi del convenio MARPOL*. OMI. <https://docs.imo.org/>

MEPC. (2018). Orientaciones sobre las mejores prácticas para los compradores / usuarios de fueloil a fin de garantizar la calidad del fueloil utilizado a bordo de los buques. OMI. <https://docs.imo.org/>

Murcia Salud. (2020). Dióxido de azufre. Murcia salud.  
<http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180331#>

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)

OMS. (2020). *Contaminación atmosférica*. OMS.  
[https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)

Peskov, M. (2021). *Zeolitas*. <https://asdn.net/asdn/chemistry/zeolites.php>

Seco, E. (2017). *Control de emisiones a la atmósfera del transporte marítimo*. Bureau Veritas Formación.  
<https://www.youtube.com/watch?v=jwo21b1Yxp8&t=122s>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TITULO:** REPERCUSIONES POR PRESENCIA DE FINOS CATALÍTICOS EN LA MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERERO “AS FAUSTINA” DE LA NAVIERA WILHELMSSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020

**AUTORES:** Bachiller en Ciencias Marítimas: CHOZO Cajusol, Kevin Lenin – GOMEZ Durand, Bruno

| PROBLEMA  | OBJETIVOS  | CATEGORIA DE ANÁLISIS  |               |
|---|--|--|---------------|
| <p><b><u>Problema general</u></b><br/>¿Qué repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containerero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p>¿Cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containerero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management?</p> <p>¿Qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque containerero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management?</p> <p>¿Qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque containerero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management?</p> | <p><b><u>Objetivo general</u></b><br/>Señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containerero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>Conocer cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containerero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.</p> <p>Identificar qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque containerero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management”.</p> <p>Señalar qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque containerero “AS Faustina” de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship</p> | Finos catalíticos en la máquina principal  |               |
|   |  | <b>ESPACIO</b>   | <b>TIEMPO</b> |
|   |  | Buque containerero “AS Faustina”   | 2020          |
|   |  | <b>SUBCATEGORÍAS DE ANÁLISIS</b>   |               |
|   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Indicios observados</li> <li>-Componentes afectados</li> <li>-Medidas</li> <li>-Lecciones aprendidas</li> </ul>  |               |
|   |  | <b>MUESTRA</b>   |               |
|   |  | No probabilística según criterio:<br>-07 Eventos documentados.<br>-11 sujetos conformado por la tripulación del departamento de máquinas (9), técnicos especialistas de MAN (2) y superintendente (1).<br>-3 Unidades documentales |               |
| <b>METODOLOGÍA</b>  |  |  |               |
| Enfoque: Cualitativo<br>Tipo: Básica<br>Nivel: Exploratorio<br>Diseño: Narrativo<br>(Hernández y Mendoza, 2018; Ríos, 2017; Pelekais et. al., 2015)   |  |  |               |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <p>¿Cuáles fueron las lecciones aprendidas que se obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal en el buque containero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management?</p> | <p>Management.</p>   | <p><b>PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</b></p>   |
|  | <p>Señalar cuáles fueron las lecciones aprendidas que se obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero "AS Faustina de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.</p> | <p>Para el procesamiento de la información se hizo uso de técnicas tales como corte y clasificación para la información proveniente de las notas de campo, técnicas de selección de categorías emergentes en relación con las entrevistas y análisis de contenido respecto a la información documental seleccionada.</p> <p>Todo el proceso mencionado fue realizado con los programas computacionales Microsoft Word y Atlas.ti 7.</p> |

## ANEXO 2

### LISTA DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

- Azufre: Elemento químico y componente natural presente en el combustible.
- Bunker: Usado en La toma de combustible, se refiere al producto de combustible en la operación de toma de combustible.
- CIMAC: Consejo Internacional de Motores de Combustión.
- Combustión: Reacción química donde se necesitan 3 elementos; oxígeno, calor y combustible y/o comburente.
- Destilados: Líquido obtenido por destilación del vapor.
- ECA: Zonas de Control de Emisiones.
- Filtros de Combustibles: Elemento que evita pasar las impurezas sólidas y pesadas en los combustibles.
- GO: Tipo de combustible destilado del petróleo.
- Hidrocarburos: compuestos orgánicos que están conformados por átomos de carbono e hidrógeno.
- HSHFO: En inglés "High Sulphur Heavy Fuel Oil". Término que se les da a los combustibles marinos con contenido de azufre mayor a 0.5%.
- IFO: usado en la industria marítima para determinar el grado de combustible.
- ISO: Organización Internacional de Normalización.
- Máquina principal: Es llamada también motor principal, da la potencia para mover el buque.
- MDO: Conocido como diésel marino, describe a los combustibles marinos que están compuestos de distintas mezclas de destilados.

- MEPC: comité de Protección del Medio Marino.
- MGO: Conocido como gasóleo marino, son los combustibles exclusivamente destilados.
- Motores: Tipo de máquina que transforma la energía química de los combustibles en energía mecánica.
- OMI 2020: Norma que busca minimizar los contenidos de azufre de los combustibles marinos.
- Petróleo crudo: Combustible fósil compuesto en su gran porcentaje por hidrocarburos.
- Purificación: Término general usado en los buques al usar las purificadoras de combustible, a fin de extraer las impurezas.
- Purificador: Maquinaria marítima que retiene el agua y partículas sólidas de los combustibles, protegiendo y extendiendo la vida útil de los motores de combustión.
- Refinación: Es un proceso industrializado donde se elimina las impurezas del petróleo crudo, sacando así sus derivados correspondientes.
- Tanques de almacenamiento: Contener a bordo de los buques mercantes donde se recibe la faena de combustible.
- Tanques de Combustibles: Contenedor seguro para líquidos inflamables.
- Tanques de sedimento: Contener a bordo de los buques mercantes donde se traslada el combustible desde los tanques de almacenamiento para separar el agua y partículas sólidas mediante el proceso de sedimentación.
- Tanques de servicio: Contener a bordo de los buques mercantes donde se almacena el combustible listo para usar en la inyección del motor.

- Termo intercambiador de calor: Es un dispositivo que está diseñado para transferir el calor de un fluido a otro.
- ULSFO: En inglés “Ultra Very Low Sulphur Fuel Oil”. Término que se les da a los combustibles marinos con porcentaje de azufre menor a 0.1%.
- VLSFO: En inglés “Very Low Sulphur Fuel Oil”. Término que se les da a los combustibles marinos con porcentaje de azufre menor a 0.5%.

### ANEXO 3

#### HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS UTILIZADOS EN EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

#### FICHA DE OBSERVACIÓN

| NOTA DE CAMPO |                            |
|---------------|----------------------------|
| 1             | N°:                        |
| <b>2</b>      | <b>Fecha:</b>              |
| 3             | Lugar:                     |
| 4             | Momento de la observación: |
| 5             | Observaciones              |
|               | a                          |
|               | b                          |
|               | c                          |

|                 |   |  |
|-----------------|---|--|
|                 | d |  |
|                 | e |  |
|                 | f |  |
|                 | g |  |
| Interpretación: |   |  |

## GUÍA DE ENTREVISTA

**Categoría de análisis:** Finos catalíticos en la máquina principal

| Subcategoría de análisis | Indicador             | Pregunta de investigación   | Informantes |     |     |     |    |    |      |      |      |      |    |   |
|--------------------------|-----------------------|---|-------------|-----|-----|-----|----|----|------|------|------|------|----|---|
|                          |                       |   | JM1         | JM2 | SM1 | SM2 | TM | CM | OIL1 | OIL2 | TEC1 | TEC2 | SI |   |
| Indicios observados      | Origen                | 1. ¿Cuáles fueron los indicios que dieron origen al problema evidenciado?   | X           |     | X   |     |    |    | X    |      |      |      |    |   |
|                          | Alarmas               | 2. ¿Qué alarmas se activaron previamente al suceso ocurrido?  | X           |     | X   |     |    |    | X    |      |      |      |    |   |
|                          | Cadena de errores     | 3. Según su perspectiva ¿Cuál fue la cadena de errores que originaron el problema a la máquina principal?   | X           |     | X   |     |    |    | X    |      |      |      |    |   |
|                          | Capacitación          | 4. Previo al suceso ¿Se habían realizado capacitaciones sobre las repercusiones operativas por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre? | X           |     | X   |     |    |    | X    |      |      |      |    |   |
|                          |                       | 5. ¿Maneja información con respecto a los daños que pueden ocasionar los finos catalíticos en el motor principal de un buque?                               | X           |     | X   |     |    |    | X    |      |      |      |    |   |
| Componentes afectados    | Inspección inicial    | 6. ¿Cómo se realizó la inspección inicial y que hallazgos relevantes se produjeron?   | X           |     | X   |     |    |    | X    | X    |      |      |    | X |
|                          | Inspección intermedia | 7. ¿Cómo se realizó la inspección intermedia y que hallazgos relevantes se produjeron?  | X           |     | X   |     |    |    | X    | X    |      | X    | X  |   |
|                          | Inspección final      | 8. ¿Cómo se realizó la inspección final y que hallazgos relevantes se produjeron?   |             | X   | X   |     |    | X  |      |      |      | X    | X  |   |

|                      |  |  |  |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |
|----------------------|--|--|--|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|
| Medidas              | Alarma de incendio en sala de máquinas | 9. ¿Qué medidas se tomaron al escuchar la alarma de incendio de la sala de máquinas?   |  | x | x |   | x |  | x | x |   |   | x |
|                      | Buque al garete                        | 10. ¿Qué acciones se tomaron cuando el buque se encontró en la condición de “al garete”?   |  | x | x |   | x |  | x | x |   |   | x |
|                      | Compañía                               | 11. ¿Qué medidas tomó en cuenta ante el suceso reportado?  |  | x | x |   | x |  | x | x |   |   | x |
|                      | Buque                                  | 12. ¿Qué medidas se tomó en cuenta dentro de la gestión interna del buque?   |  | x | x |   | x |  | x | x |   |   | x |
| Lecciones aprendidas | Enseñanzas                             | 13. ¿Qué enseñanzas nos deja este evento suscitado en el buque?  |  | x | x | x |   |  |   | x | x | x | x |
|                      | Mejores prácticas                      | 14. ¿Qué mejores prácticas deben tomarse en cuenta por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre para prevenir aparición de finos catalíticos en el motor principal? |  | x | x | x |   |  |   | x | x | x | x |
|                      | Actividades formativas                 | 15. ¿Considera que deben implementarse actividades formativas en relación con el uso de combustible reglamentario y sus repercusiones operativas en la tripulación de máquinas?        |  | x | x | x |   |  |   | x | x | x | x |

FICHA DE INVESTIGACIÓN

| Área temática        |  | Fecha |  |
|----------------------|--|-------|--|
| <b>Contenido</b>     |  |       |  |
| <b>Observaciones</b> |  |       |  |

|                   |  |
|-------------------|--|
|                   |  |
| <b>Referencia</b> |  |

## ANEXO 4

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



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

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

#### **REPERCUSIONES DE LA PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO "AS FAUSTINA" DE LA NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**"Guía para evaluar la validez de contenido de la información obtenida  
por observación, entrevista y documentación"**

##### **Instrucciones generales:**

A continuación, se plantean una serie de notas de campo, preguntas que forman parte de una guía de entrevista y unidades documentales los cuales representan a la evidencia empírica sobre la cual se recabaron los datos para responder a los objetivos del presente trabajo de investigación.

Para establecer la validez de contenido de las técnicas de recolección de datos, herramientas de recolección de datos y unidades documentales se le ha suministrado un mapa de categoría de análisis, en el cual se establece la relación con cada indicador, subcategoría, categoría de análisis, objetivos específicos y objetivo general.

Para emitir su juicio encontrará la tabla de evaluación específica, dentro de la cual se establecieron un conjunto de parámetros o criterios de evaluación según sea el caso referido con anterioridad.

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 Chozo Cajuzol, Kevin Lenin  
Bachiller en Ciencias Marítimas Gomez Durand, Bruno***

### Operacionalización de la categoría

**Objetivo general:** Señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020.

| Objetivos específicos   | Categoría de análisis | Subcategorías         | Indicadores           | OBSERVACION  |  | ENTREVISTA |  | DOCUMENTACION |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|------------|--|---------------|
|   |                       |                       |                       | Items  | Fuentes  |            |  |               |
| Conocer cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management. |                       | Indicios observados   | Origen                | Nota de campo 1 (08-12-20)<br>Nota de campo 2 (12-02-20)<br>Nota de campo 3 (16-02-20) | 1. ¿Cuáles fueron los indicios que dieron origen al problema evidenciado?<br>2. ¿Qué alarmas se activaron previamente al suceso ocurrido?<br>3. Según su perspectiva ¿Cuál fue la cadena de errores que originaron el problema a la máquina principal?<br>4. Previo al suceso ¿Se habían realizado capacitaciones sobre las repercusiones operativas por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre?<br>5. ¿Maneja información con respecto a los daños que pueden ocasionar los finos catalíticos en el motor principal de un buque? |            |  |               |
|   |                       |                       | Alarmas               |  |  |            |  |               |
|   |                       |                       | Cadena de errores     |  |  |            |  |               |
|   |                       |                       | Capacitación          |  |  |            |  |               |
| Identificar qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management".  | Finos catalíticos     | Componentes afectados | Inspección inicial    | Nota de campo 4 (17-02-20)   | 6. ¿Cómo se realizó la inspección inicial y que hallazgos relevantes se produjeron?  |            |  |               |
|   |                       |                       | Inspección intermedia | Nota de campo 5 (19-02-20)   | 7. ¿Cómo se realizó la inspección intermedia y que hallazgos relevantes se produjeron?   |            |  |               |

|  |                                |  |                         |  |  |  |
|--|--------------------------------|--|-------------------------|--|--|--|
| <p>Señalar qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque containero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management</p> | <p>en la máquina principal</p> | <p>Alarma de incendio en sala de máquinas</p> <p>Buque al garete</p> <p>Compañía</p> <p>Buque</p> <p>Enseñanzas</p> <p>Mejores prácticas</p> | <p>Inspección final</p> | <p>Nota de campo 6 (23-02-20)<br/>Nota de campo 7 (14-03-20)</p> | <p>8. ¿Cómo se realizó la inspección final y que hallazgos relevantes se produjeron?</p> <p>9. ¿Qué medidas se tomaron al escuchar la alarma de incendio de la sala de máquinas?</p> <p>10. ¿Qué acciones se tomaron cuando el buque se encontró en la condición de "al garete"?</p> <p>11. ¿Qué medidas tomó en cuenta ante el suceso reportado?</p> <p>12. ¿Qué medidas se tomó en cuenta dentro de la gestión interna del buque?</p> <p>13. ¿Qué enseñanzas nos deja este evento suscitado en el buque?</p> <p>14. ¿Qué mejores prácticas deben tomarse en cuenta por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre para prevenir aparición de finos catalíticos en el motor principal?</p> | <p>-Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz &amp; Drzewieniecki, 2017)<br/>-La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste</p> |
| <p>Señalar cuáles fueron las lecciones aprendidas que se</p>   |                                |  |                         |  |  |  |

|  |  |                             |                               |  |  |
|--|--|-----------------------------|-------------------------------|--|--|
| <p>obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero "AS Faustina de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.</p> |  | <p>Lecciones aprendidas</p> | <p>Actividades formativas</p> | <p>15. ¿Considera que deben implementarse actividades formativas en relación con el uso de combustible reglamentario y sus repercusiones operativas en la tripulación de máquinas?</p> | <p>del motor (Alfa laval, 2020)<br/>-Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)</p> |
|--|--|-----------------------------|-------------------------------|--|--|

**REPERCUSIONES DE LA PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA  
MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO "AS FAUSTINA" DE LA  
NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**Evaluación Específica de Notas de Campo**

**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 |
|----------------------------|---|---|---|
| Nota de campo 1 (08-12-20) | X |   |   |
| Nota de campo 2 (12-02-20) | X |   |   |
| Nota de campo 3 (16-02-20) | X |   |   |
| Nota de campo 4 (17-02-20) | X |   |   |
| Nota de campo 5 (19-02-20) | X |   |   |
| Nota de campo 6 (23-02-20) | X |   |   |
| Nota de campo 7 (14-03-20) | X |   |   |

**Acotaciones:** *Buscar organizar los eventos de manera coherente  
en razón de los hechos suscitados.*

---



---



---



---



---



---



---

**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    |   |   |   |   |   |   |   |   | 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 |

Observaciones: Ninguno

---

---

---

---

---

---

### 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. Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz & Drzewienieniecki, 2017) | X |   |   |
| 2. La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste del motor (Alfa laval, 2020)   | X |   |   |
| 3. Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)   | X |   |   |

Acotaciones: *Realizar resúmenes de las medidas que sean las más coherentes en razón de los hechos. /*

---

---

---

---

---

---

---

---

**Evaluación General**

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

Si

2. ¿Las notas de campo, guía de entrevista y fuentes de información documentales establecidas permiten alcanzar el objetivo de la investigación?

Si

3. Recomendaciones para mejorar la guía de entrevista

Mejorar

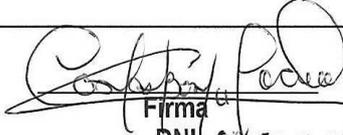
4. Recomendaciones generales para la investigación que se realiza

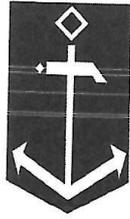
Captar los datos que sean más relevantes y sistematizarlos de uso de campo.

Nombre completo : Carlos Borgo 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.

Actualmente Docente en ENAMM

  
Firma  
DNI: 03 538452  
Fecha: 13-07-20



**ENAMM**  
ALMIRANTE MIGUEL GRAU

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

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

**REPERCUSIONES DE LA PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA  
MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO "AS FAUSTINA" DE LA  
NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**"Guía para evaluar la validez de contenido de la información obtenida  
por observación, entrevista y documentación"**

**Instrucciones generales:**

A continuación, se plantean una serie de notas de campo, preguntas que forman parte de una guía de entrevista y unidades documentales los cuales representan a la evidencia empírica sobre la cual se recabaron los datos para responder a los objetivos del presente trabajo de investigación.

Para establecer la validez de contenido de las técnicas de recolección de datos, herramientas de recolección de datos y unidades documentales se le ha suministrado un mapa de categoría de análisis, en el cual se establece la relación con cada indicador, subcategoría, categoría de análisis, objetivos específicos y objetivo general.

Para emitir su juicio encontrará la tabla de evaluación específica, dentro de la cual se establecieron un conjunto de parámetros o criterios de evaluación según sea el caso referido con anterioridad.

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 Chozo Cajuzol, Kevin Lenin  
Bachiller en Ciencias Marítimas Gomez Durand, Bruno***

### Operacionalización de la categoría

**Objetivo general:** Señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020.

| OBSERVACIÓN  |                       |                       | ENTREVISTA            |   | DOCUMENTACIÓN   |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---|---|
| Objetivos específicos  | Categoría de análisis | Subcategorías         | Indicadores           | Ítems   | Fuentes   |
| <p>Conocer cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.</p> |                       | Indicios observados   | Origen                | <p>Nota de campo 1 (08-12-20)<br/>                     Nota de campo 2 (12-02-20)<br/>                     Nota de campo 3 (16-02-20)</p> | 1. ¿Cuáles fueron los indicios que dieron origen al problema evidenciado?   |
|  |                       |                       | Alarmas               |   | 2. ¿Qué alarmas se activaron previamente al suceso ocurrido?  |
|  |                       |                       | Cadena de errores     |   | 3. Según su perspectiva ¿Cuál fue la cadena de errores que originaron el problema a la máquina principal?   |
| <p>Identificar qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management".</p>  | Finos catalíticos     | Componentes afectados | Capacitación          | <p>Nota de campo 4 (17-02-20)</p>   | 4. Previo al suceso ¿Se habían realizado capacitaciones sobre las repercusiones operativas por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre? |
|  |                       |                       | Inspección inicial    |   | 5. ¿Maneja información con respecto a los daños que pueden ocasionar los finos catalíticos en el motor principal de un buque?                               |
|  |                       |                       | Inspección intermedia |   | 6. ¿Cómo se realizó la inspección inicial y que hallazgos relevantes se produjeron?   |
|  |                       |                       |                       | <p>Nota de campo 5 (19-02-20)</p>   | 7. ¿Cómo se realizó la inspección intermedia y que hallazgos relevantes se produjeron?  |

|  |                         |  |                         |  |   |
|--|-------------------------|--|-------------------------|--|---|
|  | en la máquina principal |  |                         |  |   |
| <p>Señalar qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque containero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management</p> |                         | <p>Medidas</p>   | <p>Inspección final</p> | <p>Nota de campo 6 (23-02-20)<br/>Nota de campo 7 (14-03-20)</p>   | <p>8. ¿Cómo se realizó la inspección final y que hallazgos relevantes se produjeron?</p>  |
| <p>Señalar cuáles fueron las lecciones aprendidas que se</p>   |                         | <p>Alarma de incendio en sala de máquinas</p> <p>Buque al garete</p> <p>Compañía</p> <p>Buque</p> <p>Enseñanzas</p> <p>Mejores prácticas</p> |                         | <p>9. ¿Qué medidas se tomaron al escuchar la alarma de incendio de la sala de máquinas?</p> <p>10. ¿Qué acciones se tomaron cuando el buque se encontró en la condición de "al garete"?</p> <p>11. ¿Qué medidas tomó en cuenta ante el suceso reportado?</p> <p>12. ¿Qué medidas se tomó en cuenta dentro de la gestión interna del buque?</p> <p>13. ¿Qué enseñanzas nos deja este evento suscitado en el buque?</p> <p>14. ¿Qué mejores prácticas deben tomarse en cuenta por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre para prevenir aparición de finos catalíticos en el motor principal ?</p> | <p>-Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz &amp; Drzewieniecki, 2017)</p> <p>-La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste</p> |

|  |  |                             |                               |  |  |
|--|--|-----------------------------|-------------------------------|--|--|
| <p>obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containerero "AS Faustina de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.</p> |  | <p>Lecciones aprendidas</p> | <p>Actividades formativas</p> | <p>15. ¿Considera que deben implementarse actividades formativas en relación con el uso de combustible reglamentario y sus repercusiones operativas en la tripulación de máquinas?</p> | <p>del motor (Alfa laval, 2020)<br/>-Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)</p> |
|--|--|-----------------------------|-------------------------------|--|--|

**REPERCUSIONES DE LA PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA  
MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO "AS FAUSTINA" DE LA  
NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**Evaluación Específica de Notas de Campo**

**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.

| <b>Fuente</b>              |          |          |          |
|----------------------------|----------|----------|----------|
|                            | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
| Nota de campo 1 (08-12-20) | ✓        |          |          |
| Nota de campo 2 (12-02-20) | ✓        |          |          |
| Nota de campo 3 (16-02-20) | ✓        |          |          |
| Nota de campo 4 (17-02-20) | ✓        |          |          |
| Nota de campo 5 (19-02-20) | ✓        |          |          |
| Nota de campo 6 (23-02-20) | ✓        |          |          |
| Nota de campo 7 (14-03-20) | ✓        |          |          |

**Acotaciones:** Ninguna.

---



---



---



---



---



---



---

### 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   |   |   |   |   |   |   |   |   | ✓ |

Observaciones: Ninguna

---

---

---

---

---

---

---

**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. Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz & Drzewienieniecki, 2017) | ✓ |   |   |
| 2. La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste del motor (Alfa laval, 2020)   | ✓ |   |   |
| 3. Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)   | ✓ |   |   |

Acotaciones: Ninguna.

---

---

---

---

---

---

---

### Evaluación General

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

Si

2. ¿Las notas de campo, guía de entrevista y fuentes de información documentales establecidas permiten alcanzar el objetivo de la investigación?

Definitivamente

3. Recomendaciones para mejorar la guía de entrevista

Profundizar en el análisis

4. Recomendaciones generales para la investigación que se realiza

Buses realizar una sistematización adecuada de la información

Nombre completo : Victor Antonio Romeros Lozano

Profesión : Marino Marconite

Grado académico : Superior

Características que lo determinan como experto:

Primer Oficial de máquinas con experiencia en buques  
tenque petroleros y quimiqueros desde el año  
2012.

Firma

DNI

46279216

Fecha:

10-07-20



**ESCUELA NACIONAL DE MARINA  
MERCANTE “ALMIRANTE MIGUEL  
GRAU”**

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

**REPERCUSIONES DE LA PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA  
MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERERO “AS FAUSTINA” DE LA  
NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**“Guía para evaluar la validez de contenido de la información obtenida  
por observación, entrevista y documentación”**

**Instrucciones generales:**

A continuación, se plantean una serie de notas de campo, preguntas que forman parte de una guía de entrevista y unidades documentales los cuales representan a la evidencia empírica sobre la cual se recabaron los datos para responder a los objetivos del presente trabajo de investigación.

Para establecer la validez de contenido de las técnicas de recolección de datos, herramientas de recolección de datos y unidades documentales se le ha suministrado un mapa de categoría de análisis, en el cual se establece la relación con cada indicador, subcategoría, categoría de análisis, objetivos específicos y objetivo general.

Para emitir su juicio encontrará la tabla de evaluación específica, dentro de la cual se establecieron un conjunto de parámetros o criterios de evaluación según sea el caso referido con anterioridad.

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 Chozo Cajuzol, Kevin Lenin  
Bachiller en Ciencias Marítimas Gomez Durand, Bruno***

### Operacionalización de la categoría

**Objetivo general:** Señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020.

| Objetivos específicos   | Categoría de análisis | Subcategorías         | Indicadores           | OBSERVACIÓN  |  | ENTREVISTA |  | DOCUMENTACIÓN |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|------------|--|---------------|
|   |                       |                       |                       | Ítems  | Fuentes  |            |  |               |
| Conocer cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management. |                       | Indicios observados   | Origen                | Nota de campo 1 (08-12-20)<br>Nota de campo 2 (12-02-20)<br>Nota de campo 3 (16-02-20) | 1. ¿Cuáles fueron los indicios que dieron origen al problema evidenciado?<br>2. ¿Qué alarmas se activaron previamente al suceso ocurrido?<br>3. Según su perspectiva ¿Cuál fue la cadena de errores que originaron el problema a la máquina principal?<br>4. Previo al suceso ¿Se habían realizado capacitaciones sobre las repercusiones operativas por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre?<br>5. ¿Maneja información con respecto a los daños que pueden ocasionar los finos catalíticos en el motor principal de un buque? |            |  |               |
|   |                       |                       | Alarmas               |  |  |            |  |               |
|   |                       |                       | Cadena de errores     |  |  |            |  |               |
|   |                       |                       | Capacitación          |  |  |            |  |               |
| Identificar qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management".  | Finos catalíticos     | Componentes afectados | Inspección inicial    | Nota de campo 4 (17-02-20)   | 6. ¿Cómo se realizó la inspección inicial y que hallazgos relevantes se produjeron?  |            |  |               |
|   |                       |                       | Inspección intermedia | Nota de campo 5 (19-02-20)   | 7. ¿Cómo se realizó la inspección intermedia y que hallazgos relevantes se produjeron?   |            |  |               |

|   |                         |         |   |  |  |  |
|---|-------------------------|---------|---|--|--|--|
|   | en la máquina principal |         | Inspección final  | Nota de campo 6 (23-02-20)<br>Nota de campo 7 (14-03-20) | 8. ¿Cómo se realizó la inspección final y que hallazgos relevantes se produjeron?  |  |
| Señalar qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque contenedor "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management |                         | Medidas | Alarma de incendio en sala de máquinas<br><br>Buque al garete<br><br>Compañía<br><br>Buque<br><br>Enseñanzas<br><br>Mejores prácticas |  | 9. ¿Qué medidas se tomaron al escuchar la alarma de incendio de la sala de máquinas?<br>10. ¿Qué acciones se tomaron cuando el buque se encontró en la condición de "al garete"?<br>11. ¿Qué medidas tomó en cuenta ante el suceso reportado?<br>12. ¿Qué medidas se tomó en cuenta dentro de la gestión interna del buque?<br>13. ¿Qué enseñanzas nos deja este evento suscitado en el buque? |  |
| Señalar cuáles fueron las lecciones aprendidas que se   |                         |         |   |  | 14 ¿Qué mejores prácticas deben tomarse en cuenta por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre para prevenir aparición de finos catalíticos en el motor principal?  | -Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz & Drzewieniecki, 2017)<br>-La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste |

|  |                             |                               |  |  |
|--|-----------------------------|-------------------------------|--|--|
| <p>obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero "AS Faustina de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.</p> | <p>Lecciones aprendidas</p> | <p>Actividades formativas</p> | <p>15. ¿Considera que deben implementarse actividades formativas en relación con el uso de combustible reglamentario y sus repercusiones operativas en la tripulación de máquinas?</p> | <p>del motor (Alfa laval, 2020)<br/>-Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)</p> |
|--|-----------------------------|-------------------------------|--|--|

**REPERCUSIONES DE LA PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA  
MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO "AS FAUSTINA" DE LA  
NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**Evaluación Específica de Notas de Campo**

**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 |
|----------------------------|---|---|---|
| Nota de campo 1 (08-12-20) | X |   |   |
| Nota de campo 2 (12-02-20) | X |   |   |
| Nota de campo 3 (16-02-20) | X |   |   |
| Nota de campo 4 (17-02-20) | X |   |   |
| Nota de campo 5 (19-02-20) | ↑ |   |   |
| Nota de campo 6 (23-02-20) |   |   |   |
| Nota de campo 7 (14-03-20) | X |   |   |

Acotaciones: SIN.

---



---



---



---



---



---



---

**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    |   |   |   |   |   |   |   |   | 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 |

Observaciones: SIN.

---



---



---



---



---



---

**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. Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz & Drzewieniecki, 2017) | X |   |   |
| 2. La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste del motor (Alfa laval, 2020)  | X |   |   |
| 3. Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)  | X |   |   |

Acotaciones: Ninguna.

---

---

---

---

---

---

---

---

### Evaluación General

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

Si

2. ¿Las notas de campo, guía de entrevista y fuentes de información documentales establecidas permiten alcanzar el objetivo de la investigación?

Si

3. Recomendaciones para mejorar la guía de entrevista

Ninguna

4. Recomendaciones generales para la investigación que se realiza

Sistematizar la información de manera adecuada.

Nombre completo : *Obalero Herrera Daniel Benjamín*

Profesión : *Morino Merante*

Grado académico : *Superior*

Características que lo determinan como experto:

*Morino Merante, Oficial de Máquinas con experiencias laborales desde el año 2013 en buques mercantes.*

*Experiencias en plantas de generación de gas inerte, motores auxiliares, purificadoras, bombas, compresoras de aire, bombas freno, etc.*

  
Firma  
DNI: 07-07-20  
Fecha: 4598 447U



**ESCUELA NACIONAL DE MARINA  
MERCANTE “ALMIRANTE MIGUEL  
GRAU”**

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

**REPERCUSIONES DE LA PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA  
MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO “AS FAUSTINA” DE LA  
NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**“Guía para evaluar la validez de contenido de la información obtenida  
por observación, entrevista y documentación”**

**Instrucciones generales:**

A continuación, se plantean una serie de notas de campo, preguntas que forman parte de una guía de entrevista y unidades documentales los cuales representan a la evidencia empírica sobre la cual se recabaron los datos para responder a los objetivos del presente trabajo de investigación.

Para establecer la validez de contenido de las técnicas de recolección de datos, herramientas de recolección de datos y unidades documentales se le ha suministrado un mapa de categoría de análisis, en el cual se establece la relación con cada indicador, subcategoría, categoría de análisis, objetivos específicos y objetivo general.

Para emitir su juicio encontrará la tabla de evaluación específica, dentro de la cual se establecieron un conjunto de parámetros o criterios de evaluación según sea el caso referido con anterioridad.

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.

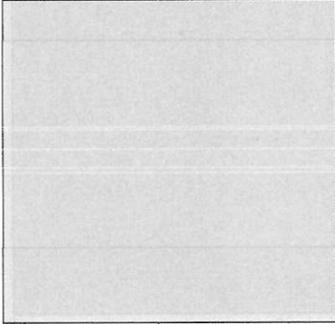
***Muchas gracias por su colaboración  
Bachiller en Ciencias Marítimas Chozo Cajuzol, Kevin Lenin  
Bachiller en Ciencias Marítimas Gomez Durand, Bruno***

### Operacionalización de la categoría

**Objetivo general:** Señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020.

| Objetivos específicos   |                       | Categoría de análisis | Subcategorías      | Indicadores   | Ítems   | Fuentes | DOCUMENTACIÓN |
|---|-----------------------|-----------------------|--------------------|---|---|---------|---------------|
| <p>Conocer cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.</p> | Indicios observados   | Finos catalíticos     | Origen             | <p>Nota de campo 1 (08-12-20)<br/>                     Nota de campo 2 (12-02-20)<br/>                     Nota de campo 3 (16-02-20)</p> | <p>1. ¿Cuáles fueron los indicios que dieron origen al problema evidenciado?<br/>                     2. ¿Qué alarmas se activaron previamente al suceso ocurrido?<br/>                     3. Según su perspectiva ¿Cuál fue la cadena de errores que originaron el problema a la máquina principal?<br/>                     4. Previo al suceso ¿Se habían realizado capacitaciones sobre las repercusiones operativas por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre?<br/>                     5. ¿Maneja información con respecto a los daños que pueden ocasionar los finos catalíticos en el motor principal de un buque?</p> |         |               |
|   |                       |                       | Alarmas            |   |   |         |               |
|   |                       |                       | Cadena de errores  |   |   |         |               |
| <p>Identificar qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque containero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management".</p>  | Componentes afectados | Finos catalíticos     | Capacitación       | Nota de campo 4 (17-02-20)  | <p>6. ¿Cómo se realizó la inspección inicial y que hallazgos relevantes se produjeron?</p>  |         |               |
|   |                       |                       | Inspección inicial | Nota de campo 5 (19-02-20)  | <p>7. ¿Cómo se realizó la inspección intermedia y que hallazgos relevantes se produjeron?</p>   |         |               |

|   |                         |         |   |  |  |  |
|---|-------------------------|---------|---|--|--|--|
|   | en la máquina principal |         | Inspección final  | Nota de campo 6 (23-02-20)<br>Nota de campo 7 (14-03-20) | 8. ¿Cómo se realizó la inspección final y que hallazgos relevantes se produjeron?  |  |
| Señalar qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque containero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management |                         | Medidas | Alarma de incendio en sala de máquinas<br><br>Buque al garete<br><br>Compañía<br><br>Buque<br><br>Enseñanzas<br><br>Mejores prácticas |  | 9. ¿Qué medidas se tomaron al escuchar la alarma de incendio de la sala de máquinas?<br>10. ¿Qué acciones se tomaron cuando el buque se encontró en la condición de "al garete"?<br>11. ¿Qué medidas tomó en cuenta ante el suceso reportado?<br>12. ¿Qué medidas se tomó en cuenta dentro de la gestión interna del buque?<br>13. ¿Qué enseñanzas nos deja este evento suscitado en el buque? |  |
| Señalar cuáles fueron las lecciones aprendidas que se   |                         |         |   |  | 14. ¿Qué mejores prácticas deben tomarse en cuenta por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre para prevenir aparición de finos catalíticos en el motor principal?   | -Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz & Drzewieniecki, 2017)<br>-La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste |

|  |  |                             |                               |  |   |  |
|--|--|-----------------------------|-------------------------------|--|---|--|
| <p>obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque containero "AS Faustina de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.</p> |  | <p>Lecciones aprendidas</p> | <p>Actividades formativas</p> |  | <p>15. ¿ Considera que deben implementarse actividades formativas en relación con el uso de combustible reglamentario y sus repercusiones operativas en la tripulación de máquinas?</p> | <p>del motor (Alfa laval, 2020)<br/>-Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)</p> |
|--|--|-----------------------------|-------------------------------|--|---|--|

**REPERCUSIONES DE LA PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA  
MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO "AS FAUSTINA" DE LA  
NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**Evaluación Específica de Notas de Campo**

**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 |
|----------------------------|---|---|---|
| Nota de campo 1 (08-12-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 2 (12-02-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 3 (16-02-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 4 (17-02-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 5 (19-02-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 6 (23-02-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 7 (14-03-20) | ✓ |   |   |

**Acotaciones:** S/N.

---



---



---



---



---



---



---



---

**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   |   |   |   |   |   |   |   |   | ✓ |

**Observaciones:** SIN.

---

---

---

---

---

---

---

**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.

| <b>Fuente</b>   | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|---|----------|----------|----------|
| 1. Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz & Drzewieniecki, 2017) | ✓        |          |          |
| 2. La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste del motor (Alfa laval, 2020)  | ✓        |          |          |
| 3. Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)  | ✓        |          |          |

**Acotaciones:** SIN

---

---

---

---

---

---

---

---

**Evaluación General**

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

Si  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. ¿Las notas de campo, guía de entrevista y fuentes de información documentales establecidas permiten alcanzar el objetivo de la investigación?

Si  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. Recomendaciones para mejorar la guía de entrevista

Ninguna  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

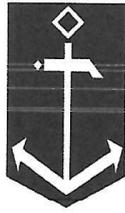
4. Recomendaciones generales para la investigación que se realiza

Buscar plasma, la información de manera que se garantice la validez y confiabilidad del mismo  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Nombre completo : Antonio Flores Herrera  
Profesión : Marino Mercante  
Grado académico : Doctor en Ciencias Marítimas  
Características que lo determinan como experto:

- 15 Años de experiencia a bordo de buques mercantes.
- Experto en asuntos de Protección
- Marina Supervisor de HUNY LNG Operating Company

  
Firma  
DNI 25574624  
Fecha: 17-07-20



**ENAMM**  
ALMIRANTE MIGUEL GRAU

**ESCUELA NACIONAL DE MARINA  
MERCANTE “ALMIRANTE MIGUEL  
GRAU”**

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

**REPERCUSIONES DE LA PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA  
MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO “AS FAUSTINA” DE LA  
NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**“Guía para evaluar la validez de contenido de la información obtenida  
por observación, entrevista y documentación”**

**Instrucciones generales:**

A continuación, se plantean una serie de notas de campo, preguntas que forman parte de una guía de entrevista y unidades documentales los cuales representan a la evidencia empírica sobre la cual se recabaron los datos para responder a los objetivos del presente trabajo de investigación.

Para establecer la validez de contenido de las técnicas de recolección de datos, herramientas de recolección de datos y unidades documentales se le ha suministrado un mapa de categoría de análisis, en el cual se establece la relación con cada indicador, subcategoría, categoría de análisis, objetivos específicos y objetivo general.

Para emitir su juicio encontrará la tabla de evaluación específica, dentro de la cual se establecieron un conjunto de parámetros o criterios de evaluación según sea el caso referido con anterioridad.

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.

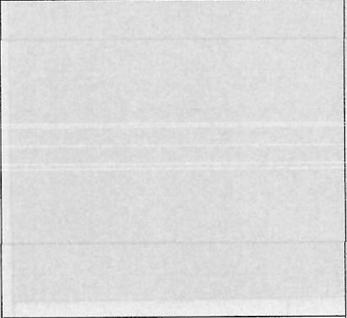
***Muchas gracias por su colaboración  
Bachiller en Ciencias Marítimas Chozo Cajuzol, Kevin Lenin  
Bachiller en Ciencias Marítimas Gomez Durand, Bruno***

### Operacionalización de la categoría

**Objetivo general:** Señalar que repercusiones se originaron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management, 2020.

| Objetivos específicos   | Categoría de análisis | Subcategorías         | Indicadores           | OBSERVACIÓN  |  | ENTREVISTA |  | DOCUMENTACIÓN |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|------------|--|---------------|
|   |                       |                       |                       | Ítems  | Fuentes  |            |  |               |
| Conocer cuáles fueron los indicios que se observaron previamente al suceso relacionado con la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management. |                       | Indicios observados   | Origen                | Nota de campo 1 (08-12-20)<br>Nota de campo 2 (12-02-20)<br>Nota de campo 3 (16-02-20) | 1. ¿Cuáles fueron los indicios que dieron origen al problema evidenciado?<br>2. ¿Qué alarmas se activaron previamente al suceso ocurrido?<br>3. Según su perspectiva ¿Cuál fue la cadena de errores que originaron el problema a la máquina principal?<br>4. Previo al suceso ¿Se habían realizado capacitaciones sobre las repercusiones operativas por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre?<br>5. ¿Maneja información con respecto a los daños que pueden ocasionar los finos catalíticos en el motor principal de un buque? |            |  |               |
|   |                       |                       | Alarmas               |  |  |            |  |               |
|   |                       |                       | Cadena de errores     |  |  |            |  |               |
|   |                       |                       | Capacitación          |  |  |            |  |               |
| Identificar qué componentes de la máquina principal fueron afectados por la presencia de finos catalíticos en el buque contanero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management".  | Finos catalíticos     | Componentes afectados | Inspección inicial    | Nota de campo 4 (17-02-20)   | 6. ¿Cómo se realizó la inspección inicial y que hallazgos relevantes se produjeron?  |            |  |               |
|   |                       |                       | Inspección intermedia | Nota de campo 5 (19-02-20)   | 7. ¿Cómo se realizó la inspección intermedia y que hallazgos relevantes se produjeron?   |            |  |               |

|   |                         |         |   |  |  |  |
|---|-------------------------|---------|---|--|--|--|
|   | en la máquina principal |         | Inspección final  | Nota de campo 6 (23-02-20)<br>Nota de campo 7 (14-03-20) | 8. ¿Cómo se realizó la inspección final y que hallazgos relevantes se produjeron?  |  |
| Señalar qué medidas se tomaron a partir de la parada de la máquina principal por la presencia de finos catalíticos en el buque containero "AS Faustina" de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management |                         | Medidas | Alarma de incendio en sala de máquinas<br><br>Buque al garete<br><br>Compañía<br><br>Buque<br><br>Enseñanzas<br><br>Mejores prácticas |  | 9. ¿Qué medidas se tomaron al escuchar la alarma de incendio de la sala de máquinas?<br><br>10. ¿Qué acciones se tomaron cuando el buque se encontró en la condición de "al garete"?<br><br>11. ¿Qué medidas tomó en cuenta ante el suceso reportado?<br><br>12. ¿Qué medidas se tomó en cuenta dentro de la gestión interna del buque?<br><br>13. ¿Qué enseñanzas nos deja este evento suscitado en el buque?<br><br>14. ¿Qué mejores prácticas deben tomarse en cuenta por el uso de combustible residual con bajo contenido de azufre para prevenir aparición de finos catalíticos en el motor principal? |  |
| Señalar cuáles fueron las lecciones aprendidas que se   |                         |         |   |  | -Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz & Drzewieniecki, 2017)<br>-La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste   |  |

|   |  |                             |                               |  |  |  |
|---|--|-----------------------------|-------------------------------|--|--|--|
| <p>obtuvieron por la presencia de finos catalíticos en la máquina principal del buque contáiner "AS Faustina de la naviera Wilhemsen Ahrenkiel Ship Management.</p> |  | <p>Lecciones aprendidas</p> | <p>Actividades formativas</p> |  | <p>15. ¿Considera que deben implementarse actividades formativas en relación con el uso de combustible reglamentario y sus repercusiones operativas en la tripulación de máquinas?</p> | <p>del motor (Alfa laval, 2020)<br/>-Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)</p> |
|---|--|-----------------------------|-------------------------------|--|--|--|

**REPERCUSIONES DE LA PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA  
MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO "AS FAUSTINA" DE LA  
NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020**

**Evaluación Específica de Notas de Campo**

**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 |
|----------------------------|---|---|---|
| Nota de campo 1 (08-12-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 2 (12-02-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 3 (16-02-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 4 (17-02-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 5 (19-02-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 6 (23-02-20) | ✓ |   |   |
| Nota de campo 7 (14-03-20) | ✓ |   |   |

**Acotaciones:** SIN

---



---



---



---



---



---



---

### 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   |   |   |   |   |   |   |   |   | ✓ |

Observaciones: SIN

---

---

---

---

---

---

**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.

| <b>Fuente</b>  | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|--|----------|----------|----------|
| 1. Problemas operativos en motores diésel de baja velocidad causados por el uso de combustibles de mala calidad con alto contenido de finos catalíticos (Adamkiewicz & Drzewienieniecki, 2017) | ✓        |          |          |
| 2. La rutina diaria: finos catalíticos y desgaste del motor (Alfa laval, 2020)   | ✓        |          |          |
| 3. Daños en motores marinos debido a finos catalíticos en el combustible (Comité Joint Hull, 2013)   | ✓        |          |          |

**Acotaciones:** S/Ny  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### Evaluación General

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

Exactamente

2. ¿Las notas de campo, guía de entrevista y fuentes de información documentales establecidas permiten alcanzar el objetivo de la investigación?

Se corresponden con los objetivos

3. Recomendaciones para mejorar la guía de entrevista

Ninguna

4. Recomendaciones generales para la investigación que se realiza

Percebar categorías a profundidad, las cuales ayudan a establecer ideas principales con la cual se establezcan categorías emergentes concretas.

**Nombre completo** : Jean Pierre Carlagena de la Cruz

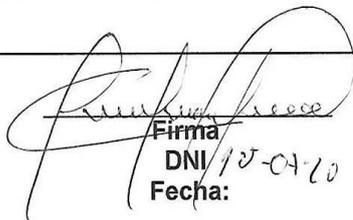
**Profesión** : Marino Mercante

**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 en el extranjero, Actualmente 2<sup>o</sup> Oficial del buque gaseero KEMPTON

  
Firma  
DNI/12-01-70  
Fecha:

## ANEXO 5

### CONSENTIMIENTO INFORMADO APLICADO A MUESTRA COMPUESTA POR SUJETOS

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO

“REPERCUSIONES POR PRESENCIA DE FINOS CATALITICOS EN LA MÁQUINA PRINCIPAL DEL BUQUE CONTAINERO “AS FAUSTINA” DE LA NAVIERA WILHEMSEN AHRENKIEL SHIP MANAGEMENT, 2020”

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 Chozo Cajusol, Kevin Lenin.

-Bachiller en Ciencias Marítimas Gomez Durand, Bruno.

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: