

**ESCUELA NACIONAL DE MARINA MERCANTE**

**ALMIRANTE MIGUEL GRAU**

PROGRAMA ACADÉMICO DE MARINA MERCANTE

ESPECIALIDAD MÁQUINAS



**“NIVEL DE CONOCIMIENTO TEÓRICO DEL TERCER Y CUARTO  
OFICIAL DE MÁQUINAS DE LOS CAMBIOS EN LAS  
OPERACIONES DE MOTORES DIÉSEL MARINO PARA EL  
CUMPLIMIENTO DEL ANEXO VI MARPOL EN LA FLOTA  
REEDEREI NORD 2020”**

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

PRESENTADA POR:

HUAMÁN LINO, YEISON PAÚL

PRADA PARIONA, JAIRO BRYAN ÁNGELO

CALLAO, PERÚ

2020

**“NIVEL DE CONOCIMIENTO TEÓRICO DEL TERCER Y CUARTO  
OFICIAL DE MÁQUINAS DE LOS CAMBIOS EN LAS  
OPERACIONES DE MOTORES DIÉSEL MARINO PARA EL  
CUMPLIMIENTO DEL ANEXO VI MARPOL EN LA FLOTA  
REEDEREI NORD 2020”**

**TÍTULO**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedicamos a nuestros padres, que con mucho esfuerzo nos forjaron a ser mejores cada día, a nuestros maestros que nos brindaron los conocimientos necesarios para desarrollarnos profesionalmente y la gente de mar que cumplen con una noble labor sacrificando mucho. Gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por permitirnos seguir cumpliendo nuestras metas y seguir fomentando la educación, para tener un mejor futuro.

# ÍNDICE

	Página
<b>TÍTULO .....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>19</b>
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	19
1.2. Formulación del problema.....	25
1.2.1. Problema general.....	25
1.2.2. Problemas específicos .....	25
1.3. Objetivos de la investigación .....	26
1.3.1. Objetivo general .....	26
1.3.2. Objetivos específicos .....	26
1.4. Justificación de la investigación .....	27
1.4.1 Justificación teórica.....	27
1.4.2 Justificación práctica .....	27
1.4.3 Justificación metodológica .....	28
1.4.4 Justificación técnica .....	28
1.5. Limitaciones de la investigación .....	29
1.6. Viabilidad de la investigación .....	29
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>30</b>
2.1. Fundamentos teóricos de la investigación .....	30
2.1.1. Antecedentes de la investigación.....	30
2.1.2. Bases teóricas .....	39

2.1.3. Definiciones conceptuales .....	112
2.2. Formulación de la hipótesis.....	114
2.2.1. Hipótesis general .....	114
2.2.2. Hipótesis específicas .....	114
2.2.3. Descripción de variables .....	114
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>116</b>
3.1. Diseño de la investigación.....	116
3.2. Población y muestra.....	117
3.3. Operacionalización de variables .....	118
3.4. Técnicas para la recolección de datos .....	119
3.4.1. Técnicas.....	119
3.4.2. Instrumento .....	119
3.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de los datos.....	122
3.6. Aspectos éticos .....	123
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>124</b>
4.1. Análisis estadístico descriptivo.....	124
4.1.1. Resultados del nivel de conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.....	124
4.1.2. Resultados del nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL .....	126
4.1.3. Resultados del nivel de conocimiento teórico de los cambios de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL .....	127
4.1.4. Resultados del nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL.....	129
4.2. Análisis estadístico inferencial .....	131
4.2.1. Prueba de normalidad.....	131
4.2.2. Prueba de hipótesis general .....	133
4.2.3. Prueba de hipótesis específica 1 .....	135
4.2.4. Prueba de hipótesis específica 2 .....	137
4.2.5. Prueba de hipótesis específica 3 .....	139

<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>142</b>
5.1. Discusión.....	142
5.2. Conclusiones.....	150
5.3. Recomendaciones.....	152
<b>CAPÍTULO VI. FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>154</b>
Referencias bibliográficas .....	154
Referencias hemerográficas .....	154
Referencias electrónicas.....	157
<b>ANEXOS .....</b>	<b>161</b>
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	162
Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables .....	164
Anexo 3. Instrumento para la recolección de datos .....	165
Anexo 4. Constancia de validación del instrumento.....	172
Anexo 5. Prueba piloto confiabilidad.....	177
Anexo 6. Base de datos .....	178
Anexo 7. Evidencias de la investigación .....	179
Anexo 8. Aporte de la investigación .....	181
Guía práctica.....	181

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Niveles de control de emisiones de NO <sub>x</sub> basados en la fecha de construcción del barco.....	56
<b>Tabla 2.</b> Contenido máximo permitido de Azufre en los combustibles marinos. ...	64
<b>Tabla 3.</b> Zonas de control de emisiones SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y PM. ....	70
<b>Tabla 4.</b> Tipos de fueloil según contenido de azufre en %m/m.....	74
<b>Tabla 5.</b> Propiedades del Fuel Oil al momento de elegir un combustible. ....	74
<b>Tabla 6.</b> Características de los combustibles marinos, según norma ISO 8217. .	75
<b>Tabla 7.</b> Descripción de las características de los combustibles marinos.....	76
<b>Tabla 8.</b> Agentes contaminantes en los combustibles que afectan al motor.....	77
<b>Tabla 9.</b> Principales características de los combustibles más utilizados por buques. .....	79
<b>Tabla 10.</b> Operacionalización de la variable. ....	118
<b>Tabla 11.</b> Validez de los instrumentos por juicio de expertos. ....	120
<b>Tabla 12.</b> Criterios para evaluar el nivel de confiabilidad de los instrumentos. ...	121

<b>Tabla 13.</b> Resultados de confiabilidad del instrumento sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. ....	121
<b>Tabla 14.</b> Resultados del nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord.....	125
<b>Tabla 15.</b> Resultados del nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord. ....	126
<b>Tabla 16.</b> Resultados del nivel de conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.....	128
<b>Tabla 17.</b> Resultados del nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord. ....	129
<b>Tabla 18.</b> Resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para la variable la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL y sus dimensiones. ....	132
<b>Tabla 19.</b> Frecuencias obtenidas para la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. ....	134
<b>Tabla 20.</b> Resultados de la prueba Chi-cuadrado para la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. ....	134

<b>Tabla 21.</b> Frecuencias obtenidas para la dimensión conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. ....	136
<b>Tabla 22.</b> Resultados de la prueba Chi-cuadrado para la dimensión conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. ....	136
<b>Tabla 23.</b> Frecuencias obtenidas para la dimensión conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. ....	138
<b>Tabla 24.</b> Resultados de la prueba Chi-cuadrado para la dimensión conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. ....	138
<b>Tabla 25.</b> Frecuencias obtenidas para la dimensión conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL. ....	140
<b>Tabla 26.</b> Resultados de la prueba Chi-cuadrado para la dimensión conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL. ....	140

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Elemento que está entre el eje de cola y el motor, el cual constituye la chumacera con PTO para accionamiento del alternador de cola. ....	48
<b>Figura 2.</b> Diagrama indicado del ciclo de un motor diésel lento de dos tiempos. ....	49
<b>Figura 3.</b> Límites de emisiones de NOx (MARPOL). ....	57
<b>Figura 4.</b> Límites de SOx de los combustibles marinos en las ECAs y fuera de ellas. ....	65
<b>Figura 5.</b> Zonas de control de emisiones (ECAs) y futuras ECAs. ....	71
<b>Figura 6.</b> Sistema de inyección de agua directa de Wärtsilä. ....	97
<b>Figura 7.</b> Sistema de humidificación de la carga de aire. ....	98
<b>Figura 8.</b> Elementos principales del EGR. ....	101
<b>Figura 9.</b> Sistema SCR integrado en el motor. ....	102
<b>Figura 10.</b> Depurador de gases tipo seco, principales componentes. ....	106
<b>Figura 11.</b> Depurador de gases tipo abierto. ....	108
<b>Figura 12.</b> Depurador de gases tipo cerrado. ....	110
<b>Figura 13.</b> Depurador de gases tipo híbrido. ....	111

<b>Figura 14.</b> Resultados del nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord.....	125
<b>Figura 15.</b> Resultados del nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord. ....	127
<b>Figura 16.</b> Resultados del nivel de conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord. ....	128
<b>Figura 17.</b> Resultados del nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord. ....	130

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar el nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord en el 2020. Para ello se estableció una metodología de diseño no experimental, de corte transversal y alcance descriptivo. La población fue de 32 oficiales, conformada por el tercer y cuarto oficial a bordo de la flota Reederei Nord en el 2020, con una muestra de tipo censal evaluando a los 32 oficiales, a quienes se les aplicó mediante la técnica de la encuesta, un cuestionario cuya validez fue determinada por juicio de expertos y confiabilidad obtenida a través de una prueba piloto, reflejando una alta confiabilidad, según la prueba de Kuder–Richardson ( $Kr20$ ) = 0.808).

En los resultados, se obtuvo que el 75% del total de oficiales presenta un alto nivel de conocimiento teórico sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL, el 18.8% presenta un nivel medio, y el 6.3% reporta un nivel bajo, que al contrastar con la probabilidad

esperada se obtuvo un coeficiente de Chi-cuadrado  $X^2 = 8,125$  y un p valor= 0.017, menor al nivel de significancia ( $p < 0.05$ ), conllevando al rechazo de la hipótesis nula (**H<sub>0</sub>**) y la aceptación de la hipótesis general y específicas (**H<sub>a</sub>**) planteadas en la investigación, concluyendo que “*Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord en el 2020*”.

**Palabras claves:** Conocimiento teórico, cambios en las operaciones de motores diésel, cumplimiento del anexo VI MARPOL, contaminación atmosférica.

## **ABSTRACT**

The present investigation had as general objective to determine the level of theoretical knowledge of the third and fourth machinery officer of the changes in the operations of marine diesel engines for compliance with MARPOL Annex VI in the Reederei Nord fleet in 2020. For this, it was established a non-experimental design methodology, cross-sectional and descriptive scope. The population was 32 officers, made up of the third and fourth officers aboard the Reederei Nord fleet in 2020, with a census-type sample evaluating the 32 officers, to whom a questionnaire was applied through the survey technique, whose validity was determined by expert judgment and reliability obtained through a pilot test, reflecting high reliability, according to the Kuder – Richardson test ( $Kr_{20} = 0.808$ ).

In the results, it was obtained that 75% of all officers present a high level of theoretical knowledge about the changes in the operations of marine diesel engines for compliance with MARPOL Annex VI, 18.8% present a medium level, and 6.3 % report a low level, which when contrasting with the expected probability, a Chi-square coefficient  $X^2 = 8.125$  and a p value = 0.017 was obtained, lower than the level of significance ( $p < 0.05$ ), leading to the rejection of the null hypothesis ( $H_0$ )

and the acceptance of the general and specific hypotheses ( $H_a$ ) raised in the research, concluding that “There is a significant level of knowledge about the changes in the operations of marine diesel engines for compliance with Annex VI MARPOL in the third and fourth machine officer of the Reederei Nord fleet in 2020”.

**Keywords:** Theoretical knowledge, changes in diesel engine operations, compliance with MARPOL Annex VI, air pollution.

## INTRODUCCIÓN

El Convenio MARPOL surge tras una sucesión de eventos que acentuaban la problemática de la contaminación marina. Por tal motivo, la comunidad internacional se vio en la necesidad de desarrollar este convenio, el cual tiene como propósito tomar previsiones ante este tipo de riesgos ambientales. Dicho convenio resulta ser el más destacado a nivel internacional y que hace referencia a la contaminación marina por parte de los buques, sin importar si se trata de causas operativas o por accidentes. Este tratado se deriva tras haber unido a los convenios adoptados en 1973 y 1978, los cuales fueron renovados con modificaciones que surgieron durante los últimos años (Pérez, 2014).

Dicho convenio está integrado por seis anexos, destacando como objeto de estudio el Anexo VI del Convenio MARPOL, en el cual se restringen los principales contaminantes atmosféricos contenidos en los gases de escape de los buques producidos por los motores diésel marinos, en particular los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), y se prohíben las emisiones deliberadas de sustancias que agotan la capa de ozono. En dicho Anexo también se regula la incineración a bordo, así como las emisiones de compuestos orgánicos volátiles

(COV) procedentes de los buques tanque. Contiene, además, disposiciones que permiten el establecimiento de Zonas de Control de emisiones (Carlier, 2004).

Estas restricciones han dado paso a modificaciones en los motores diésel, creación de nuevos combustibles y otras soluciones técnicas orientadas a reducir las emisiones de sustancias contaminantes producto de su propulsión, y adaptarse a las normativas vigentes, este hecho ha generado gran atención en la actualidad para las empresas navieras y en especial en los oficiales de máquinas, quienes deben estar preparados para afrontar esta situación, de donde surge el propósito de estudio en determinar el nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord en el 2020.

En este sentido, la investigación se conforma de seis capítulos, el primero corresponde al planteamiento del problema, el segundo al marco teórico, en el tercero se establecen las hipótesis y variables, en el cuarto se tratan los aspectos metodológicos, en el quinto se exponen los resultados y en el sexto la discusión, conclusiones y recomendaciones. Luego se encuentran las fuentes de información y los anexos que sustentan el estudio.

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

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

De acuerdo a los datos publicados por Lloyd's Register Fairplay (LRF, 2018), la flota mundial de barcos ha aumentado significativamente en los últimos años. Para el 2018, las embarcaciones mercantes estaban compuestas por 58.329 unidades que sumaban 1.221.304.891 GT y 1.828.210.804 tpm con un aumento de 529 buques (0,9%), un 3,3% en GT y un 3,2% en tpm. Si bien es cierto que este aumento en la flota genera beneficios comerciales, también repercute considerablemente en la contaminación del ecosistema; no obstante, bajo esta línea ANAVE (2018) señala que se estima una paralización de este crecimiento debido a la llegada de nuevas normas medioambientales, tales como la reducción de emisiones de SOx y NOx a partir de 1 de enero de 2020 y la obligación de tener instalados a bordo los sistemas de gestión del agua de lastre según el calendario establecido por la OMI para finales de este año.

En esta perspectiva, según la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, 2018), para el año 2018, la mayoría de la flota

mundial consume combustibles poco procesados con altas concentraciones de sustancias nocivas, incluyendo el azufre, hidrocarburos, metales pesados, material particulado carcinógeno (MP), entre otros. Por cuanto, Mesa y Correa (2016) afirman que las instituciones han hecho esfuerzos para reducir las emisiones en el transporte marítimo de los gases contaminantes, pero el sacrificio no ha podido reducir significativamente las emisiones en este sector donde se consume más de la quinta parte del combustible a nivel mundial. Es por todo ello que la normativa internacional, en los últimos años ha realizado actualizaciones para aumentar las restricciones de las emisiones.

En este sentido, la Organización Marítima Internacional (OMI, 2018a) señala que el transporte internacional marítimo, a pesar de proporcionar el grueso del comercio internacional por volumen y una importante proporción en valor, representa solo el 11,8% de la contribución total del sector de los transportes a las emisiones, siendo la flota mercante mundial integrada por aproximadamente 90.000 buques, de los cuales, en promedio, la mitad están dedicados al transporte de mercancías. Esto significa que existen unos 120.000 motores diésel marino destinados específicamente a la propulsión de los buques, cuyos motores que desarrollan una gran potencia, conllevando a una alta emisión de gases a la atmósfera. Se ha realizado un estudio comparativo sobre cuáles son los sistemas de propulsión marina más comunes, obteniendo como resultado que alrededor del 95% de los buques opera con motores de combustión o “diésel”, y que solamente el 5% emplea otros sistemas, basados fundamentalmente en la utilización de equipos formados por turbinas de gas, de vapor o incluso en algunos casos por medio de máquinas de vapor alternativas.

De acuerdo a este planteamiento expuesto por la OMI en el 2018, se observa el gran impacto que tiene el comercio marítimo en la emisión de gases contaminantes, dado que en la mayoría de las embarcaciones hasta el 2019 utilizaban motores marinos diésel sin ningún tipo de prevención y estos elevaban de su combustión Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Material particulado (PM), Óxido de azufre (SO<sub>x</sub>), Óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y otros Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) a la atmósfera.

A tal efecto, es evidente que durante los últimos años la propulsión marina ha estado dominada por el motor diésel, cubriendo el combustible gran parte de los gastos del buque. Recientes avances han llevado a muchos en la industria a cuestionarse si los actuales medios de propulsión naval son sostenibles, debido principalmente a tres factores: crecientes costos del combustible afectado cada vez más por el elevado precio del petróleo, normativa ambiental establecida para mitigar los efectos del cambio climático y el potencial establecimiento de sanciones sobre las emisiones contaminantes. El establecimiento de estas medidas en su cumplimiento ha generado a las empresas navieras un impacto de reingeniería en los sistemas de propulsión, mismos que le han propiciado un costo considerable en el ajuste, bien sea por cambio de combustible, adecuación de tecnologías en medios de escape o cambio de motores.

Así mismo, los avances tecnológicos en la industria del transporte marítimo, como las aplicaciones basadas en las cadenas de bloques, el seguimiento de los buques y la carga, los buques autónomos y la internet de las cosas, presentan un potencial para el sector en todo el mundo; sin embargo, persiste la insistencia de proteger y/o mitigar el impacto del cambio climático como una prioridad, cabe mencionar que la industria naviera debe reducir las emisiones de gases de efecto

invernadero. A ese respecto, se acogen con beneplácito los esfuerzos internacionales como la aprobación, en abril de 2018, de una estrategia inicial de la Organización Marítima Internacional (OMI, 2018a) para reducir por lo menos a la mitad el total anual de emisiones producidas por los buques registrado en 2008, a más tardar en 2050. Para ello ha establecido un conjunto de objetivos, acordando la reducción de las emisiones de gases contaminantes, en promedio al menos en un 40% para 2030, respecto a los niveles de 2008, un objetivo que parece ambicioso dadas las limitaciones tecnológicas existentes al día de hoy.

Como parte del trabajo para reducir el impacto nocivo del transporte marítimo en el medio ambiente, la OMI en 1997 adoptó el Anexo VI del Convenio Internacional para la prevención de la contaminación por los buques (Convenio MARPOL). El Anexo VI de MARPOL entró en vigencia en mayo de 2005. El anexo estableció límites para las emisiones de óxido de azufre y de óxido de nitrógeno de los gases de escape de los buques. También contiene una disposición para el establecimiento de Áreas de Control de Emisiones (ECA) con controles más estrictos sobre las emisiones de azufre cerca de las zonas costeras. Las ECAs actuales se encuentran en Norteamérica y el norte de Europa. Algunos otros países han estado implementando sus propios límites en sus aguas territoriales o dentro de los límites del puerto.

Desde una perspectiva de experiencia laboral en la llegada del cumplimiento de la nueva normativa OMI 2020, en esta situación se procedió con un plan para cumplir con dicho estándar internacional. El plan hecho por la empresa consistía en el cambio de combustible de un combustible pesado a uno más ligero, ya que fue una medida viable considerada por la empresa y es así como se llevaron procedimientos para el recibo del nuevo combustible. En un comienzo hubo muchas

dudas en especial por la compatibilidad y comportamiento del nuevo combustible con las maquinarias abordo ya que las propiedades son distintas; las posibles fallas a considerar en ese entonces fueron, atascamientos en los filtros, líneas y/o fallas en los mismos motores si es que no se le daba un correcto tratamiento es así como la empresa mediante *service letters* informaban a las tripulaciones como es que se debe tratar con dicho combustible.

A finales de septiembre se procedió al primer paso de plan, que consistía en el lavado de tanques e implementación de nuevas líneas de drenado con el objetivo de no mezclar el nuevo combustible, además de esto la temperatura en los tanques de almacenamiento cambiarían y es importante mantener el combustible a dichas temperaturas para no tener complicaciones y por ultimo y no menos importante por tener una menor densidad es importante estar pendiente por si hay fugas, ya que el uso prolongado de un combustible más ligero podría generar este tipo de problemas, es así como fue despertando la curiosidad de saber más de este cambio para el cumplimiento de la nueva normativa OMI 2020 y también se tenía conocimiento de otros sistemas aplicados por otras empresas que también son viables, es así como nos decidimos a hacer un estudio de los diferentes sistemas que cumplan con la normativa enfocándonos en el tercer y cuarto oficial de máquinas ya que en ellos recae la responsabilidad del cuidado de dicho combustible y dicho sea también será para los que egresemos de la Escuela Nacional de Marina Mercante Almirante Miguel Grau.

A nivel nacional, el Estado Peruano bajo la supervisión de sus organismos (Dirección General de Capitanes y Guardacostas - DICAPI) están alineados y cumplen las exigencias de los convenios internacionales, cooperando a la preservación del ecosistema al mitigar cualquier aspecto que contribuya con la

contaminación atmosférica. En estas medidas se busca reducir el efecto invernadero que ocasionan los gases contaminantes producto de la combustión de los motores, mismos que perjudican a las costas, el suelo, el agua, la salud de los seres vivos y la atmósfera, por tanto, a nivel global se persigue conforme a los convenios establecidos para su prevención.

De tal manera, en términos generales, el Anexo VI del Convenio MARPOL y las revisiones posteriores, buscan controlar las emisiones en el aire de los barcos, incluidos los óxidos de azufre (SOx), los óxidos de nitrógeno (NOx), las sustancias que agotan el ozono (ODS) y los compuestos orgánicos volátiles (VOC). Dado que la liberación de estas sustancias se ha relacionado con la contaminación atmosférica local y global, problemas de salud humana y ambiental.

Por cuanto la entrada en vigencia de las normativas para la mitigación de emisiones contaminantes a la atmósfera, indudablemente ha afectado las capacidades operacionales de las empresas navieras en sus respectivas embarcaciones, de la cual la empresa Reederei Nord no ha sido exenta, exigiendo a los oficiales de máquinas una alta capacitación para responder a estas regulaciones. En el estudio y análisis de un conjunto de medidas para establecer cuáles son las alternativas más viables de adecuar en las embarcaciones y cumplir con los límites establecidos para las emisiones de NOx (aplican a los motores diésel marinos instalados con una potencia de salida de más de 130 kW), emisiones Sox y de materia particulada (aplican a los equipos y los dispositivos de combustión de todo tipo de fueloil), bien sea mediante cambio de combustibles o soluciones técnicas para mitigar las emisiones, durante o después de los procesos de combustión.

Por ende, en base a lo expuesto, el nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas acerca de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del Anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord, se hace imprescindible, dado que el no saber las exigencias internacionales y los avances tecnológicos para contener las emisiones de gases, recae en una falta grave al ejercicio de sus funciones, por cuanto la manipulación inadecuada de los equipos de propulsión puede generar algún accidente y poner en riesgo su vida y la de toda la tripulación. En virtud de todo este planteamiento se fue despertando el interés del estudio y sustenta la siguiente interrogante.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord en el 2020?

### **1.2.2. Problemas específicos**

1. ¿Cuál es el nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord?
2. ¿Cuál es el nivel de conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord?

3. ¿Cuál es el nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord?

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

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

Determinar el nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord en el 2020.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Determinar el nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.
2. Determinar el nivel de conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.
3. Determinar el nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

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

### **1.4.1 Justificación teórica**

La actual investigación responde a la percepción de la nueva regulación aprobada por la OMI que obliga a los barcos a reducir un contenido máximo de óxido de azufre del 0.5% masa/masa frente al actual 3.5%, sustancia que contribuye a la contaminación ambiental y a la destrucción de la capa de ozono. A simple vista, el cambio de combustible podría parecer la medida más económica y sencilla de aplicar ya que no implica una modificación de las infraestructuras de los buques, pero la disponibilidad de fueloil de contenido en azufre inferior al 0.5% no es tan alta como la de otros combustibles, por lo que la oferta y la demanda podrían encarecerlo. Es por ello, que se requiere evaluar desde el punto de vista teórico de toda la normativa y su impacto en las operaciones de máquinas de una empresa naviera; es en este sentido, que este estudio aportará las bases teóricas recolectadas de diversos autores para el análisis de la temática expuesta y sus resultados proveerán un sustento teórico a futuros investigadores.

### **1.4.2 Justificación práctica**

El presente trabajo de investigación, aborda el tema de los principales conocimientos en los oficiales que exige la nueva normativa relacionada con la reducción de emisiones de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) en las operaciones de máquinas de una empresa naviera, la cual se incorpora en las medidas de prevención de la contaminación atmosférica; por lo que se hace necesario, estudiar las implicaciones del caso en las diferentes embarcaciones para el cumplimiento de tal regulación. Por ende, la aplicabilidad del estudio tiene el propósito de garantizar una perspectiva en la práctica, al conocer de cerca los impactos que genera la

implementación de la nueva normativa, gestionando un panorama situacional a la empresa en las necesidades teóricas que demanda su personal para adecuarse a esta regulación, de donde se pueden sustentar estrategias de capacitación para fortalecer las debilidades detectadas.

### **1.4.3 Justificación metodológica**

El desarrollo de esta investigación en un futuro puede ser considerado como un antecedente, sirviendo de apoyo técnico para futuros trabajos investigativos desde el punto de vista metodológico. Por cuanto el estudio esboza una consistencia metódica que permitió el logro de los objetivos propuestos, mismos que se respondieron al emplear técnicas de investigación como el análisis documental, elaboración de instrumentos tipo cuestionario y análisis de datos mediante procesamiento en softwares estadísticos presentando resultados concretos que conllevaron a la formulación de conclusiones y sugerencias enlazadas a las necesidades de la empresa naviera.

### **1.4.4 Justificación técnica**

La investigación propuesta busca mediante la aplicación de la teoría y los conceptos básicos acerca de la contaminación atmosférica producto de los gases emanados de los motores marinos, proponer una guía al campo marítimo, en especial a los oficiales de máquina, que especifique los hallazgos de la investigación y realce los efectos al ecosistema de los contaminantes derivados de los motores diésel, y las implicaciones de las principales regulaciones destinadas a prevenir las mismas; las características de los combustibles, sus requerimientos y medidas de atención que contempla su cambio en los motores, así como las diferentes tecnologías que se pueden anexar a este equipo de propulsión para

prevenir la contaminación, dado que todos estos puntos les exige a los oficiales de máquina un grado de conocimiento en las operaciones de una empresa naviera.

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

El presente estudio tuvo como limitación los pocos trabajos investigativos en la temática planteada para ser utilizados como antecedentes; sin embargo, se utilizaron estudios que se encontraron en la web y en la biblioteca de las universidades nacionales en relación al tema central de la investigación. Cabe mencionar, uno de los principales retos fue encontrar información estadística de la empresa naviera para ser utilizados en el estudio, siendo uno de las principales limitantes las “trabas administrativas” en los procedimientos regulares que presentan las empresas navieras a nivel internacional; así como las exigencias en los permisos pertinentes al contemplar una unidad de análisis favorable.

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

La viabilidad de la actual investigación se basó primordialmente en los recursos humanos y materiales con los se contaron para la realización de la misma. En este sentido, se contó con excelentes asesores en la Escuela Nacional de Marina Mercante Miguel Grau (ENAMM). Adicionalmente, se contó con los expertos en la temática, primordialmente en la elaboración y validación de los instrumentos utilizados y en la unidad de análisis, en este caso una empresa naviera para aplicar los instrumentos de evaluación, permitiendo el análisis de las variables planteadas.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, no se requirió de recursos costosos; por ende, todas las exigencias que se demandaron en el desarrollo del estudio fueron cubiertas a cabalidad por los autores.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Fundamentos teóricos de la investigación**

#### **2.1.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1.1. Nacionales.**

Quispe y Castrejon (2018) en su trabajo de investigación titulado: *Importancia de la regulación OMI sobre emisiones de SOx en el transporte marítimo para el año 2020*, presentado en la Escuela Nacional de Marina Mercante Almirante Miguel Grau, tuvo como principal objetivo evaluar las posibles soluciones para el cumplimiento de la regulación OMI y poder reducir las emisiones de SOx en el transporte marítimo para el año 2020. La metodología utilizada se basó en un estudio de enfoque cualitativo, con una población conformada por todas las entidades de movilización y legislación de transporte marítimos involucrados con la problemática. La técnica utilizada para la recolección de datos fue a través de la observación y la lectura de documentos publicados. Los resultados muestran que la utilización del GNL (Gas Natural Licuado) como energía alternativa es la más rentable, en base a la regulación OMI sobre las emisiones de SOx, ya que al reducir el límite de emisiones de SOx a 0.5%,

el mismo tendrá positivamente un impacto, no solo en la conservación de la atmósfera sino también en la preservación de la salud humana y el ecosistema, por lo que al reducir las grandes cantidades de azufre en el planeta se puede obtener una mejora a nivel mundial. Concluyendo que el uso de GNL como una energía alternativa para la propulsión de buques es la alternativa más rentable porque cumple con las regulaciones de la OMI para las emisiones de SOx, incluidas las emisiones de NOx, CO2 y partícula adicional, ya que los precios del GNL son más económicos en el mercado internacional.

Cabrera y Huerta (2017) en su tesis que lleva por título *Conocimiento del anexo VI del convenio MARPOL en los cadetes de tercer año de la Escuela Nacional de Marina Mercante "Almirante Miguel Grau" 2017*. Se planteó como objetivo general determinar el nivel de conocimiento del anexo VI del convenio MARPOL de los cadetes antes mencionados, haciendo uso de una metodología tipo básica, de diseño no experimental, transeccional y descriptiva. Con una población integrada por los cadetes de cubierta de tercer año, llevando a cabo un muestreo de tipo censal, abordando a 50 cadetes, a quienes se les aplicó un instrumento aprobado por expertos y con alta confiabilidad (Alfa de Cronbach 0.736). Los resultados fueron que el 50% de los cadetes de tercer año de la Escuela Nacional de Marina Mercante "Almirante Miguel Grau", 2017, presentaron un nivel de promedio de conocimiento del anexo VI del convenio MARPOL. Concluyendo que los cadetes de tercer año de la especialidad de cubierta de la Escuela Nacional de Marina Mercante "Almirante Miguel Grau" poseen un nivel de conocimiento significativo sobre las regulaciones orientadas a prevenir la contaminación atmosférica de los buques, comprobándose la hipótesis general afirmativa de la variable estudiada.

Cobeñas y Valverde (2016) elaboraron su trabajo investigativo titulado: *Plan de gestión de eficiencia energética del buque y el control de la contaminación atmosférica en la naviera Transgas Shipping Lines 2014 – 2015*. Tesis de grado presentada en la Escuela Nacional de Marina Mercante "Almirante Miguel Grau", Lima, Perú. Tuvo como objetivo determinar la relación que existe entre el Plan de Gestión de Eficiencia Energética del Buque (SEEMP) y el control de la contaminación atmosférica en la naviera Transgas Shipping Lines en el 2015. La metodología utilizada fue analítica, deductiva e hipotética, con un diseño no experimental, nivel descriptivo correlacional, enfoque cuantitativo y de corte transversal. La población estuvo constituida por 31 oficiales de la marina mercante con una muestra no probabilística conformada por 31 oficiales de la marina mercante vinculados al Plan de Gestión de Eficiencia Energética del Buque (SEEMP). La técnica de recolección de información fue mediante la aplicación de dos instrumentos, uno para cada variable, tipo encuesta con una escala de Likert. Los resultados descriptivos demostraron que la mayoría de los encuestados estuvieron dentro del renglón "bueno" en ambas variables, así como en las respectivas dimensiones. Se utilizó la prueba no paramétrica de Chi Cuadrado, en el cual se obtuvo un  $p$  valor=0.044, siendo menor que el nivel de significancia previamente establecido ( $p < 0.05$ ), aceptándose la hipótesis del investigador ( $H_i$ ). Por lo tanto, se concluye que: "Existe relación significativa entre la aplicación del Plan de Gestión de Eficiencia Energética del Buque y el control de la contaminación atmosférica en la naviera Transgas Shipping Lines, 2014 – 2015".

Reluz y Montes (2015) elaboraron su trabajo de investigación titulado: *Emisión de gases tóxicos por buques de la naviera transoceánica que cargan en la refinería La Pampilla, año 2014*. Tesis de grado presentada en la Escuela Nacional

de Marina Mercante Almirante Miguel Grau, Lima – Perú. Estableció en su objetivo general determinar cuál es la relación existente entre la contaminación del aire presente a nivel nacional y la emisión de gases tóxicos los cuales son generados por los buques de la Naviera Transoceánica mientras que estos ejecutan las operaciones de carga que se llevan a cabo en la refinería La Pampilla. La metodología utilizada fue de tipo aplicado y de diseño no experimental, principalmente del tipo descriptivo y correlacional de corte transversal. En cuanto a la población, la misma se conformó por 30 personas que estaban a cargo del medio ambiente en la Autoridad Portuaria Nacional, Ministerio del Medio Ambiente, además del personal que forma parte de la refinería La Pampilla, con una muestra no probabilística de 20 personas. El análisis estadístico se realizó mediante la recolección de datos y respuestas de la encuesta aplicada. Los resultados de la investigación reportan la inexistencia de una solución ante este problema de contaminación atmosférica; sin embargo, se ha planteado una posible solución, la cual radica en la implantación de un sistema de recuperación de vapores, el cual es una forma de controlar de manera más eficiente la emisión de gases tóxicos, los cuales luego serán procesados en tierra y no serán expulsados al medio ambiente. Entre sus conclusiones destaca que, haciendo referencia a las emisiones al aire, en esta se alcanzó establecer límites, que aunque no son tan elevados, no resultan suficientes para reducir las emisiones sin perjudicar al quehacer marítimo. En virtud de ello, el Anexo VI del Convenio MARPOL 73/78 posee ciertos acápites que hacen un intento de que los buques y refinerías puedan estimular el empleo de nuevas tecnologías y así disminuir las emisiones que causan daños en el medio ambiente.

Carranza y Galiano (2014), en su investigación titulada: *Percepción, conocimiento y accionar de los oficiales de marina mercante que laboran en*

*empresas navieras peruanas respecto a la gestión ambiental marítima*, presentada en la Escuela Nacional de Marina Mercante, Almirante Miguel Grau, tuvo como objetivo enfocar y analizar el sistema de gestión a través de los oficiales de marina mercante que laboran en las empresas navieras peruanas. En ellos se buscó evaluar el nivel de percepción, conocimiento y accionar en referencia a la gestión ambiental marítima. Para demostrarlo, ellos usaron una metodología de tipo teórica, descriptiva y no experimental, y se consideró a 195 oficiales, a quienes se les realizaron encuestas. En los resultados se determinaron que si bien el (56%) tiene la percepción adecuada de lo que implica la gestión ambiental marítima, un 30% lo relaciona con solo la contaminación del medio ambiente, cuando la gestión ambiental implica un concepto más alto, mientras que un 10% lo relaciona con la protección de la naturaleza y ecosistemas y un 4% con los recursos naturales. Se concluyó en esta investigación, que más de la mitad de los oficiales que laboran en empresas navieras peruanas tienen una idea óptima de lo que es gestión ambiental marítima, mientras que el resto no, también se encontró que más de la mitad de las personas encuestadas tenían desconocimiento de los aspectos de la gestión ambiental ni tampoco tomaban acción frente a la gestión ambiental, siendo las personas que lo hacían solo el 36%.

#### **2.1.1.2. Internacionales.**

Sendín (2019) en su tesis de maestría titulado: *Soluciones para combatir la contaminación producida por los gases de escape en un buque RO/PAX*, presentada en la Escuela Técnica Superior de Náutica de la Universidad de Cantabria, España, tuvo como objetivo desarrollar medidas que lleven a la reducción de la contaminación producida por la emisión de NOx y SOx de un buque RO/PAX. La metodología utilizada fue de diseño experimental de campo. Los

resultados muestran que se ha instalado un depurador, el cual estará configurado para limpiar los gases de escape producidos por los dos motores principales del buque para que se pueda seguir usando el mismo combustible. Dado que el puerto que está navegando no restringe la liberación de agua de descarga del purificador, además se utilizaron circuitos abiertos que reducirán significativamente la instalación, aunque en el futuro se puede adaptar a un circuito híbrido. Se concluye que la instalación del depurador generará un gasto económico muy importante, los cuales los armadores tendrán que evaluar el más adecuado para poder ser implementado en los buques, además estas inversiones podrán ser retornables a corto y mediano plazo, por otro lado, al cambiar un combustible con bajo contenido de azufre como es el caso de un LSHFO o MGO va a generar a largo plazo un gasto aún mayor.

Queijo (2016) realizó su trabajo de investigación titulado: *Ingeniería Marina: comparativa entre motores diésel y de gas natural para propulsión marina*, tesis de grado presentada en la Universidad de La Coruña, La Coruña – España, que tuvo como objetivo desarrollar un análisis de las normas internacionales que buscan reducir la contaminación atmosférica que se genera por los motores marinos y seleccionar motores menos contaminantes. La metodología utilizada fue de tipo científica aplicada, experimental, tecnológica y bibliográfica. En cuanto a los resultados tenemos que, puesto que el gas natural es un combustible fósil, como también lo es el petróleo, y en especial, si las normas para disminuir la contaminación permanecen en la tendencia y continúan reduciendo los límites de NOx y de SOx, es posible que aquellos que fabrican motores se vean obligados a optar por buscar nuevamente otra opción de fuente de energía alternativa. Los motores duales de MAN, a pesar de no alcanzar reducir el SFOC de los motores

duales de Wärtsilä, tienen a su favor el hecho de que pueden ofrecer una tecnología asentada en plantas de generación de energía eléctrica terrestres, misma tecnología que ofrece que se reduzcan costos notoriamente de la operación del motor, pero sin la opción de garantizar que sus motores no disminuyan la disponibilidad de los navíos. Motores más complejos han sido el resultado del proceso evolutivo de los motores marinos, los cuales requieren a personal competente que se encargue de los procesos operativos y de mantenimiento. Se concluye que a lo largo de su existencia, los motores diésel marino han pasado por transformaciones que les han permitido hacerlos funcionar de forma más eficiente y desde algunos años atrás también se han encargado de reducir sus emisiones, lo cual le ha permitido adaptarse a las normas en vigencia. Para reducir las emisiones de SO<sub>x</sub>, el gas natural resulta una opción alternativa de combustible apropiada pues la composición del mismo apenas contiene azufre. Con relación a los NO<sub>x</sub>, el gas natural contribuye a su disminución, sin embargo, las emisiones de este componente continúan siendo elevadas.

Pérez (2014) elaboró su trabajo investigativo titulado: *Análisis de la aplicación del Anexo VI del Convenio MARPOL en la flota española*. Tesis de maestría en la Diplomatura Navegación Marítima de la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España. Tuvo como objetivo analizar la aplicación del Anexo VI del convenio MARPOL en la flota española. La metodología fue analítica, de diseño no experimental y de revisión bibliográfica. Los resultados indicaron que la contaminación atmosférica se plantea como una de las amenazas principales que en la actualidad arriesgan la conservación de la Tierra, esto significa un problema serio que genera consecuencias negativas en el medio ambiente, los ecosistemas, la biodiversidad y la salud humana. Desde este punto de vista, adoptar el Convenio

MARPOL en 1973, resultó ser un factor decisivo que ayudó a concentrar la atención del ámbito naviera en el medio ambiente. Luego, se procedió a agregar al convenio el Anexo VI acerca de la prevención de la contaminación atmosférica que es originada por las embarcaciones, a pesar de que la entrada en vigencia llegó a darse en 2005, esto representó un paso relevante que demostró un progreso en la lucha contra la contaminación de la atmósfera. En la actualidad, el Convenio MARPOL es reconocido como una de las herramientas de carácter internacional más relevantes que contribuyen a la prevención de la contaminación por los buques, y las cifras proporcionadas por la OMI reflejan que la contaminación marítima se ha reducido con el transcurrir del tiempo, debido a la aplicación de esta norma. Conservar el medio ambiente resulta un elemento esencial para la preservación de los ecosistemas y la biodiversidad, en este sentido, resulta fundamental que se aplique el Convenio MARPOL y específicamente el Anexo VI de este convenio, con el cual se previene la contaminación de la atmósfera que se produce por los buques a nivel mundial y no solo en España. Se concluye que, aplicar la normativa del Anexo VI del Convenio MARPOL, mediante el Reglamento de Inspección y Certificación de los navíos civiles en España, finalizando que esta norma es aplicada mediante los reconocimientos de embarcaciones pertenecientes a la flota española y su entrega ulterior de la certificación concerniente concorde se ha rebasado este reconocimiento. Del mismo modo, estos reconocimientos son realizados por los inspectores y funcionarios de la administración pública. En último lugar, se estudió la presencia de un régimen que ejecuta sanciones con el propósito de mantener un control de las infracciones vinculadas a la prevención de la contaminación de la atmósfera producida por los buques con las medidas de sanción para los aparentes infractores.

Medina (2016) en su trabajo de grado titulado: *Emisiones de azufre en zonas ECA (Emission Control Areas), procedimiento de cambio de combustible para buques RO/RO*, presentado en la Universidad de la Laguna, Tenerife, España, el cual tuvo como principal objetivo demostrar la viabilidad de realizar los procedimientos y métodos exigidos por el Convenio MARPOL y, en consecuencia, la eficiencia en cuanto a emisiones de SO<sub>x</sub>. La metodología utilizada es experimental de campo. La población estuvo conformada por 17 tripulantes a bordo, divididos en tres departamentos. La muestra fue el buque RO/RO Galicia. Los resultados mostraron que se decide cancelar los métodos de reducción de azufre en combustibles como la purificación de gases de escape por métodos de plantas de tratamiento de aguas residuales o el uso de combustibles como GNL y usar en este caso el MGO como combustible bajo en azufre, ya que se ha demostrado que cumple con los requisitos del Convenio MARPOL y se ajusta a los límites de azufre establecidos en el código técnico en función a la emisión de combustibles como diésel, para dejar atrás el consumo de combustible con alto contenido de azufre, como los IFO 380. Se concluye que una vez realizado el estudio previo del impacto que tiene el transporte marítimo en la contaminación atmosférica a escala mundial, se ha evidenciado la gran importancia que tiene el reducir las emisiones de azufre y otros agentes contaminantes en los combustibles marinos, por lo que se insta a las organizaciones marítimas a continuar con el desarrollo de nuevos acuerdos, códigos y propuestas en pro de mejorar las emisiones de agentes contaminantes y así poder reducir el impacto medioambiental que se produce a causa de estos.

López (2015) en su tesis doctoral titulada: *Evaluación de las consecuencias de la nueva regulación de la OMI sobre combustibles marinos*, presentada en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Navales, Madrid - España, tuvo como

principal objetivo determinar la existencia de combustibles marinos que acaten los nuevos límites establecidos de azufre o cuál es el valor de los nuevos combustibles. Se utilizó una metodología de cálculo común explicada gráficamente en un diagrama de flujo. Se tomó una muestra poblacional determinada de relevancia para realizar los cálculos correspondientes. Los resultados muestran que el cálculo de la demanda de combustible diésel en el Mediterráneo es el primer estudio realizado en esta área con datos reales y que se utilizará para evaluar los resultados de la reciente decisión de la Unión Europea de reducir el contenido de azufre para todos los buques que se encuentren en aguas territoriales en el año 2020, o bien de la posible adopción del Mediterráneo como nueva zona ECA. Se concluye que el único combustible que se consume cumple con los nuevos requisitos de la OMI en la zona ECA, y que desde 2020 a 2025 en todo el mundo hasta un 0,1% de diésel, no habrá combustible con un contenido tan bajo de azufre a un precio menor o en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades del sector marítimo. En el caso de que los buques no inviertan en nuevos sistemas de propulsión, los mismos deberán por obligación, cambiar su consumo actual de combustible a diésel, este cambio de combustible plantea muchos riesgos en años en diferentes ámbitos.

### **2.1.2. Bases teóricas**

#### **2.1.2.1. Convenio MARPOL.**

Según Pérez (2014), una serie de acontecimientos que afectaban a la contaminación marina dieron lugar a la comunidad internacional, quienes decidieron iniciar a constituir un convenio para prevenir estos riesgos; de allí surge el Convenio MARPOL, cuya abreviatura es Contaminación Marítima (*Marine*

*Pollution*); este representa el convenio internacional fundamental que hace referencia a las medidas para prevenir la contaminación marítima generada por los buques, bien sea por motivos operacionales o por accidentes. Este convenio es el fruto de la unión entre dos tratados acogidos en 1973 y 1978, de forma respectiva, actualizados debido a modificaciones que se dieron con el pasar de los años. Este Convenio estableció prevenir la contaminación de las embarcaciones y el mismo fue adoptado el 2 de noviembre de 1973 por la Organización Marítima Internacional (OMI), la cual es un organismo perteneciente a las Naciones Unidas y el cual está especializado en el tema de Seguridad de la Navegación y la Prevención de la Contaminación generada por los buques.

Por su lado, Acevedo (2017) señala que el primer borrador del Convenio MARPOL es del año 1973, los antecedentes que propiciaron su creación comenzaron a principios del siglo XX, cuando se produjo la industrialización y se aumentó la demanda de hidrocarburos y el tráfico marítimo mundial, la nueva era de la globalización. El Convenio MARPOL a su vez, se creó para prevenir la contaminación por los buques, siendo el principal convenio internacional que versa sobre la prevención de la contaminación del medio marino por los navíos. Adoptado en 1973 con un importante protocolo de 1978, creado a raíz de los accidentes ocurridos entre los años 1976 y 1977. Otro de los protocolos del Convenio MARPOL es el que se creó en 1997 y entró en vigor en el año 2005 por el que se produjeron actualizaciones y se han incorporado enmiendas.

Gómez (2013) afirma que la OMI es un organismo internacional especializado en asuntos marítimos y que ha llegado a ser la organización más efectiva y dinámica del sistema de las Naciones Unidas. Esto gracias al apoyo entregado por los Estados miembros que la componen, lo que ha hecho posible

avanzar notablemente en el logro de los objetivos que ella persigue, lo que se traduce en una “navegación segura” en mares más limpios. Asimismo, los logros más sobresalientes han sido la creación de un sólido cuerpo de Convenios Internacionales, Códigos y Recomendaciones técnicas que al ser desarrollados en el seno de la comunidad marítima han podido ser fácilmente aceptados por ella. Además, por intermedio de su programa de cooperación técnica, la organización ha ayudado a los países a implementar uniforme y efectivamente los convenios aprobados.

De acuerdo a la Organización Marítima Internacional (OMI, 2019a), el convenio MARPOL está integrado por seis anexos, cuyo contenido son reglas que abarcan las diversas fuentes de contaminación por los buques, los cuales son los siguientes:

- **Anexo I:** Reúne el reglamento de prevención de la contaminación marítima originada por Hidrocarburos.
- **Anexo II:** Establece la prevención de la contaminación generada por sustancias nocivas líquidas que han sido movilizadas a granel.
- **Anexo III:** Reúne un conjunto de reglas que establecen la prevención de la contaminación generada por sustancias perjudiciales en forma de bultos, mismas que resultan diferentes al Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas.
- **Anexo IV:** Reglas para prevenir la contaminación causada por las Aguas Sucias de los Buques.
- **Anexo V:** Reglas para prevenir la contaminación por las basuras.
- **Anexo VI:** Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los Buques. (OMI, 2019a)

Último anexo (Anexo VI) que será de objeto de estudio para la actual investigación, destacando los conocimientos necesarios en los oficiales de máquina deben poseer para prevenir la contaminación atmosférica, específicamente por las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) y óxido de azufre (SOx).

#### **2.1.2.2. Anexo VI Convenio MARPOL.**

El anexo VI del Convenio MARPOL entró en vigor el 19 de mayo de 2005, el hace alusión a prevenir la contaminación atmosférica causada por los gases de exhaustación provenientes de los motores y los vapores de las cargas líquidas. De acuerdo a Carlier (2004), el Anexo VI del Convenio MARPOL se encarga de determinar los límites que deben tener las emisiones tanto de óxidos de azufre y nitrógeno que se originan por los gases que producen las embarcaciones, prohibiendo las emisiones deliberadas de estas sustancias que solo deterioran la capa de ozono, además de la incineración a bordo de sustancias específicas que corresponden a materiales de embalaje, envases que están contaminados y de difenilos policlorados (PCB). En dicho anexo también se contemplan las disposiciones que aprueban que se establezcan las Zonas de Control de las Emisiones de SOx, haciendo énfasis en tener controles más estrictos con respecto a la emisión de azufre, restringiendo dicho contenido en el cielo empleado a bordo de las embarcaciones.

Según la Organización Marítima Internacional (OMI, 2018a) sostiene en su publicación "*Prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques*" que el Anexo VI reflejado en el Convenio MARPOL y que fue adoptado en 1997, establece limitar los principales contaminantes de la atmósfera que contienen los gases de escape de los navíos, específicamente de los óxidos de azufre y de

nitrógeno, además de prohibir las emisiones deliberadas de las sustancias que perjudican a la capa de ozono. Este Anexo también agrega las regulaciones sobre el proceso de incineración a bordo y la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) que salen de los buques tanque. Luego de que el Anexo VI entró en vigor el 19 de mayo de 2005, el Comité de Protección del Medio Marino (MEPC) acordó su revisión en el 53° periodo de sesiones en julio de 2005, esto con la finalidad de disminuir los límites máximos de emisión desde las mejoras tecnológicas con las que ya se contaban y la experiencia que se adquiere mediante la implantación. Luego de tres años de pruebas, en octubre de 2008 el MEPC 58 adoptó el Anexo VI revisado del Convenio MARPOL y del Código Técnico conexo acerca de los NOx 2008, los cuales entraron en vigencia el 1 de julio de 2010. Además, se han realizado otras enmiendas que serán detalladas más adelante en la presente investigación.

Boned (2013) describe que el Anexo VI está desglosado en tres Capítulos (Generalidades; Reconocimiento, Certificación y Medios de control; y Prescripciones para el control de las emisiones de los buques), donde se desarrollan 18 reglas destinadas a la prevención de la contaminación, así mismo, el anexo constituye varios apéndices que aclaran las disposiciones, certificaciones y procesos.

En este sentido, a nivel nacional, el Estado Peruano aplica y hace cumplir mediante la Dirección General de Capitanes y Guardacostas (DICAPI), como autoridad marítima, las regulaciones de los sectores competentes y los Convenios Internacionales y otros instrumentos referidos al ámbito marítimo (Ley N° 26620). Aprobando normas con la finalidad de prevenir la contaminación de la atmósfera producida por los buques (Resolución Directoral N° 0024-2010-DCG), en virtud de

ratificar su compromiso al “*Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*”, mediante el cual se busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero como los óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), clorofluorocarburos (CFC), óxidos de carbono (COx), Halones, entre otros. Para lo cual, a la fecha se vienen poniendo en marcha estrategias para abordar la reducción de la emisión de los referidos gases en sus propias fuentes; dado que, los buques tienen la particularidad de emanar gases de efecto invernadero como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los cuales, según lo informado por la Organización Marítima Internacional, contribuyen aproximadamente al 7% de las emisiones mundiales y en el caso de los Halones que también son emitidos por los buques aproximadamente al 10% del total mundial (Resolución Legislativa N° 27824).

Cabe destacar que en el presente estudio nos abocamos directamente a estudiar y evaluar la Regla 13: Óxidos de nitrógeno (NOx) y la Regla 14: Óxidos de azufre (SOx), directrices que están referidas directamente a las operaciones de los motores diésel como medidas preventivas de la contaminación atmosférica.

### **2.1.2.3. Motores diésel marinos.**

Pérez (2014), señala en base al Convenio MARPOL, una definición de motor diésel marino, el cual “se entiende como todo motor alternativo de combustión interna que funcione con combustible líquido o mixto y al que se le aplique la regla 13 del Anexo VI, incluidos los sistemas de sobrealimentación o mixtos, en caso de que se empleen” (p.72).

De acuerdo a Peña (2016), desde la creación del motor marino, este ha tenido avances significativos y que significan un gran progreso, no solo en las

mejoras del rendimiento sino también en los componentes del mismo y los materiales empleados en este. Estos motores diésel forman parte del género de los motores térmicos, en estos la energía química del combustible pasa a ser energía térmica de forma directa en el cilindro. El proceso funciona de la siguiente manera, el aire ingresa al cilindro junto al combustible inyectado, se constituye la mezcla de trabajo que se auto inflama debido a la temperatura elevada obtenida al final del ciclo de la compresión, además de la reacción química del combustible con el oxígeno del aire. El proceso de combustión dio como resultado que dentro del cilindro se originan productos gaseosos con temperatura elevada y presión. La eficiencia del proceso de combustión tiene como característica particular la cantidad de calor desprendida en el volumen del cilindro del trabajo.

Por su lado, Casanovas (2010) argumenta que la propulsora funciona como una serie de calderas dentro de las cuales se utilizan predominante fueloil con la finalidad de calentar agua y crear vapor de alta presión, este es enviado a las turbinas las cuales al mismo tiempo hacen girar a los ejes de las hélices a través de los engranajes de reducción. Las plantas de vapor se caracterizan por ser muy silenciosas cuando funcionan a baja velocidad. Su desventaja radica en el tiempo que se necesita en horas para encender las calderas antes de emprender la salida a la mar.

De acuerdo a Peña (2016) la clasificación de los motores instalados en los buques de distintos tipos, se realiza en función a distintas características:

- Conforme al número de carreras que se necesitan para desempeñar el ciclo de trabajo (la cual es la característica fundamental de los motores):

–**De cuatro tiempos.** Si se trata de motores de velocidad media, estos suelen ser motores de cuatro tiempos con cilindrada considerablemente menor (30 a 200 dm<sup>3</sup>/cilindro) que los motores de velocidad baja. Se emplean como motores de propulsión de embarcaciones con menores dimensiones, de carga general, navíos roll-on/roll-off, cruceros y ferris, además los motores como auxiliares de embarcaciones con mayor tamaño para generar energía o para refrigerar. Normalmente estos son sobrealimentados mediante el post-enfriamiento y cuentan con dos válvulas de admisión y de escape por cilindro, que se inyecta de forma mecánica a través de un inyector por cilindro. Generalmente poseen de 6 a 18 cilindros.

- **De dos tiempos.** Por lo general, los motores de baja velocidad son los motores de dos tiempos que cuentan con grandes desplazamientos de hasta 3 m<sup>3</sup>/cilindro y son empleados para la propulsión de embarcaciones graneleras, buques cisterna de gran tamaño, portacontenedores, ciertos buques roll-on/roll-off y de carga general. Estos, comúnmente son turboalimentados con post-enfriamiento y se caracterizan por tener entre una válvula de escape (lentos) y cuatro válvulas de escape por cilindro (semi-lentos). Las lumbreras se ubican alrededor de la parte inferior del cilindro, estos son orificios de admisión por los que entra el aire de barrido al cilindro. La admisión es controlada por el pistón, debido a que destapa o se encarga de cubrir los puertos de admisión. A pesar de que en los últimos años se ha implementado la inyección electrónica debido a sus ventajas, típicamente se utiliza una inyección de combustible

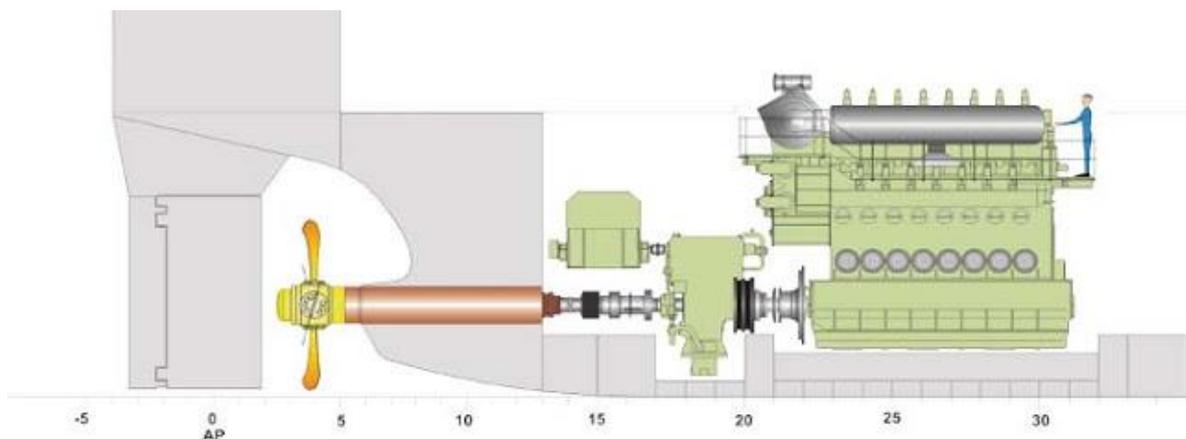
mecánica. Generalmente, la inyección electrónica tiene de 4 a 20 cilindros.

- De acuerdo a su construcción:
  - **Motores de tronco:** se refiere a los motores en los que la guía del pistón viene siendo la falda de este.
  - **Motores de cruceta:** en estos motores, la guía del pistón es constituida por los patines desplazados a través de las guías paralelas.
- De acuerdo a la configuración de los cilindros:
  - En línea.
  - En V.
- De acuerdo a la velocidad de giro del eje de cigüeñales (rpm):
  - Motores de bajas revoluciones entre 100 y 350.
  - Motores de medias revoluciones entre 350 y 750.
  - Motores de altas revoluciones entre 750 y 2500.

### **Características de los Motores diesel marinos**

El número de compañías que diseñan y construyen este tipo de motores con sus propias licencias, se han visto reducidas en la década de los 80 y 90 (del siglo XX) debido a absorciones y fusiones entre compañías, y por el abandono de la producción de otras. Las compañías que todavía compiten en el mercado son tres: MAN B&W Diesel; Wärtsilä Corporation que absorbió a Sulzer; y Mitsubishi Heavy Industries que también diseña y fabrica motores con tecnología propia.

Los motores más utilizados son los de baja velocidad, estos trabajan como máximo hasta 240 rpm, o una frecuencia de hasta 4 revoluciones por segundo (Hz). Las velocidades de giro en los motores más grandes, con carreras de pistón ultra largas, pueden ser de 90 rpm o incluso menos. Esto permite que estén directamente conectados al eje de cola sin engranajes reductores, girando la hélice a las mismas revoluciones por minuto que el motor.

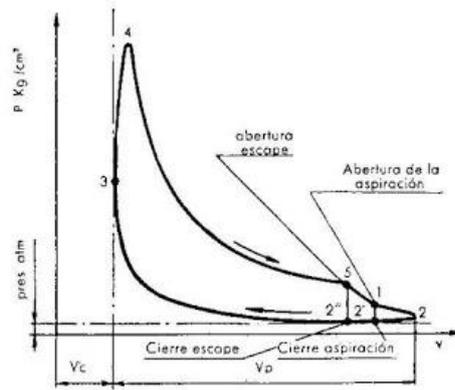


**Figura 1.** Elemento que está entre el eje de cola y el motor, el cual constituye la chumacera con PTO para accionamiento del alternador de cola.

Fuente: Rodríguez (2018, p.2).

Los motores lentos fabricados actualmente se caracterizan por operar en el ciclo de dos tiempos diésel, con barrido uniflujo con válvulas de escape en culata, turbo soplante y enfriador de aire de admisión.

El ciclo de dos tiempos se realiza en dos carreras, es decir cada ciclo dura una vuelta,  $360^\circ$  de giro de cigüeñal, cada vez que el pistón llega al PMS (punto muerto superior) se produce la inyección y combustión en el interior del cilindro, por tanto el árbol de levas que comanda las válvulas de escape y bomba de inyección debe girar a las mismas revoluciones que el cigüeñal.



**Figura 2.** Diagrama indicado del ciclo de un motor diésel lento de dos tiempos.

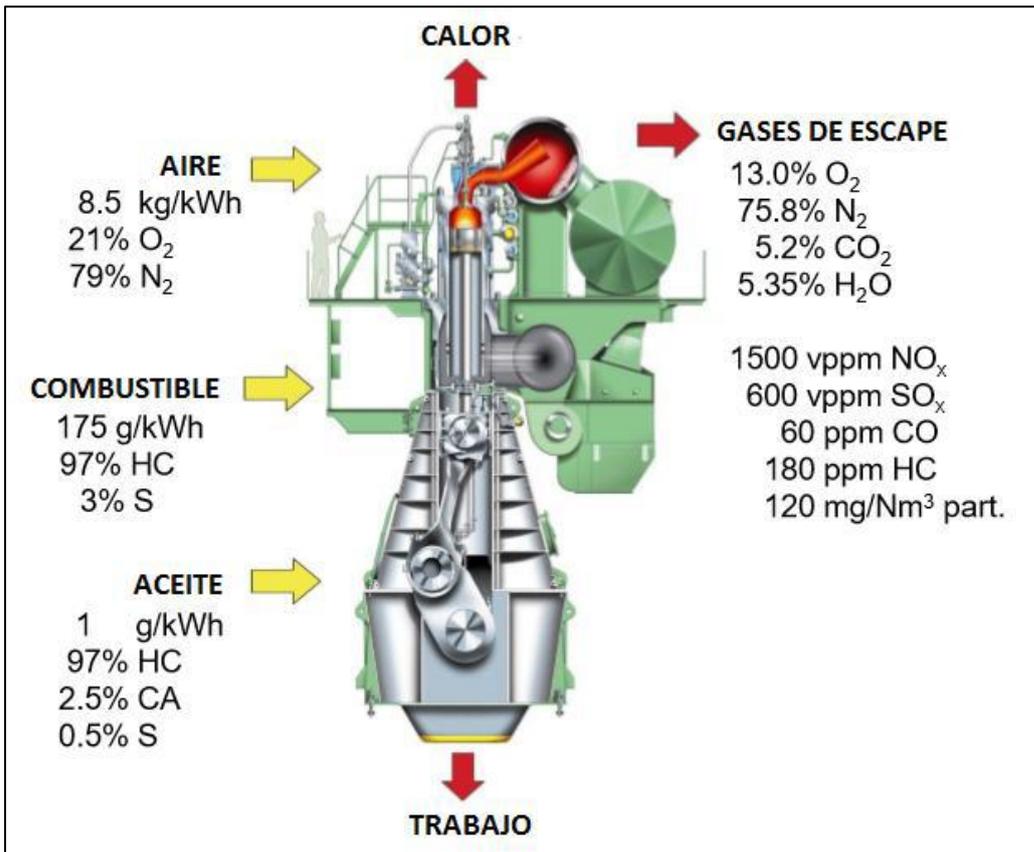
Fuente: Rodríguez (2018, p.3).

En los motores modernos la admisión de carga fresca (aire) es por medio de lumbreras localizadas en la parte baja del cilindro, mientras que la evacuación de los gases quemados es por medio de una única, pero de gran tamaño, válvula de escape de accionamiento hidráulico y situada en la culata de cada cilindro, el sistema se conoce como barrido uniflujo y proporciona una buena eficacia de barrido en motores con carreras del émbolo largas y ultra largas. El aire entra por la parte inferior del cilindro, atravesando las lumbreras con una orientación determinada, aplicando al aire una elevada velocidad tangencial que hace que ascienda describiendo una trayectoria helicoidal. De esta forma se llenan muy bien los espacios dentro del cilindro y se evita que queden restos de gases quemados.

Los motores controlados electrónicamente se introdujeron en el mercado a partir del año 2002, con las versiones de control electrónico; MAN B&W ME y Sulzer RT-flex, las cuales partían respectivamente de los modelos ya establecidos MAN B&W MC y Sulzer RTA.

## **Contaminantes atmosféricos procedentes de motores diésel marinos**

Peña (2016) refiere que los contaminantes más destacados en las emisiones de escape diésel, provienen directamente del proceso de combustión del diésel por sí mismo. Las concentraciones acostumbradas de las emisiones de los gases de escape producidas por los motores diésel marinos constituyen una importante porción de nitrógeno con un aproximado de 76%, oxígeno de 13%, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de un aproximado de 5% y 5% de vapor de agua, aproximadamente. Conteniendo cantidades de contaminantes en menor proporción como: Óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) de 1500 ppm, Óxido de Azufre (SO<sub>x</sub>) de 600 ppm, un aproximado de 60 ppm de Monóxido de Carbono (CO), de forma parcial reaccionado e hidrocarburos no quemados (HC) de 180 ppm y de materia particulada (PM) con 120 mg/Nm<sup>3</sup> de manera aproximada. De acuerdo al tipo de motor, esta composición de la mezcla de gases, líquidos y sólidos emitidos al aire van a variar, añadiendo otras características del motor como su potencia y las condiciones en que funciona, además del combustible y lubricante de tipo aceite y si el sistema de control se encuentra presente.



**Figura 1.** Principales componentes de los gases de escape de un motor diésel marino.

Fuente: Según MAN D&T (Peña, 2016, p.51).

- **Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

Peña (2016) sostiene que los óxidos de nitrógeno hacen referencia a una agrupación de emisiones de óxido nítrico (NO), de dióxido nítrico (NO<sub>2</sub>) y de trazas de otros que se producen durante la combustión. La combustión generada por un combustible fósil, sin importar de cuál se trate, genera un nivel específico de NO<sub>x</sub>, debido a las elevadas temperaturas y a que existe disponibilidad de oxígeno y de nitrógeno en el aire y en el combustible. Las emisiones de NO<sub>x</sub> que se generan en este proceso se constituyen por un 90 a 95% de NO, el porcentaje restante corresponde al NO<sub>2</sub>. En el momento en que los gases de escape dejan la chimenea, una gran porción del NO pasa a oxidarse en la atmósfera, convirtiéndose en NO<sub>2</sub>. Estando en el ambiente comienza la intervención en un conjunto de reacciones que

generan contaminantes secundarios. El  $\text{NO}_2$  tiene la capacidad de reaccionar con la luz solar y con radicales de hidrocarburos, originando el smog fotoquímico y la conocida lluvia ácida. En este sentido existen dos mecanismos regulares para la formación de los  $\text{NO}_x$ , estos son el térmico y el combustible.

De este planteamiento se vislumbra la gran cantidad de gases contaminantes que pueden ser emanados de los motores marinos, su análisis lleva a entender su funcionamiento, aspecto que Mesa y Correa (2016) explican con claridad al sostener que

Los procesos de combustión producen productos como los óxidos de nitrógeno. A las altas temperaturas que se alcanzan en los procesos de combustión, el nitrógeno que normalmente es inerte, reacciona con el oxígeno y forma el óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). Estos gases se les conoce como óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). (p.32)

De igual manera Pérez (2014) sostiene que los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) pasan a constituirse durante los procesos de combustión y esto se debe a que se presenta una reacción del nitrógeno presente en el aire con el oxígeno a temperaturas elevadas, debido a la reacción del nitrógeno del combustible con el oxígeno del aire y debido al mecanismo *prompt*, por el que por un ataque de radicales libres se originan los  $\text{NO}_x$ .

- **Óxido de azufre ( $\text{SO}_x$ )**

La formación de los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) en los gases de escape es originada debido al proceso de oxidación de esta sustancia elemental en el combustible y en otras sustancias como monóxido de azufre ( $\text{SO}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) durante el proceso de combustión. En este sentido, el monóxido de azufre genera una reacción con el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y se produce el dióxido de azufre

(SO<sub>2</sub>) a temperaturas elevadas. De acuerdo al contenido de azufre del combustible que ha sido empleado, dependerá la cantidad de emisiones de dióxido de azufre y esta no puede ser controlada mediante el proceso de combustión. Agregando que el trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) no podrá ser creado durante la combustión cuando se ve en condiciones ricas en combustible aun cuando la combustión esté próxima al punto estequiométrico. No obstante, si se presenta incluso un exceso de aire del 1%, el trióxido de azufre incrementa velozmente en su cantidad. (Peña, 2016).

Pérez (2014) también expone que este contaminante “se forma debido al contenido en azufre del combustible empleado. Por este motivo el gas natural se empieza a concebir como un combustible alternativo en la propulsión de buques por estar exento de azufre” (p.73).

Mesa y Correa (2016) añaden que los óxidos de azufre son el resultado del contenido de azufre en los combustibles marinos. Durante los procesos de combustión, el azufre reacciona rápidamente con el oxígeno y forma el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Y una parte de este azufre puede formar trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) que en contacto con agua forma el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Estos ácidos son arrastrados por la lluvia y al igual que los NO<sub>x</sub>, son los causantes de la lluvia ácida, provocando graves problemas al medio ambiente y a la salud de la población.

- **Óxido de carbono**

Mesa y Correa (2016) señalan que los principales óxidos de carbono son el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El CO es producido por la combustión incompleta del combustible ya que no llega a oxidarse completamente para formar CO<sub>2</sub> (combustión completa). El monóxido de carbono es una sustancia altamente tóxica en la salud mientras que el dióxido de carbono

se encuentra de forma natural en la naturaleza, pero en altas concentraciones tiene un papel fundamental en el efecto invernadero.

Pérez (2014) señala que debido a una combustión deficiente se produce el monóxido de carbono (CO), también puede originarse por ausencia de aire o por exceso de combustible. Si se observa una columna de humo negro, esta resulta ser un indicador que señala la presencia de este gas en el escape. Por su parte, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se genera por la combustión completa del carbono.

- **Material particulado (PM)**

Hablar de la materia particulada significa mencionar que esta se trata de un término genérico que abarca una diversa clase que reúne a distintas sustancias físicas y químicas. El material particulado puede estar caracterizado con partículas discretas que pueden existir tanto en fase líquida como sólida y que abarcan múltiples órdenes de magnitud en tamaño. Por lo general, las partículas finas se producen debido a los procesos de combustión y a las transformaciones de las emisiones gaseosas, como es el caso del SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> en la atmósfera. De acuerdo a la región y a la meteorología, dependerán las propiedades físicas y químicas de PM<sub>2.5</sub>, mismas que pueden variar de acuerdo a los elementos mencionados. Por ende, PM<sub>2.5</sub> puede incorporar una mezcla compleja que reúna a distintos contaminantes, como es el caso de sulfatos, nitratos, compuestos orgánicos y metálicos y carbono elemental. Este tipo de partículas puede llegar a permanecer en la atmósfera por días o semanas e incluso transportarse a través de cientos de kilómetros en el ambiente (Peña, 2016).

Por su parte, Pérez (2014) señala que las partículas sólidas se generan debido a un proceso de combustión incompleto. La ausencia de aire o el excedente

de combustible, aumentan su formación, esta llega a depender también de la calidad que tenga el combustible que se haya utilizado. Los *Heavy Fuel Oil* (HFO), son combustibles que de forma significativa generan estos compuestos, a diferencia de los combustibles gaseosos y del *Marine Diesel Oil* (MDO). La OMI no hace referencia en determinar los límites de emisión de este tipo de partículas, prevenir la contaminación se regula desde la calidad del HFO y por esto se rige por la normativa que la emisión de los óxidos, según explica la Regla 14.

Aunado a esto, los estados miembros se rigen por los convenios internacionales, en virtud de contribuir a la prevención de la contaminación atmosférica a nivel global, dado que los agentes contaminantes que emiten los motores diésel en su combustión perjudican la salud de la población, el ecosistema y las infraestructuras en general. En este particular, Peña (2016) señala que los óxidos de nitrógeno que provienen de los procesos de combustión desencadenan una relevante inflamación de las vías respiratorias. Mientras que los óxidos de azufre producen irritación en la mucosa ocular y pueden llegar a perjudicar el sistema respiratorio generando infecciones e incluso bronquitis crónica. Si llegase a exponerse de forma crónica a estas partículas, se incrementa el riesgo de desarrollar enfermedades respiratorias como es el caso del cáncer de pulmón, y padecimientos cardiovasculares. En el caso de los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y el amoníaco NH<sub>3</sub>, llegan a que se acidifique el suelo, los lagos y ríos, llegando a provocar la pérdida de la vida tanto animal como vegetal. Los materiales y edificios pueden verse perjudicados con la corrosión originada por la acidificación de los compuestos, como es el caso de los óxidos de azufre SO<sub>x</sub> y de nitrógeno NO<sub>x</sub>, además del dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, estos pueden llegar a causar daños incluso en las edificaciones más importantes para el ámbito cultural.

#### 2.1.2.4. Regulaciones para reducir las emisiones NOx y Sox.

El Anexo VI del Convenio MARPOL abarcó cambios que se destacaron, como es el caso de la disminución progresiva de las emisiones tanto de SOx, NOx y de materia particulada, de forma global, además de la creación de las Zona de Control de las Emisiones (ECA), con la finalidad de disminuir, todavía más, las emisiones de contaminantes de la atmósfera en las áreas marítimas designadas.

#### Regla 13 – Óxido de nitrógeno (NOx)

De acuerdo a la OMI (2019b), estos requisitos de control de NOx del Anexo VI se aplican a los motores diésel marinos instalados con una potencia de salida de más de 130 kW, exceptuando los utilizados únicamente con fines de emergencia, independientemente del tonelaje del barco en el que se instalen dichos motores. Se aplican diferentes niveles de control basados en la fecha de construcción del barco, un término definido en las regulaciones y dentro de cualquier nivel particular, el valor límite real se determina a partir de la velocidad nominal del motor.

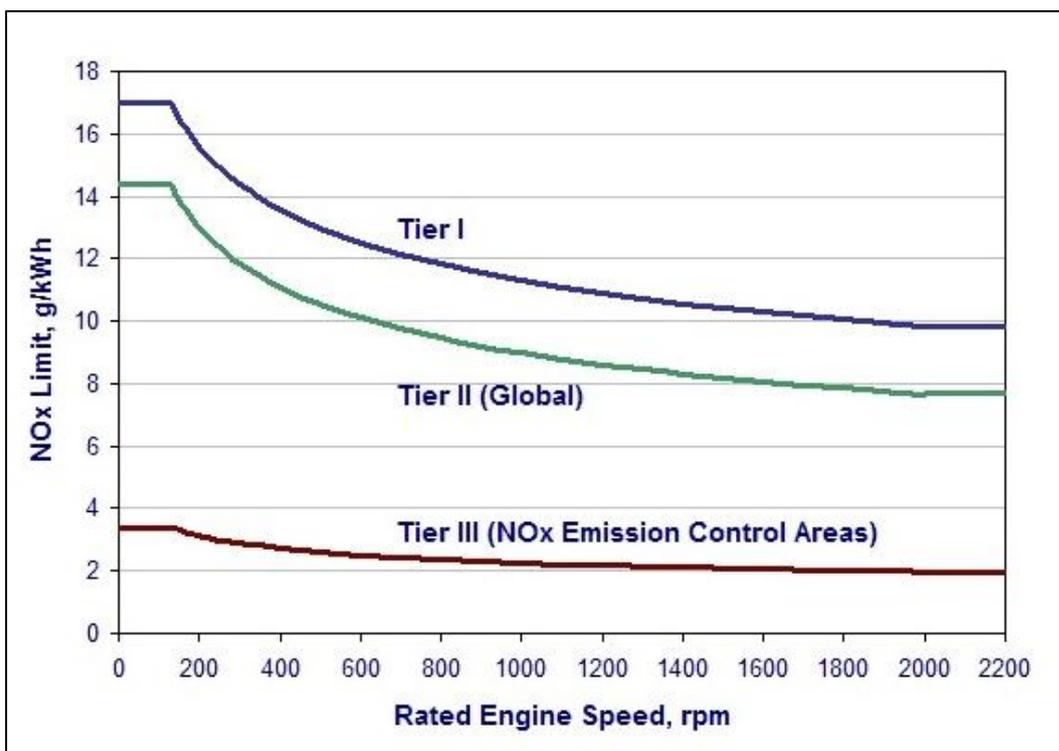
**Tabla 1.** Niveles de control de emisiones de NOx basados en la fecha de construcción del barco.

Nivel	Fecha de construcción del buque	Valor límite de emisión ponderada total del ciclo (g/kWh) n = régimen nominal del motor (rpm = revoluciones por minutos)		
		n < 130	n = 130 – 1999	n >= 2000
I	01/01/2000	17.0	45.n <sup>(-0.2)</sup> por ejemplo, al sustituir n= 720 rpm, el límite NOx sería = 12.1 g/kWh	9.8
II	01/01/2011	14.4	44.n <sup>(-0.23)</sup> por ejemplo, al sustituir n= 720 rpm, el límite NOx sería = 9.7 g/kWh	7.7
III	01/01/2016*	3.4	9.n <sup>(-0.2)</sup> por ejemplo, al sustituir n= 720 rpm, el límite NOx sería = 2.4 g/kWh	2.0

Fuente: OMI (2019b).

Los controles de Nivel III se aplican solo a los buques especificados mientras operan en Áreas de Control de Emisiones (ECA) establecidas para limitar las emisiones de NOx, fuera de dichas áreas se aplican los controles de Nivel II. De acuerdo con la regla 13.5.2, ciertos barcos pequeños no tendrían que instalar motores Tier III. Sin embargo, todo motor diésel marino que se instale en un buque construido a partir del 1 de enero de 2016 y que navegue en la ECA de Norteamérica y del mar Caribe de los Estados Unidos deberá cumplir lo dispuesto en las normas de nivel III sobre las emisiones de NOx (OMI, 2019b).

Por su parte, Méndez (2017) explica estos niveles establecidos en el Anexo VI MARPOL, a través del siguiente diagrama.



**Figura 3.** Límites de emisiones de NOx (MARPOL).

Fuente: Méndez (2017).

De acuerdo a Méndez (2017), los niveles de emisiones son los siguientes:

- **TIER I.** Se refiere a la prohibición del funcionamiento de todo motor diésel marino que esté instalado en un navío construido entre el 1 de enero de 2000 y el 1 de enero de 2011 (a excepción de lo que se ha mencionado antes), a menos que la cantidad de óxidos de nitrógeno expulsados por el motor estén dentro de los límites.

[n] es el régimen nominal del motor (revoluciones por minuto del cigüeñal)

17 g/kWh si  $n$  es inferior a 130 rpm.

$45 n^{-0.2}$  si  $n$  es igual o superior a 130 rpm, pero inferior a 2000 rpm.

9,8 g/kWh si  $n$  es igual o superior a 2000 rpm.

- **TIER II.** Está prohibido la actividad de todo motor diésel marino que esté instalado en una embarcación construida (fuera de las excepciones mencionadas) el 1 de enero de 2011 o con fechas posteriores, salvo que la cantidad de óxidos de nitrógeno emanados por el motor, estén dentro de los límites.

[n] es el régimen nominal del motor (revoluciones por minuto del cigüeñal)

14,4 g/kWh si  $n$  es inferior a 130 rpm.

$44 n^{-0.2}$  si  $n$  es igual o superior a 130 rpm, pero inferior a 2000 rpm.

7,7 g/kWh si  $n$  es igual o superior a 2000 rpm.

- **TIER III.** En el caso que el buque se encuentre funcionando en el Área de Control de Emisiones, está prohibida la actividad de todo motor diésel marino

ubicado en una embarcación construida (fuera de las excepciones mencionadas) desde el 1 de enero de 2016 o posterior, a no ser que la cantidad de óxidos de nitrógeno emanados por el motor estén ubicados dentro de los límites.

[n] es el régimen nominal del motor (revoluciones por minuto del cigüeñal)

3,4 g/kWh si  $\langle n \rangle$  es inferior a 130 rpm.

$9 n^{-0.2}$  si  $n$  es igual o superior a 130 rpm, pero inferior a 2000 rpm.

2,0 g/kWh si  $n$  es igual o superior a 2000 rpm.

En el caso del que buque desarrolle sus operaciones fuera de la Zona de Control de Emisiones, este debe acatar aquello establecido en el TIER II. En abril de 2014, el MEPC 66, se encargó de acoger un conjunto de enmiendas a la Regla 13 del Anexo VI del Convenio MARPOL, en relación a la fecha estipulada en las normas concernientes a los límites de emisión del NOx que corresponden al nivel III. En dichas enmiendas, se establece que las normas relacionadas a los límites de emisión de NOx que corresponden al nivel III serán empleadas en un motor diésel marino dispuestos en una embarcación construida el 1 de enero de 2016 o ulteriormente, que se encuentre navegando en las Zonas de Control de las Emisiones en Norteamérica o en el Mar Caribe de los Estados Unidos, las cuales están destinadas para el dominio de las emisiones de NOx (Méndez, 2017).

La OMI (2019b) señala que el control de las emisiones de NOx del motor diésel se logra a través de los requisitos de inspección y certificación que conducen a la emisión de un Certificado de Prevención Internacional de la Contaminación del Aire del Motor (EIAPP) y la posterior demostración del cumplimiento en servicio de

acuerdo con los requisitos de las reglamentaciones obligatorias en la regla 13, y en el Código Técnico de NOx 2008 (resolución MEPC.177 (58) enmendada por la resolución MEPC.251. (66)).

En este sentido, García (2018) señala que, a excepción de que en el código sea permitido lo contrario, la totalidad de los motores diésel marino especificados podrán ser objeto de los reconocimientos mencionados a continuación:

**Reconocimiento de certificación previa** que asegure que el motor, concorde a su proyecto y equipo, se llega a **acoplar al límite ajustable de emisión de NOx** señalado en la sección de "Óxidos de NOx". En el caso de que este reconocimiento corrobore que el motor está adaptado a estos límites, la administración se encargará de remitir un **Certificado EIAPP**; una distinción inicial de certificación que se efectuará a bordo tras la instalación del motor, antes de que el mismo entre en funcionamiento. El reconocimiento otorgado podrá orientar al envío del **Certificado IAPP** o a una transformación de este certificado válido de la embarcación, con el fin de que se refleje la instalación de un motor nuevo.

- **Reconocimientos intermedios, anuales y de renovación**, los cuales se ejecutarán como parte de los reconocimientos del navío prescritos, con el propósito de asegurar que el motor continúa con el cumplimiento a cabalidad de las prescripciones establecidas en el presente código.
- **Reconocimiento inicial** de certificación del motor que se llevará a bordo **siempre que el motor sea un objeto de un proceso de transformación significativo**, con el propósito de afianzar que el motor se adapte al límite aplicable de las emisiones de NOx. Esto abre el paso a la expedición, en

caso de que proceda, de un Certificado EIAPP y a la transformación del Certificado IAPP.

Para ello García (2018) indica que los constructores para alcanzar la concordancia y acatar las normas actuales, deben desarrollar una serie de ensayos y pruebas, para esto deberán contar con un conjunto de métodos pronosticados, cálculos y verificaciones relacionadas a las emisiones de NOx del motor, corresponde saber:

- **Ensayo en banco de pruebas** destinado al reconocimiento de la certificación previa, de conformidad.
- **Ensayo a bordo** de un motor que no cuenta con certificación previa para un **reconocimiento combinado** de certificación previa e inicial de conformidad con todas las prescripciones relacionadas a los ensayos en banco de pruebas.
- **Método de verificación a bordo de los parámetros del motor**, empleando las referencias de los **elementos**, los **reglajes** del motor detallados en el **expediente técnico**, con el fin de corroborar la obediencia en los reconocimientos originarios, intermedios, anuales o de los motores cuyos elementos, reglajes y valores de operación esencial mediante una perspectiva de los NOx hayan sido transformados o adaptados tras el último reconocimiento. Nota: El envío de certificados por la Administración del territorio en el que sea construido el motor.
- **Método simplificado de medición a bordo** para corroborar el acatamiento en los reconocimientos intermedios, anuales y aquellos de renovación o

comprobación previa en aquellos reconocimientos de certificación inicial, de conformidad.

- **Método directo de medición y vigilancia a bordo** para comprobar que se acaten exclusivamente en los reconocimientos intermedios, anuales y de renovación, de conformidad.

Por su parte, Peña (2016) añade que el certificado EIAPP se trata de un documento aprobado a nivel internacional en el cual se detalla que el motor acata los límites de emisiones de NOx, implantadas por el Convenio MARPOL en el Anexo VI, específicamente en la Regla 13 de dicho anexo. Este certificado tiene que estar autorizado por el Estado de abanderamiento del navío en que se va a situar o en nombre de estas organizaciones distinguidas (Sociedades de Clasificación). En este particular, el Perú mediante Decreto Supremo N° 014-2006-RE adopta las “Enmiendas al código técnico relativo al control de las emisiones de óxido de nitrógeno de los motores diésel marinos (Códigos técnicos sobre los NOx)” emitidas en la Resolución MEPC 177(58).

Conforme a Peña (2016), estos son los motores diésel marinos que necesitan recibir una certificación con el fin de acatar la normativa con relación a los límites de las emisiones NOx:

- Aquellos motores que superan los 130 kW y que están instalados en navíos construidos después del 1 de enero del 2000.
- Un motor que sobrepase los 130 kW, que esté instalado en cualquier embarcación, si este motor ha pasado por una modificación significativa desde el 01 de enero del año 2000.
- Si se ha aumentado la potencia del motor hasta un 10%.

- En caso de que el motor ha pasado por una modificación destacada, lo cual se traduce en un incremento de sus emisiones de NOx (como es el caso del reemplazo de las boquillas de los inyectores o cambio del turbocompresor, entre otros).

Los motores diésel marinos asentados en embarcaciones más pequeñas como yates, no se encuentran libres de los límites de emisiones nivel III, con la salvedad de que acaten las características a continuación:

- De acuerdo a como lo establece el Reglamento 1.19 del Anexo I del Convenio MARPOL, la eslora del buque es menor a 24 m, y está diseñada de forma específica y empleada exclusivamente para fines recreativos.
- La placa de identificación del motor de potencia de propulsión combinada es menor a 750 kW, mientras que la administración de la bandera aprueba que el navío no tiene la capacidad de cumplir con el nivel III estándar puesto que hay restricciones en el diseño o en su construcción.
- El motor que se encuentre asentado en un buque fabricado antes del 1 de enero de 2021 y con arqueo bruto menor a 500, con una eslora igual o mayor a 24 m y que se encuentren detalladamente proyectado y empleado solo para propósitos recreativos.

#### **Regla 14 – Óxido de azufre (SOx) y material particulado**

La OMI (2019c), señala que los controles de las emisiones de SOx y de materia particulada se aplican a los equipos y los dispositivos de combustión de todo tipo de fueloil, según la definición que figura en la regla 14, instalados a bordo y, por tanto, incluyen tanto a los motores principales como a los auxiliares, así como a elementos tales como calderas y generadores de gas inerte. Estos controles se

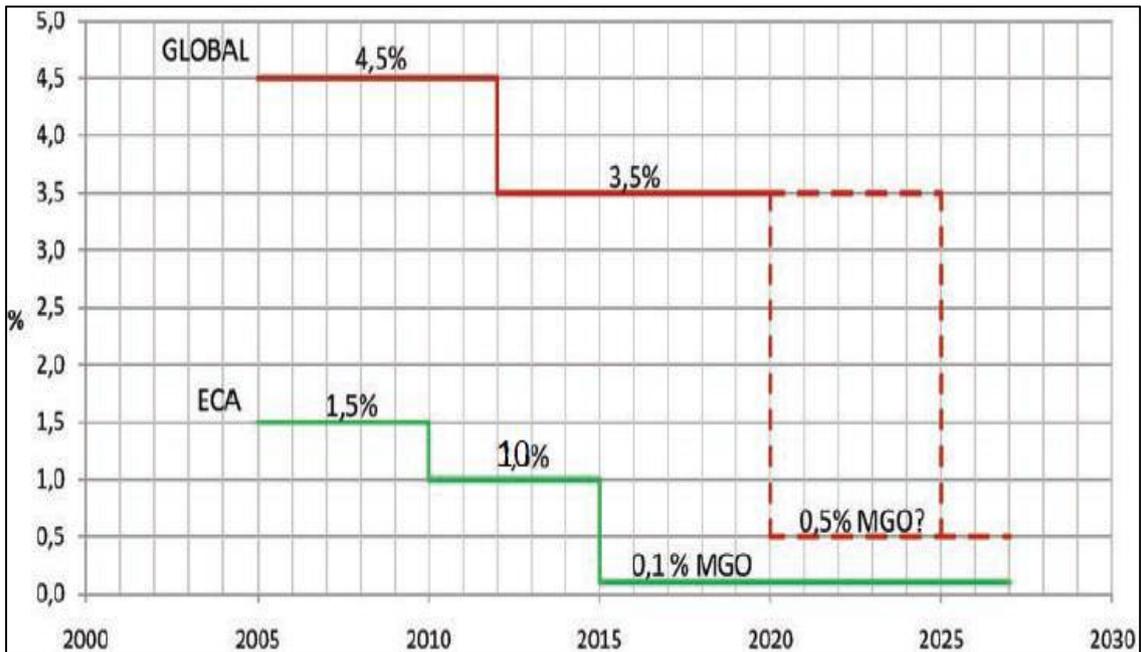
dividen entre los que se aplican en las zonas de control de las emisiones (ECA), establecidas para limitar las emisiones de SO<sub>x</sub> y de materia particulada y los controles que se aplican fuera de esas zonas y que se consiguen poner en práctica principalmente mediante la limitación del contenido máximo de azufre del fueloil cargado, transportado y posteriormente consumido a bordo. Estos límites de contenido de azufre en el fueloil (expresados en % masa/masa, vale decir, en peso) están sujetos a una serie de cambios por etapas a lo largo de los años, según lo dispuesto en las reglas 14.1 y 14.4, descritas en la Tabla 2.

**Tabla 2.** *Contenido máximo permitido de Azufre en los combustibles marinos.*

<b>Contenido de Azufre Global (% m/m)</b>	<b>Contenido de Azufre ECAs (% m/m)</b>
4,5% masa/masa, antes del 01/01/2012	1,5% masa/masa, antes del 01/07/2010
3,5% masa/masa, a partir del 01/01/2012	1% masa/masa, a partir del 01/07/2010
0,5% masa/masa, a partir del 01/01/2020	0,1% masa/masa, a partir del 01/01/2015

Fuente: OMI (2019c).

Boned (2013) describe que el Anexo VII en su Regla 14 estipula que el contenido de azufre, al 0.5% estará supeditado a próximas modificaciones y puede ser desplazado hasta el 2025. En la siguiente gráfica se representa un resumen sobre los límites establecidos en las ECA y fuera de las mismas.



**Figura 4.** Límites de SOx de los combustibles marinos en las ECAs y fuera de ellas.

Fuente: Boned (2013, p.74).

Según la OMI (2019e), el marco del Anexo VI revisado del Convenio MARPOL, el límite máximo del contenido de azufre a nivel mundial se reduce a partir del 01 de enero del 2020 de 3,50% a 0,50%, sujeto a un estudio de viabilidad que habrá de ultimarse a más tardar en 2018. El MEPC 70 (celebrado en octubre de 2016) examinó una evaluación de la disponibilidad de fueloil para informar de la decisión que deben adoptar las Partes en el Anexo VI del Convenio MARPOL y decidió que la norma de fueloil (el límite de 0,50% de contenido de azufre) deberá entrar en vigor el 1 de enero de 2020. Los límites de SOx y materia particulada aplicables a las zonas marítimas designadas se redujeron a partir del 1 de enero de 2015, a 0,10%.

Se espera que las disposiciones revisadas produzcan un notable beneficio para el medio atmosférico y la salud humana, especialmente para aquellas personas que viven en ciudades portuarias y comunidades costeras.

Las correcciones realizadas al apéndice V del Anexo VI del Convenio MARPOL, entraron en vigor en el 2020 y estas tienen como objetivo aproximarse a situaciones en las que el fueloil suministrado no llega a obedecer los requisitos de bajo contenido en azufre, pero que han provisto a un buque que emplea un método alternativo de cumplimiento autorizado en virtud de la Regla 14 del Anexo VI perteneciente al Convenio MARPOL ("Equivalentes") con el fin de disminuir las emisiones de óxidos de azufre. En este caso, los medios equivalentes pueden llegar a actuar como tecnologías de reducción, como es el caso de los sistemas de limpieza de los gases de escape SO<sub>x</sub>, conocidos como "lavadores", siempre que estos hayan sido aprobados por el Estado de abanderamiento como un método opcional que permite el cumplimiento de las prescripciones de contenido en azufre (OMI, 2019f).

De acuerdo a la Organización Marítima Internacional (OMI, 2018), la nota de entrega del combustible tendrá que tener incluida una declaración que esté firmada, además de certificada por aquel que representa al proveedor, en donde se establece que el fueloil entregado se adapta a lo que dispone la regla 18.3 perteneciente al Anexo VI del Convenio MARPOL y haciendo énfasis en que el contenido de azufre no sobrepasa:

- En función de la regla 14.1, desde el 1 de enero de 2020, el límite fuera de las Zona de Control de Emisiones es del 0.50%.
- El límite de las zonas de control de emisiones, 0,10 % masa/masa, de acuerdo a lo que establece la regla 14.4 el Anexo VI del Convenio MARPOL.

- El límite establecido por el comprador, efectuado por el representante del proveedor del fueloil y con una notificación anticipada del comprador que dispone que el fueloil se va a emplear:
  - En unión con un método de acatamiento equivalente o;
  - Está supeditado a una exoneración oportuna para una embarcación en la que se ejecutan pruebas relacionadas con el estudio de tecnologías de control y de disminución de la emisión de azufre de los buques.

Cabe mencionar que, en octubre de 2018, el Comité de protección del medio marino de la OMI (MEPC) adoptó otra enmienda al Anexo VI del Convenio MARPOL que prohíbe transportar fueloil no reglamentario para su consumo a bordo, a menos que el buque esté equipado con un método equivalente de cumplimiento. Se prevé que la enmienda entró en vigor el 1 de marzo de 2020 y modificará, entre otras cosas, el formulario del Certificado Internacional de Prevención de la Contaminación Atmosférica (Certificado IAPP) de forma que especifique que, para un buque provisto de medios equivalentes, el contenido de azufre del fueloil transportado para su utilización a bordo del buque no excederá del 0,50 % masa/masa, según consta en las notas de entrega de combustible (OMI, 2018).

De acuerdo a la OMI (2018), establece un conjunto de recomendaciones para la implementación de la nueva normativa para el límite de las emisiones de azufre (SO<sub>x</sub>) en los buques:

- **Orientaciones sobre la planificación de la implantación en los buques para 2020.** Con el fin de ayudar a los operadores a planificarse por adelantado, el MEPC ha aprobado orientaciones sobre la planificación de la

implantación. Las orientaciones forman parte de una serie de directrices que están siendo elaboradas por la OMI para lograr una implantación uniforme del límite de contenido de azufre que entrará en vigor el 1 de enero de 2020. Las orientaciones sobre la planificación de la implantación incluirán secciones sobre:

- El plan de evaluación y mitigación de riesgos (repercusión de los nuevos combustibles).
  - Las modificaciones del sistema de fueloil y limpieza de los tanques (si fuera necesario).
  - La capacidad de fueloil y la capacidad de segregación.
  - La adquisición de combustible reglamentario.
  - El plan de cambio de fueloil (de fueloil residual convencional a fueloil reglamentario con un contenido de azufre del 0,50 %).
  - La documentación y presentación de informes.
- **Orientaciones sobre las mejores prácticas para los proveedores de fueloil.** El MEPC también ha aprobado las orientaciones sobre las mejores prácticas para los proveedores de fueloil. Estas orientaciones tienen por objeto prestar asistencia a los compradores/usuarios de fueloil para garantizar la calidad del fueloil que se entregue y utilice a bordo de los buques, con respecto tanto al cumplimiento de las prescripciones del Convenio MARPOL como a la seguridad y el funcionamiento eficaz de los buques. Estas mejores prácticas están relacionadas con todos los aspectos

que abarcan desde la compra de fueloil hasta la carga a bordo del fueloil comprado.

- **Mejora de las provisiones sobre calidad del fueloil y notificación de falta de disponibilidad de los fueloiles reglamentarios.** Tras deliberar sobre una propuesta de una fase de adquisición de experiencia para cumplir con el nuevo límite de contenido de azufre, el Comité invitó a presentar propuestas concretas para la próxima sesión del MEPC 74 (mayo 2019) sobre cómo mejorar la implantación de la regla 18 del Anexo VI del Convenio MARPOL que trata la calidad y la disponibilidad del fueloil. Esta regla requiere a cada parte adoptar “todas las medidas razonables para fomentar la disponibilidad de fueloil que cumpla lo dispuesto en el presente anexo e informará a la Organización de la disponibilidad de fueloil conforme en sus puertos y terminales”. Igualmente, se requiere a las partes notificar a la Organización cuando un buque haya presentado pruebas de la falta de disponibilidad de fueloil reglamentario.
- **Se ha instado a las partes del Anexo VI del Convenio MARPOL.** La notificación de la disponibilidad de los fueloiles reglamentarios en sus puertos y terminales a través del módulo específico del Sistema Mundial Integrado de Información Marítima (GISIS) bastante antes del 1 de enero de 2020, en consonancia con la regla de 18.1 del Anexo VI del Convenio MARPOL.

Limitar las emisiones de óxidos de azufre de los buques mejorará la calidad del aire y protegerá el medio ambiente, beneficiando también a la salud de los seres humanos. Un estudio sobre los efectos en la salud humana de las emisiones de

óxidos de azufre procedentes de los buques, presentado al Comité de protección del medio marino (MEPC) en 2016 estimó que, de no reducir los límites de óxidos de azufre procedentes de los buques en 2020, la contaminación atmosférica de los buques contribuiría a más de 570 000 muertes prematuras en todo el mundo en el periodo de 2020 a 2025. Así que se puede decir que una reducción en el límite de óxidos de azufre procedentes de los buques tendría beneficios tangibles para la salud, particularmente para las poblaciones cercanas a los puertos y las rutas principales del transporte marítimo. El nuevo límite será aplicado mundialmente, mientras que en las zonas de control de las emisiones (ECA) el límite seguirá siendo menor, de 0.10% (OMI, 2019d).

### Zonas de Control de Emisiones (ECA)

De acuerdo a la OMI (2019g), las zonas de control de emisiones (ECAs) establecidas son las siguientes:

**Tabla 3.** Zonas de control de emisiones  $SO_x$ ,  $NO_x$  y PM.

Zona especial	Control de contaminante	Definida en Convenio MARPOL	Entrada en vigor
Zona del mar Báltico	$SO_x$	Anexo I	19/05/2005
Zona del Mar del Norte	$SO_x$	Anexo V	22/11/2006
Zona de Norteamérica	$SO_x$ , $NO_x$ y PM	Apéndice VII del Anexo VI	01/08/2012
Zona del mar Caribe de los Estados Unidos	$SO_x$ , $NO_x$ y PM	Apéndice VII del Anexo VI	01/08/2012

Fuente: Propia, adaptado de OMI (2019g).

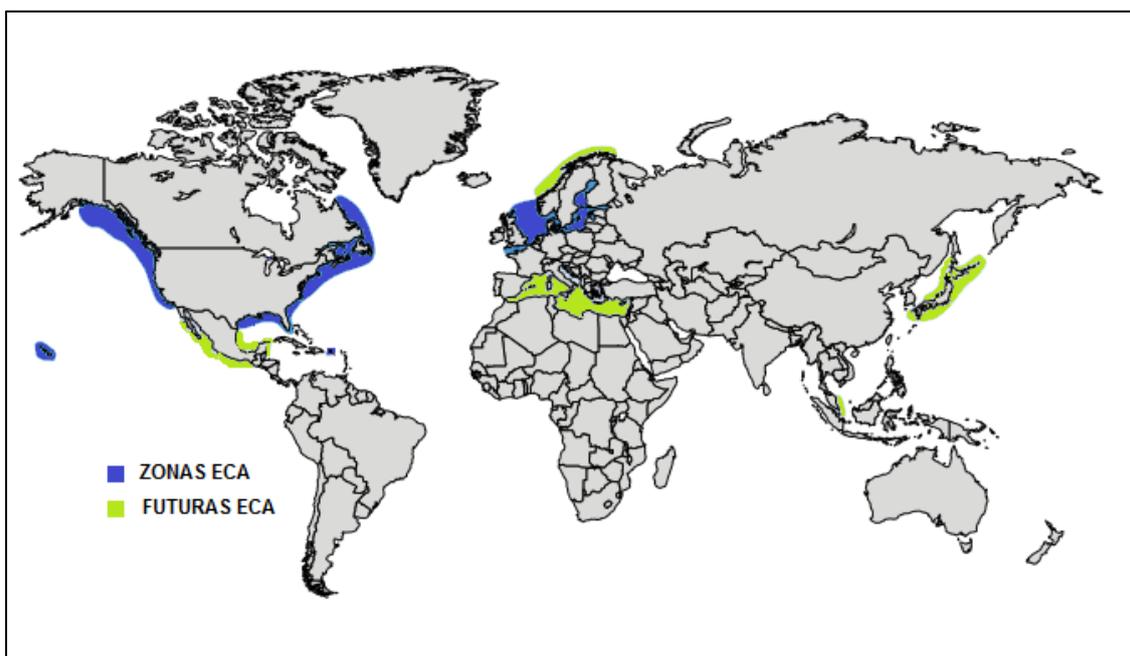
En la actualidad, hay establecidas 4 Zonas de Emisiones Controladas (Mar Báltico, Mar del Norte, Norte América, y Mar del Caribe de Estados Unidos). Además, cada uno de estas ECA puede pasar a convertirse en SECA (*Sulphur Emission Control Area*) en la cual exclusivamente se restringe el contenido de

azufre que poseen los combustibles empleados por las embarcaciones que navegan en estas áreas. A su vez, pueden ser NECA (*NOx Emission Control Area*) en las que es obligatorio el cumplimiento para los motores de las embarcaciones construidas desde el 2016 que vayan a transitar por estas y deberán cumplir con el nivel III, con relación a las emisiones de NOx. En las ECAs también pueden llegar a ser de control en cuanto a la materia particulada, a pesar de que no existen límites planteados. (Boned, 2013).

En este sentido Peña (2016) señala que:

Los principales cambios del Anexo VI, son la reducción progresiva de las emisiones de NOx y SOx y PM a nivel mundial y la creación de zonas de control de emisiones (ECA) con el fin de reducir aún más las emisiones en las zonas marítimas designadas. (p.18)

Aclarando a través del siguiente diagrama las zonas de control de emisiones actuales y las futuras zonas de control que se puedan designar conforme los parámetros establecidos por la OMI (Figura 4).



**Figura 5.** Zonas de control de emisiones (ECAs) y futuras ECAs.

Fuente: Peña (2016, p.19).

De acuerdo a Sendín (2019), para la designación de una zona ECA se requiere:

Que dos estados miembros estén interesados en que sea establecido como zona especial. La propuesta tiene que incluir un estudio sobre las emisiones generadas por los buques que operan en la zona y su impacto sobre la salud y el medio ambiente. (p.16)

Sendín (2019) añade que el Convenio MARPOL se encarga de regularizar unas Zonas de Control de Emisiones en las que la normativa es más limitativa con respecto a las emisiones de SOx. De acuerdo al apéndice 3 del Anexo VI, estas áreas deben tener las siguientes características para que puedan llegar a ser denominadas de esa forma:

1. Una específica delimitación de la zona ofrecida.
2. Describir las zonas, marinas y terrestres, en las que las emisiones pueden llegar a generar consecuencias negativas.
3. Una prueba que evidencie que los buques que transiten por esa zona intervengan en la contaminación por SOx.
4. Datos acerca de las condiciones meteorológicas del área que puedan llegar a favorecer el incremento de la contaminación atmosférica o de los grados de acidificación.
5. La esencia del tráfico marítimo, introduciendo características y la densidad de este tráfico.
6. Exposición detallada de las medidas de control que fueron adoptadas.

#### **2.1.2.5. Combustibles marítimos.**

Boned (2013) argumenta que cuando el crudo llega a la refinería, originario del lugar donde se extrajo, es trasladado a la torre de fraccionamiento en la que se lleva a

cabo la etapa de destilación. En este ciclo se aplica calor al crudo y a aquellas fracciones más livianas que tienen un punto de ebullición menor, como es el caso del gasóleo o las naftas, pasan a evaporarse elevándose por las torres y separándose del crudo inicial, al finalizar el proceso de destilación queda el fueloil pesado o residual (HFO). Este fueloil al ser mezclado con gasoil marino (MGO), el cual es un producto destilado al 100%, resulta fueloil intermedio (IFO). De acuerdo al porcentaje de fueloil residual y gasoil que incluya este IFO, se obtendrán IFOs de distintas viscosidades, particularmente para nuestro interés son el IFO 380 y 180.

El fueloil intermedio posee un bajo contenido en azufre, por la razón de que el mismo ha sido sometido a diferentes procesos de desulfuración, en este caso se denomina LS IFO, mientras que los IFO con mayor contenido de azufre se conocen como HS IFO. Los combustibles marinos que más emplean los buques mercantes son el HS IFO380, LS IFO 380, HS IFO180, LS IFO180, MGO, MDO.

Principalmente, resulta necesario explicar de manera resumida, la terminología de los combustibles mencionados en líneas anteriores.

- **HS** = *High Sulphur*/ Alto contenido en Azufre
- **LS** = *Low Sulphur*/ Bajo en Azufre
- **IFO** = *Intermedium Fuel Oil*
  - 380: Hace referencia a la viscosidad cinemática en centistoke a 50 °C
  - 180: es la viscosidad cinemática en cst a 50 °C
- **MGO** = *Marine Gas Oil*
- **MDO** = *Marine Diesel Oil*

Llop (2017) define al fueloil como el residuo que resulta tras haberse dado el proceso de destilación del petróleo. Debido a su bajo precio, resulta ser el combustible que más emplean las grandes embarcaciones, debido a que suelen

permanecer a la mitad de precio en comparación con el resto de los destilados. Las distintas clases de fueloil pueden ser clasificadas de acuerdo a su contenido de azufre en porcentaje masa de azufre/masa de combustible.

**Tabla 4.** Tipos de fueloil según contenido de azufre en %m/m.

Tipo de Fuel	Nombre	Contenido de Azufre % m/m
HFO	<i>Heavy Fuel Oil</i>	>1,5
LSHFO	<i>Low Sulphur Heavy Fuel Oil</i>	<1,5
LFO	<i>Light Fuel Oil</i>	0,2 .... 2,0
LSLFO	<i>Low Sulphur Light Fuel Oil</i>	0,01 .... 0,2
ULSLFO	<i>Ultra-Low Sulphur Light Fuel Oil</i>	<0,01

Fuente: Llop (2017).

Aparte del contenido de azufre, Llop (2017) recomienda al momento de escoger un combustible, debe tomarse en consideración el conjunto de las siguientes propiedades para verificar si este combustible tiene compatibilidad con el motor. En esta tabla se reflejan las propiedades principales que deben tenerse en cuenta al momento de elegir un combustible:

**Tabla 5.** Propiedades del Fuel Oil al momento de elegir un combustible.

Propiedad	Traducción a Inglés	Definición
<b>Gravedad Específica</b>	<i>Specific Gravity</i>	La relación de la densidad de una sustancia a una temperatura particular a la densidad de agua a 15 grados centígrados.
<b>Viscosidad Cinemática</b>	<i>Kinematic Viscosity</i>	Viscosidad medida en [m <sup>2</sup> /s]
<b>Punto de inflamabilidad</b>	<i>Flash Point</i>	La temperatura más baja a la que un líquido generará suficiente vapor para destellar cuando se expone a una fuente de ignición.
<b>Punto de vertido</b>	<i>Pour Point</i>	La temperatura más baja a la que un combustible verterá o fluirá bajo ciertas condiciones prescritas. Normalmente estas condiciones pueden ser de verano o de invierno.
<b>CCAI</b>	<i>CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index)</i>	Índice que calcula la aromaticidad del combustible proporcionando las calidades de la ignición.
<b>Índice de acidez</b>	<i>Acid number</i>	Es la cantidad de producto básico, expresado en mg de KOH requeridos para neutralizar todos los componentes ácidos presentes en 1g de la muestra

Fuente: Llop (2017).

En esta perspectiva, la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, 2017), destaca que a partir de 1987, la intención declarada de la norma ISO 8217, consiste en precisar los requisitos para los combustibles procedentes del petróleo para su utilización en motores diésel marinos y calderas, preliminar a un tratamiento apto antes de su utilización, y se brinda con la guía de las partes interesadas como es el caso de los diseñadores de equipos marinos, proveedores y por los compradores de los combustibles marinos. Estos detalles son examinados de forma regular, con el fin de ajustarse a los cambios en la tecnología de los motores diésel marinos, además de los procesos de refinación del petróleo crudo y del desarrollo del medio ambiente.

**Tabla 6.** *Características de los combustibles marinos, según norma ISO 8217.*

<b>Características</b>	<b>Unidad</b>	<b>Limit</b>	<b>DMA</b>	<b>DMZ</b>	<b>DMB</b>	<b>RMA 10</b>	<b>RMB 30</b>	<b>RMD 80</b>
<b>Densidad a 15°C</b>	kg/m <sup>3</sup>	Max	890	890	900	920	960	975
<b>Viscosidad a 40°C</b>	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	Min	2.00	3.00	2.00	-	-	-
		Max	6.0	6.0	11.0	-	-	-
<b>Viscosidad a 50°C</b>	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	Max	-	-	-	10.0	30.0	80.0
<b>Sulfuros</b>	% m/m	Max	1.50	1.50	2.00	Max 0.1% en ECA		
<b>Punto inflamación</b>	°C	Min	60	60	60	60	60	60
<b>Punto de fluidez</b>	°C	Max	-6.0	-6.0	0.0	0	0	30
<b>Índice de acidez</b>	mg KOH/g	Max	0.5	0.5	0.5	2.5	2.5	2.5
<b>AL+Si</b>	ppm m/m	Max	-	-	-	25	40	40
<b>Lubricidad</b>	Pm	Max	520	520	520	-	-	-

Fuente: Organización Internacional para la Estandarización (ISO, 2017).

Según la norma ISO 8217 (2017), el combustible que posee una cantidad elevada de viscosidad corresponde a HFO 700. Aunque han sido numerosos los barcos que se han encargado de diseñar sistemas de combustible para funcionar hasta este nivel de viscosidad, este se emplea en raras ocasiones. Para cada una de las clases de viscosidad que caracteriza al combustible, hay distintas

subcategorías de normas ISO como es el caso de RME 180, RMF 180 y RMH 380, RMK 380, entre otras. Los combustibles que cuentan con un número menor última, poseen una viscosidad menor y particularmente menor cantidad de impurezas, haciéndose más difícil de encontrar.

En virtud de aclarar estas características de los combustibles, a continuación, se describe su principal función en la operación de los motores diésel.

**Tabla 7. Descripción de las características de los combustibles marinos.**

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Densidad</b>	Se utiliza para calcular la cantidad de combustible suministrado. La densidad da una indicación de la calidad de ignición del combustible dentro de una cierta clase de producto.
<b>Viscosidad</b>	Constituye la característica más importante del combustible, la misma determina la calidad de la pulverización, el carácter y el chorro del combustible inyectado y su fluidez por las tuberías. Por viscosidad se sobreentiende la propiedad del líquido de ofrecer resistencia al desplazamiento de sus moléculas, bajo la acción de una fuerza exterior.
<b>Índice de acidez</b>	<b>de</b> Todos los combustibles tienen un índice de acidez de origen natural, sin embargo combustibles con altos índices de acidez derivados de compuestos ácidos pueden causar daños acelerados en los grandes motores diésel, especialmente en el equipo de inyección de combustible.
<b>Cenizas</b>	El contenido de cenizas es una medida de los metales presentes en el combustible, ya sea como inherente al combustible o como contaminación.
<b>Residuo de carbono</b>	<b>de</b> Residuo de carbono se determina por una prueba de laboratorio que se realiza bajo el suministro de aire reducido específico. No representa las condiciones de combustión en un motor.
<b>Finos catalíticos</b>	Aceite de ciclo pesado se utiliza en todo el mundo en la refinación compleja como componente de mezcla de combustible pesado. Partículas de catalizador dañadas mecánicamente (silicato de aluminio) no pueden eliminarse por completo de una manera rentable, y se encuentran en el combustible pesado mezclado.
<b>CCAI</b>	El Índice Calculado de Aromaticidad del Carbono (CCAI) solo es aplicable a fueloil residual y proporciona una indicación del retardo en la ignición de un combustible. El CCAI se calcula a partir de la densidad y viscosidad de un aceite combustible residual.
<b>Índice cetano</b>	<b>de</b> Solo es aplicable para gasóleo y combustibles destilados. Es una medida de la calidad de ignición del combustible en un motor diésel. El número o índice de cetano tiene relación con el tiempo que transcurre entre la inyección de combustible y el inicio de la combustión (intervalo de encendido).
<b>Punto de inflamación</b>	<b>de</b> Se define como la mínima temperatura a la cual los vapores originados en el calentamiento a una cierta velocidad de una muestra de combustible se inflaman cuando se ponen en contacto con una llama piloto de una forma determinada.
<b>Sulfuro de hidrógeno (H2S)</b>	<b>de</b> El H2S es un gas altamente tóxico y la exposición a altas concentraciones de vapor es peligroso y puede causar la muerte en casos extremos. Es presente de forma natural en los aceites crudos y se puede formar durante los procesos de refinado utilizadas para producir el combustible.
<b>Lubricidad</b>	Es la capacidad de reducir la fricción entre superficies sólidas en movimiento relativo. El propio combustible protege algunas partes móviles de las bombas de combustible y los inyectores de desgaste. Combustibles con mayor viscosidad proporcionan suficiente lubricidad. Para evitar un desgaste excesivo, el combustible debe tener un nivel mínimo de lubricidad.
<b>Rangos de viscosidad y contenido de azufre</b>	<b>de</b> Las nuevas restricciones sobre el contenido de azufre determinan los tipos de combustibles que se pueden utilizar en los buques, y por lo tanto es útil para entender los valores máximo y mínimo y rangos típicos de contenido de azufre y la viscosidad estándar de los combustibles utilizados en los buques.

Fuente: Peña (2016, pp.39-44).

Llop (2017) señala que además de las propiedades también se debe tener en consideración el hecho que el combustible pueda contener algún posible contaminante. Recalcando que los agentes contaminantes más comunes tanto en fueloil como en diésel suelen ser:

**Tabla 8. Agentes contaminantes en los combustibles que afectan al motor.**

<b>Agente contaminante</b>	<b>Descripción</b>	<b>Efecto</b>	<b>Solución</b>
<b>Agua</b>	Es considerada como un contaminante de combustible, puede llegar al combustible a través de la intrusión de sal o agua dulce durante el transporte, o como resultado de la condensación durante un almacenamiento prolongado. El agua puede resultar en un crecimiento de microorganismos en los combustibles pesados.	El resultado de esta materia microbiana en el combustible puede ser un limo, que es a veces corrosivo, y que ensucian filtros y separadores.	A corto plazo sería añadir un aditivo químico biocida al combustible para matar el crecimiento y a largo plazo es drenar regularmente los fondos del tanque para eliminar el agua.
<b>Sodio</b>	Es un elemento alcalino y metálico que se encuentra en la forma de sal común, NaCl. Es extremadamente activo químicamente. El sodio encontrado en el combustible puede provenir en la mayor parte del resultado directo de los procedimientos de almacenamiento y la manipulación desde el momento en que el combustible sale de la refinería hasta que se entrega a los búnkeres.	En la oxidación en fase gaseosa, los gases de escape que contienen oxígeno a alta temperatura reaccionan con el acero para formar óxidos. La oxidación en fase líquida (corrosión) tiene lugar cuando sulfatos fundidos y piro-sulfatos en los gases de escape se depositan en las superficies de las válvulas.	El sodio en el combustible suele ser soluble en agua y, por lo tanto, puede ser eliminado mediante un separador centrífugo.
<b>Aluminio y Silicio</b>	Las partículas duras y abrasivas, de aluminio o silicio, se originan en la refinería cuando se añaden al material de carga en una unidad de craqueo catalítico de fluido (FCC). Debido a la erosión y fractura, parte del catalizador no se recupera, sino que se lleva a cabo con los fondos de la unidad FCC.	Algunas partículas de mayor tamaño pueden causar un gran daño en las válvulas de entrada de la bomba de inyección, en las áreas de asiento de la válvula de escape y en la turbina del turbocompresor.	Para recuperar estas partículas se debería hacer otro proceso catalítico.
<b>Lodo</b>	Es un contaminante resultado de la manipulación, mezcla y bombeo de combustible pesado mientras se almacena después de la refinería. Los tanques de almacenamiento, tuberías de combustible pesado y barcasas pueden contribuir al lodo.	Estos lodos emulsionados pueden causar el ensuciamiento rápido y apagado de purificadores centrífugos y obstrucción de filtros en el sistema de aceite combustible, además del ensuciamiento rápido.	La solución sería limpieza regularmente de los tanques para eliminar el lodo.

Fuente: Llop (2017).

Según Llop (2017) las consecuencias que tienen los contaminantes de los combustibles en los motores de combustión interna, se fundamentan en que la calidad del combustible que se va a emplear puede llegar a perjudicar de forma directa la durabilidad que posea el motor, además como la calidad del proceso de combustión. Si se presentan valores altos del residuo carbonoso, del azufre y cenizas, estos pueden desencadenar el enlodado del motor, así como una desmesura de deterioro, en especial en aquellos motores lentos. Un alto contenido de cenizas producidas tras la combustión, pueden conllevar un daño significativo en los aros, paredes y válvulas de los cilindros. Al analizar las cenizas de los gasóleos y fuelóleos, se refleja la presencia de sílice y de silicatos que provienen de los estratos petrolíferos, de sales, arcillas, óxidos de hierro, los cuales emanan del almacenamiento y transporte, así como compuestos organometálicos a base de componentes como el sodio, potasio, calcio y el vanadio. En el caso del sodio y el vanadio, estos ocasionan corrosiones a temperaturas elevadas, mientras que en el caso de los compuestos de vanadio, estos se comportan como catalizadores en la formación de  $SO_3$ , contribuyendo a que se realice la corrosión sulfúrica a temperaturas bajas. Actualmente, el contenido en cenizas de un fuelóleo es bajo, en el orden del 0.05%.

Por su parte, Peña (2016) señala que los combustibles marinos residuales, a los cuales también se les conoce como aceites intermedios de combustible (IFO) o de fuelóleo pesado (HFO), están compuestos por hidrocarburos pesados, remanente que se origina como un subproducto en el proceso de refinación del petróleo y que pueden llegar a contener distintos contaminantes como es el caso de los metales pesados, agua y elevados niveles de azufre. Dichos contaminantes pueden llegar a ocasionar daños en los motores, equipos y en las líneas de

distribución, por ente, el combustible residual se trata para deshacerse de este tipo de dificultades mediante filtros y depuradoras antes del proceso de combustión en el motor. Vale la pena destacar que esta clase de combustibles marinos residuales y destilados, tienen la obligación de acatar con las especificaciones internacionales referentes a los combustibles y que están asentados en la Organización Internacional de Normalización; de forma específica en la Norma ISO 8217.

Las características esenciales de los combustibles empleados mayormente por los navíos dedicados a realizar tráficos en distancias cortas y que se detallan en la tabla siguiente.

**Tabla 9.** Principales características de los combustibles más utilizados por buques.

Dato	HS IFO380	LS IFO380	HS IFO180	LS IFO180	MDO	MGO
<b>Denominación ISO</b>	RMG 380	RMG 380	RME 180	RME 180	DMB	DMA
<b>Composición</b>	98% Fueloil residual 2% fueloil destilado	98% Fueloil residual 2% fueloil destilado	88% Fueloil residual 12% fueloil destilado	88% Fueloil residual 12% fueloil destilado	Fueloil destilado con trazas de Fueloil residual	100% Fueloil destilado
<b>Densidad a 15°C (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	991	991	991	991	900	860
<b>Viscosidad cinemática (50°C)</b>	380 cst	380 cst	180 cst	180 cst	(40o): 11 cst	(40o): 6 cst
<b>Punto de Inflamación</b>	60 °C	60 °C	60 °C	60 °C	60 °C	60 °C
<b>Azufre (m/m)</b>	<3,5%	<1%	<3,5%	<1%	1,5-0,5%	<0,1%
<b>H<sub>2</sub>O (v/v)</b>	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,3%	0%
<b>Cenizas (m/m)</b>	0,1%	0,1%	0,07%	0,07%	0,01%	0,01%
<b>Contenido Carbono (m/m)</b>	18%	18%	15%	15%	0,3%	0,3%

Fuente: Boned (2013, p.81).

Boned (2013) sostiene que se debe tomar en consideración las distintas condiciones atribuidas a los combustibles pueden transformarse de acuerdo a la zona en que sea comercializado, debido a que los fueloiles intermedios son creados

en función a la normativa que se encuentra vigente sobre el lugar de comercialización, como se ha podido detallar en la sección anterior, establece el contenido máximo de azufre que puede tener cada combustible. Vale la pena resaltar que la media global de azufre presente en los combustibles IFO es de 2,7%.

Boned (2013) señala que de acuerdo a las características de los combustibles, se observa que la diferencia esencial entre los IFO viene siendo la viscosidad cinemática. Esta propiedad resulta decisiva para elegir cuáles buques emplearán el IFO 380 y cuáles harán uso del IFO 180. Las discrepancias de viscosidad se deben a la cantidad de fueloil destilado con el que cuenta uno y otro. De forma aproximada, un 80% de las embarcaciones mercantes, en el trayecto de navegación, consumen IFO 380 en sus motores principales, en comparación a un 20% que consumo el IFO 180. Por otra parte, la mayor parte de los buques emplean IFO 380, debido a que tiene mayor consistencia que el IFO 180, de tal forma que el primero deberá ser calentado hasta que llegue a alcanzar los 100° a los 140°C, esta temperatura puede llegar a cambiar de acuerdo a las características de cada motor, antes de que este pueda llegar a los inyectores, mientras es calentado, este fueloil reduce su nivel de viscosidad y densidad, resultado con mayor fluidez. Mientras que el IFO 180 debe ser calentado para posteriormente inyectarse a un aproximado de 100° a 125°C, según el motor del que se trate. Por lo general, el fueloil se consume por los motores principales para las maniobras en el puerto, además en la máquina principal es común realizar un cambio de combustible, pasando del IFO al MDO, debido a que el último resulta ser más liviano y contribuye a generar una respuesta rápida de los motores.

#### **2.1.2.6. Cambio de combustible.**

En este particular, Peña (2016) señala que con el nuevo conjunto de normas, una gran cantidad de armadores se han visto en la necesidad de escoger la modificación de combustibles residuales por aquellos combustibles ligeros que cuentan con un bajo por ciento de azufre, provocando que se dé el cumplimiento de las regulaciones, pero a su vez que en casos específicos se desarrollen problemas relacionados con el proceso del desempeño y funcionamiento del motor, como es el caso de la pérdida de potencia, de modo que se han solicitado maniobras que originan en ciertos casos paradas insostenibles del motor que pueden desencadenar desperfectos graves en el buque.

Según López (2015), el cambio de gasóleo resulta ser la alternativa primordial para el cumplimiento de la nueva regulación del Convenio MARPOL, debido a que esta es la que implica el no realizar nada. Las embarcaciones deberán cambiar de emplear fueles con elevado contenido en azufre a utilizar destilados que tengan un contenido de azufre del 0,5%S o de 0,1%S, dependiendo de si navegan por Zona ECA o no, desde el 2020. Pese a que a primera vista esta opción solo supone la adquisición de un combustible con precio más elevado, efectivamente, la embarcación deberá ser sometida a algunas modificaciones en el sistema propulsivo, aunque estas no proporcionen mucho coste. Esta opción comprende, en especial, ciertos riesgos que deberán ser analizados antes de desarrollar el cambio de combustible.

Romeo (2018), señala que las eventuales consecuencias del pasaje al gasóleo consistirían principalmente en un aumento de su precio que se repercutirá en una subida del coste del transporte marítimo, provocando así carencia del

volumen que traslada por vía marítima frente a la carretera. El cambio de combustible a simple vista solo requiere la adquisición de un combustible con mayor precio, pero en realidad el buque deberá pasar por ciertas modificaciones en su sistema propulsivo, que no comporta un elevado coste. Uno de los problemas debidos a la peor lubricación que tiene el gasóleo respecto al fueloil, se han observado eventualidades de pérdida total de potencia a principios del año 2015, cuando se inició el consumo de MGO en las distintas Zonas ECA.

En el caso de las organizaciones INTERTANKO (*International Association of Independent Tanker Owners*) y OCIMF (*Oil Companies International Marine Forum*), estas detallan las probables consecuencias originadas por el cambio de fuel a gasóleo en los motores marinos que fueron creados para el consumo de fuel, proporcionando una lista de verificación de los elementos que deben formar parte de una evaluación de riesgos y una evaluación (HAZID) para los motores principales, motores auxiliares y calderas de buques que van a pasar a operaciones a largo plazo con combustible destilado. Incluyen también recomendaciones de entrenamiento especial para tripulaciones en el manejo de destilados (Citados en López, 2015).

En este sentido, Romeo (2018) señala que a pesar del mayor coste del uso de productos destilados en lugar de fueles residuales, hay asociaciones como es el caso de INTERTANKO, que le brindan soporte a la utilización de gasóleo, enfrentadas a otras opciones como el caso de *scrubbers* o GNL, debido a lo siguiente: por las siguientes razones:

- La utilización de MGO disminuye los SOx de un 70 a 80%, las emisiones PM<sub>10</sub> (80%) y las emisiones NOx (10-15%) sin tener que realizar la instalación de plantas nuevas de tratamientos residuales a bordo.
- Consumir el MGO, disminuye los consumos de las embarcaciones hasta un 5% debido a su mayor poder calorífico, de forma que a su vez se disminuyen las emisiones de CO<sub>2</sub> de forma indirecta.
- La utilización del MGO no genera residuos.
- El MGO no presenta problemas de incompatibilidades ni de calidad, al contrario que los fueles residuales.
- En el caso de que el buque consuma MGO, en vez de fuel tratado con depuradores, no se debe cambiar de combustible del fuel al gasóleo mientras se acerque a la costa, por lo tanto se suprimen los riesgos operativos.
- Los cambios de los motores existentes para el empleo de MGO inciden en un coste por la protección de los equipos, pero resulta mínimo si se compara con adaptar la tecnología del depurado o GNL. Al cambiar el porcentaje de azufre del combustible, hay que cambiar el tipo de aceite de cilindro porque en el fondo tiene que tener un TBN (*Total Basic Number*) mucho mayor para poder compensar esa pérdida de lubricidad que otorga el azufre, y modificar también los purificadores (aparatos centrífugos que permiten limpiar el combustible antes de inyectarlo) para no dañar los equipos.

Los inconvenientes del pasaje al MGO son principalmente:

- El precio del MGO es un 40-50 por ciento superior al del HFO; el 8 febrero de 2019 los promedios de los precios de los 20 puertos más importantes de venta de combustibles fueron de \$420 contra \$647 por toneladas<sup>23</sup>;
- Se ignora si las refinerías contarán con disponibilidad suficiente de MGO;
- Un aumento de la demanda produciría un aumento en el precio si no se aumenta la producción;
- Para cumplir con las emisiones de NOx se necesita que se instalen sistemas adicionales SCR (*Selective Catalitic Reduction*) o EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) de forma tal que esta opción no resulta completa para cumplir con el reglamento medio ambiental.

En cuanto a los niveles de azufre, los mismos deben ser obligatoriamente inferiores a 1%. En el caso de que el LSHFO es diseñado por una unidad de desulfuración, la aromaticidad de este puede reducirse, lo cual podría generar que el combustible tenga menor estabilidad. El resultado de que esto suceda se aumentan los inconvenientes de incompatibilidad del combustible cuando este se mezcla con combustible pesado regular mientras que se dan los cambios de dicha sustancia. Los problemas de calidad adicionales como las dificultades de encendido y de la combustión, y el incremento de los niveles finos catalíticos, puede ser a causa del procesamiento de bajo contenido de azufre. Agregando que cuando LSFO es llevado a bordo para emplearlo en una ECA, se determina que, de acuerdo al Anexo VI, estos deben almacenarse y purificarse por separador del HFO regular. Este proceso posiblemente exija de cambios en las tuberías para que se transfiera el combustible y el sistema de purificación. En el caso de los LSFO, estos no pueden ser empleados en las Zonas ECA, así como se restringe su uso en los

puertos de la EC. A partir del 1 de enero del 2015, el límite de azufre viene siendo de 0,1% en todas las ECA por lo que resulta necesario reemplazarlos en su totalidad por LSGO, los cuales acatan la normativa (Peña, 2016).

### **Aspectos a considerar en el cambio de combustibles**

Estos son algunos de los aspectos que deben tomarse en consideración:

- **Viscosidad**, los combustibles destilados se caracterizan por contar con una viscosidad significativamente menor que aquellos fueles residuales. Los problemas más importantes en el uso de un combustible con viscosidad menor en un motor que no ha sido diseñado para esto son:
  - Aumento en las fugas internas de las bombas de fuel.
  - Aumento de las ratios de caudal mediante los reductores e inyectores.

Los motores marinos que fueron creados para el consumo de MGO y MDO, necesitan contar con una viscosidad que no sea menor a 2,0 cst (mm<sup>2</sup>/s) con relación a la temperatura de trabajo. En el caso de los gasóleos marinos, estos comúnmente poseen una viscosidad ubicada en la zona inferior del rango que aprueba la ISO 8217 y que viene siendo de 1,5 a 6,0 cst a 40 °C. Bajo esta perspectiva, si las modificaciones para enfriar el combustible no son efectuadas, la temperatura del funcionamiento del combustible sobrepasará lo necesario. Con el fin de evitar esto, se deberá realizar la instalación de bombas de Fuel distintas, así como un enfriador para aumentar la viscosidad del combustible (López, 2015).

De acuerdo a Peña (2016), destaca que si el combustible posee una viscosidad baja, esto puede generar fugas de combustible a través de los sellos de las bombas tanto de circulación como de alimentación, esto

reducirá la capacidad de entrega del combustible y producirá que el motor no logre llegar a la potencia exigida. Debido a que una fuga interna forma parte del diseño y la misma es empleada en parte para la lubricación de los elementos de bombeo, esto puede originar un incremento de las fugas de combustible y, como consecuencia se generarán menores presiones de inyección, lo que dará como resultado, inconvenientes durante el proceso de arranque y funcionamiento a baja carga del motor. Asegurarse de conservar la viscosidad por encima del valor mínimo ( $2,0 \text{ mm}^2/\text{s}$  (cSt) a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ), permite que haya una mayor fiabilidad en el funcionamiento del motor. Se plantea la instalación de un intercambiador de calor para el combustible como una solución para las condiciones tropicales que están equipadas con unidad de refrigeración, y que conserve la temperatura del combustible debajo de los  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- **Lubricidad**, este indicador se relaciona también de forma directa con la viscosidad. Mientras la viscosidad sea menor, la lubricidad también lo será. De esta forma, se debe tener precaución con las bombas que exigen una lubricidad alta para poder funcionar, debido a que esto podría generar un recalentamiento cuando se consuma el gasóleo (López, 2015).

En el caso de que se disminuya la lubricidad, la efectividad como lubricante, entre el espesor de la película a la bomba de combustible de presión alta y el casquillo en las válvulas de combustible generen un deterioro pronunciado, pudiendo originar que los elementos permanezcan pegados y así permanezcan fuera de servicio. Esto podría ser reducido a través de la adquisición de combustibles destilados con aditivos para mejorar la lubricidad y viscosidad  $3,0 \text{ mm}^2/\text{s}$  (cSt) a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  (Peña, 2016).

- **Acidez**, establece que mientras menos contenido de azufre haya, habrá menor acidez. El lubricante del motor se fabrica de modo que su nivel de alcalinidad pueda neutralizar la corrosión ocasionada por la acidez del fuel. De este modo, si la acidez de los destilados es menor, debe corregirse la alcalinidad de los lubricantes. De no ser así, se producirá un aumento de los depósitos de carbonilla (López, 2015).
- **Punto de inflamación**, suele ser un indicador que resulta menor en los destilados, que por lo general suele estar bastante ajustado a pocos grados menos de 60°C, mientras que en los fueles pesados que van alrededor de los 90°C. El peligro inicia cuando la creación de estos productos, como es el caso del DMX, se forman debido a la combinación de fueles de poco azufre con destilados de automoción, los cuales poseen un punto de inflamación menor que el fuel con el que se están uniendo, lo que generará un punto incluso menor. Sí se habla del DMX, el límite inferior del mismo viene siendo de 43°C, lo que significa que está muy por debajo del mínimo que permite SOLAS en los combustibles marinos, que vendría siendo de 60°C. Esto no significa un riesgo intrínseco de la modificación a destilados, sino más bien del método en que se producen este tipo de productos en origen (López, 2015).
- **Temperatura**, con relación a la temperatura que posee el combustible, generalmente, HFO llega a calentarse a un aproximado de 150°C y cuando esté debe pasar a cambiarse a MGO, la temperatura deberá rondar los 40°C, por tal razón, la diferencia en la temperatura se ubicará aproximadamente en 110°C. Tomando en consideración que la tasa permitida de cambio es de 2,0°C por minuto, el proceso de reemplazo del combustible deberá tener una

duración de 55 minutos como mínimo para que pueda realizarse de forma segura. Una modificación rápida del HFO al MGO, puede producir una pérdida veloz de la viscosidad y genera gases en el sistema de combustible (Peña, 2016).

En este sentido, Peña (2016) también establece que si ocurre un cambio demasiado veloz desde el MGO sin la temperatura para el HFO, esto puede conllevar a un enfriamiento en exceso del último y por ende a incrementar la viscosidad, desencadenando que haya una posible pérdida en la potencia o un apagado del motor. Por tal motivo, Es recomendable que se ejecute el cambio de combustible con el motor sujeto a niveles de potencia más bajos. No obstante, la carga no deberá ser muy baja, de ser así el tiempo de combinación del combustible pesado y el MGO en el sistema de servicios incrementa con el consecuente riesgo de precipitación de los asfáltenos, la obstrucción de los filtros y por ende la pérdida o irregularidad en la alimentación en el motor.

- **Densidad**, en este caso los destilados poseen una densidad menor en comparación a los fueles residuales. Dicho planteamiento necesita que la cantidad de mezcla que ingresa al quemador sea distinta. en su gran mayoría los motores poseen esta vinculación de manera preajustada a las características del fueloil, de forma tal que estos se deberán reajustar a las características del destilado. De no ser así, se pierde potencia, surgirán los inconvenientes de ignición y aumentarán las emisiones de combustión (López, 2015).

Por lo general, los combustibles que poseen una viscosidad baja, cuentan con una baja densidad si se comparan con los combustibles pesados. Esto puede resultar en menor energía por volumen de combustible, traducido en el contenido de energía volumétrica, y por tal motivo necesitará de una cantidad mayor de volumen de combustible que se suministre al motor para conservar la potencia equivalente. Los dispositivos que regulan la velocidad del motor y su automatización, necesitan tener la capacidad de poder realizar una adaptación a los cambios en la posición de la cremallera de combustible y ajustes del regulador (Peña, 2016).

- **Incompatibilidad**, en caso de producirse una incompatibilidad, esto puede producir un bloqueo en los filtros de combustible y de los separadores y pegado de las bombas de inyección de esta sustancia, esto puede llegar a generar la pérdida del poder o detener el funcionamiento del motor propulsor, llegan a colocar en riesgo a la embarcación. Estos inconvenientes de incompatibilidad pueden ser originados por las diferencias de la estabilidad entre los combustibles que son mixtos. Aquellos combustibles con bajo azufre, y como resultado los asfaltenos pueden llegar a acelerar la mezcla en forma de lodo pesado, produciendo que se obstruyan los filtros. Que esta acción ocurra puede prevenirse o en todo caso reducirse, mediante los kits de pruebas de compatibilidad que la embarcación debe tener a bordo y empleado cuando se toma combustible. De manera general, no es aconsejable que se devuelva la mezcla de combustible al tanque de servicio de ultra bajo en azufre (Peña, 2016).

Medina (2016) añade que los buques deberían asegurarse de que el combustible con bajo contenido en azufre es compatible con el de alto

contenido en azufre haciendo pruebas a los combustibles. Existe un alto riesgo de incompatibilidad haciendo mezclas entre combustibles de alta densidad con aquellos con baja densidad, mientras que la mezcla de dos combustibles de baja densidad disminuye el riesgo. El margen de mezcla en el cambio de combustibles debería de ser el más pequeño posible.

- **Cambio de lubricante según el combustible**, en este aspecto, los motores diésel necesitan ser lubricados con el objetivo de poder funcionar de forma eficaz, en este sentido, los aceites que lubriquen el motor deberán ser compatibles con el combustible que el motor emplea. Por esto, en el caso de que el aceite de lubricación BN (Número de Base) no llega a coincidir con el nivel de acidez del combustible, esto va a generar un efecto en el mantenimiento de un lubricante que sea compatible entre el combustible y el aceite. Si el BN70 es muy elevado, este puede producir calcio y otros depósitos sobre las superficies del revestimiento. Si se trata del BN30-50, si es muy pequeño puede incrementar la acidez del combustible y producir un deterioro adicional en las piezas, además de crear inconvenientes al momento de la quema del combustible. Para la neutralización de los ácidos formados en la combustión, se emplean los aceites lubricantes, mayormente el ácido sulfúrico formado desde el azufre en el combustible. La coincidencia también debe darse en la cantidad de aditivos de neutralización de los ácidos en el aceite lubricante, esta coincidencia debe darse con el contenido total de azufre presente en el combustible. Se determinó que un nivel determinado de corrosión controlada puede llegar a mejorar la lubricación. El proceso de corrosión produce pequeñas "bolsas" en la superficie de contacto de la camisa del cilindro en las que se crea un efecto parecido al de lubricación

hidrodinámica de aceite. En otras palabras, la corrosión controlada es importante (Peña, 2016).

Medina (2016) refiere que otro aspecto a tener en cuenta es que un aceite lubricante con un índice TBN elevado en combinación con un combustible bajo en azufre, puede provocar depósitos en la camisa del cilindro. Se recomienda controlar el nivel de depósitos en la camisa de cilindro o, en su defecto, bajar el índice de TBN del aceite lubricante o bien disminuir el caudal de aceite lubricante.

### **Modificaciones que requiere el cambio de combustible**

López (2015) señala que en el momento en que un buque con un sistema de propulsión construido para la utilización de fueles pesados va a pasar a un uso de destilados prolongado. Será necesario ejecutar cambios en estos elementos:

- Almacenamiento.
- Calderas, integrando el control de combustión.
- Motor principal y auxiliares.
- Procedimientos para el cambio de combustible.

En este particular, López (2015) establece las siguientes recomendaciones orientadas a garantizar la seguridad de la embarcación y de los tripulantes:

- Se debe evitar que los destilados transiten por circuitos o por tanques calefactados que puedan llegar a calentarlos y disminuir todavía más su viscosidad. Se deberán elaborar dos circuitos y tanques de carácter exclusivo para todos los tipos de combustibles.
- Deberá realizarse una verificación para asegurarse de que las bombas de fuel fueron creadas para trabajar con una viscosidad baja y lubricidad.

- Es posible que algunas embarcaciones necesiten de una instalación de un enfriador para poder garantizar que la viscosidad del gasóleo esté de acuerdo con los límites que son sugeridos por los fabricantes de los motores.
- Para una productividad duradera con destilados, se debe tomar en cuenta la posibilidad de que se contamine el lubricante por razones de fugas en las bombas de combustible. Esto va a necesitar de un seguimiento más especializado de los análisis del lubricante y la utilización del TBN con nivel más bajo.
- Los buques deben tener definida de manera clara la operación del cambio de combustible, a través de procedimientos que deberán incorporar las instrucciones acerca de notas significativas en el cuaderno de bitácora, como se requiere por parte de las autoridades.
- Este procedimiento debe tener incluidas las instrucciones acerca del momento en que se deberá dar inicio el funcionamiento del cambio de combustible con el objetivo de garantizar el tiempo suficiente para que se ejecute este cambio, considerando siempre que haya seguridad en la navegación.

#### **2.2.1.7. Soluciones Técnicas para Contener las Emisiones de los Motores.**

Peña (2016) hace mención que en función del cumplimiento de las nuevas regulaciones del Convenio MARPOL en su Anexo VI, los armadores podrán tener a su alcance un mercado que les brinda distintas soluciones técnicas, además de contar con la asesoría de la sociedad de clasificación a la que pertenecen y los que fabrican motores y equipos, con el fin de dotar sus motores y los sistemas de

escape con las tecnologías o medidas que resulten oportunas, sujetos principalmente de esta serie de factores:

- Los tipos y las características de las embarcaciones.
- Categorías de motores propulsores.
- Áreas y rumbo donde estas operan.
- El periodo de vida útil que tiene el buque.

García (2018) destaca que las soluciones técnicas que permiten moderar las emisiones de los motores de combustión interna dentro de los límites son de los siguientes tipos:

- **Soluciones activas**, perjudican el diseño del motor y los componentes que lo integran.
- **Soluciones pasivas**, buscan disminuir las emisiones a la salida del motor, antes de ser echados al medio ambiente.

Reconociendo a las soluciones activas como las tecnologías de pretratamiento y en el caso de las soluciones pasivas, estas se identifican como postratamiento.

Sendín (2019) explica que las soluciones se clasifican en dos tipos, las primarias y las secundarias. Las primarias se refieren a aquellas que actúan de forma directa en la combustión generada en el motor. De esta forma se imposibilita la formación de las sustancias contaminantes, mientras que las soluciones secundarias, actúan una vez se haya formado la sustancia contaminante durante la combustión y será tratado con el fin de disminuirla o suprimir de forma que se pueda acatar lo que dicta la legislación.

En este particular, para efectos de este estudio, clasificaremos las soluciones técnicas para contener las emisiones contaminantes de los motores, en las siguientes:

- Soluciones técnicas para reducir las emisiones NOx.
- Soluciones técnicas para reducir las emisiones SOx.

### **Soluciones técnicas para reducir las emisiones NOx**

En cuanto a estas soluciones técnicas, Peña (2016) señala que los creadores de los motores han trabajado de forma exhaustiva para poder cumplir con las regulaciones, las cuales son cada vez más estrictas con relación al tema de las emisiones de NOx, desde el 26 de julio de 2016. Actualmente, estos son los medios que han sido probados, demostrando una eficacia determinada y que llegan a ser los más demandados. Estos son los siguientes:

1. Optimización del motor.
2. Inyección directa de agua (DWI).
3. Humidificación de la carga de aire.
4. Recirculación de gases de escape (EGR).
5. Reducción Catalítica Selectiva (SCR).

#### ***1. Optimización del motor***

Peña (2016) señala que este proceso de optimizar la combustión del motor, incorpora una modificación en el patrón de pulverización a través del cambio del diseño del inyector de combustible, su tiempo, intensidad, el perfil de velocidad de inyección, el vínculo de compresión, la presión y refrigeración del aire de barrido. El retardo del tiempo de inyección resulta muy efectivo para reducir los NOx, sin embargo, también incrementa el consumo de combustible y el humo.

Generalmente, es combinado con el incremento de la presión de compresión y la reducción de la duración de la inyección con el fin de disminuir o eludir el aumento en el consumo del combustible.

El progreso reciente de los motores de baja emisión de NOx, requiere de que se realice un ajuste adecuado del proceso de inyección del combustible. Los modelos CFD de la dinámica de pulverización del combustible que se quema en la cámara de combustión del motor, se han empleado de forma exitosa por aquellos fabricantes de los motores, junto a pruebas prácticas que permiten un desarrollo de las boquillas de combustible con un bajo nivel de NOx (Peña. 2016).

La optimización de la cámara de combustión, la sincronización variable de las válvulas, el incremento de la eficacia del turbo, emplear un sistema de inyección de combustible que puede ajustarse con facilidad, como es el caso del sistema de inyección de control electrónico, disminuir la temperatura entrada de aire al motor utilizando la sobrealimentación Miller, son modificaciones que pueden llevarse a cabo con la finalidad de disminuir las emisiones. La modificación del diseño de la válvula se relaciona con el reemplazo de los inyectores tradicionales con válvulas de bajo consumo de combustible como es el caso de las válvulas de corredera, que perfeccionan el combustible que es inyectado en el cilindro. Estas válvulas están diferencias de aquellas convencionales en lo que respecta a los patrones de pulverización y que se encuentran creados para disminuir el goteo del combustible a través del inyector en el área de combustión, tras la inyección (Peña. 2016).

Al realizar el cambio de las válvulas de combustible tradicionales con las válvulas *slide*, producen un cambio relevante en la disminución de las emisiones de los óxidos de nitrógeno y de materia particulada. Actualmente, las válvulas *slide*,

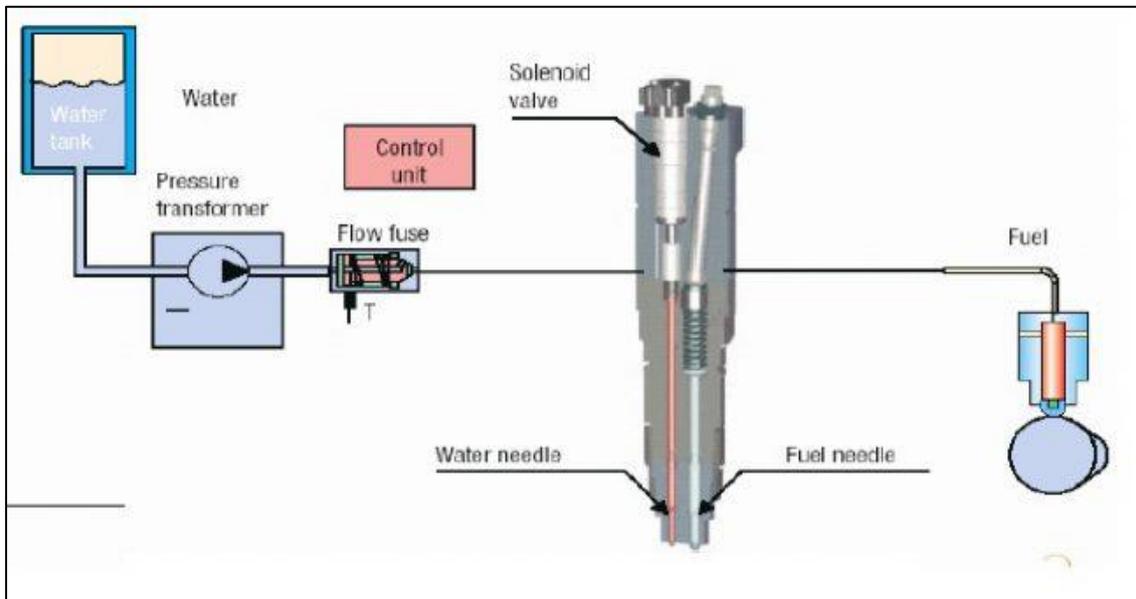
solo pueden aplicarse a los motores diésel de dos tiempos con baja velocidad. Ahora, se considera como un supuesto que los motores nuevos de este tipo cuentan con válvulas instaladas como estándar. De forma simultánea, la tobera del combustible se optimizó para los NOx con el desenvolvimiento de la válvula de la corredera (Peña. 2016).

## **2. Inyección directa de agua (DWI)**

García (2018) indica que este consiste en un proceso efectivo que permite reducir las emisiones de NOx. La Inyección Directa de Agua aplicada en la cámara de combustión, (DWI - *Direct Water Injection*) y (EWI - *Estratified Water Injection*), puede llegar a que los niveles de óxidos de nitrógeno puedan disminuir hasta un 50%, significando un aumento mínimo del consumo de 2% cuando la emulsión es del 70% disminuyen a 6g/kWh.

Peña (2016) sostiene que este proceso se ejecuta antes de la inyección de combustible, por lo que resulta en una zona de combustión más fría y que por ende se genera menor cantidad de NOx. La inyección de agua se frena antes de que se proceda a inyectar el combustible en el cilindro, de forma que el procedimiento de encendido y de combustión no se desestabiliza. El agua limpia es inyectada en el cilindro a una presión que depende del motor y va desde 210 a 400 bares, a través de un sistema de común raíl, la presión es producida en un módulo de bomba de presión elevada; una bomba con presión baja es también requerida con el fin de asegurar un flujo de agua que sea lo ampliamente estable para la bomba de presión alta. En el lado de la culata, se encuentra instalado un fusible de flujo. Este fusible se maneja como un instrumento de seguridad, bloqueando el flujo de agua en el cilindro, en caso de que la aguja de agua se atore. El sincronismo de la inyección

de agua y extensión es dominado de forma electrónica por la unidad de control, que sujeta su entrada a partir de la salida del motor.



**Figura 6.** Sistema de inyección de agua directa de Wärtsilä.

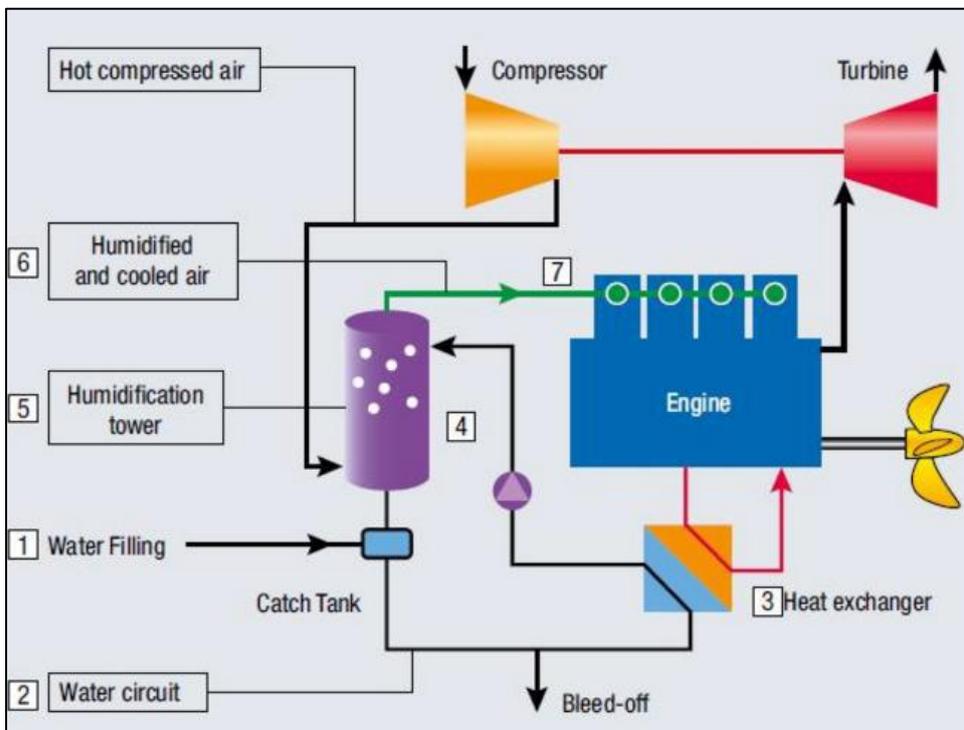
Fuente: Peña (2016, p.61).

Esta técnica se basa en una inyección de agua anticipada a la de combustible, con el fin de que la zona de combustión pueda enfriarse sin necesitar que interfieran los chorros de combustible y agua (García, 2018).

### **3. Humidificación de la carga de aire**

Peña (2016) señala que este proceso puede contribuir a disminuir los niveles de NOx hasta 2 a 3 g/kWh y sin incrementar el dispendio del combustible. En este proceso, el aire de carga se humedece a través de la inyección de agua en un rociado esparcido en la entrada de aire del motor, con el propósito de impregnar. Generalmente, este tipo de proceso se realiza próximo a la salida del compresor, debido a que en ese punto la temperatura es elevada, y esto resulta más conveniente para la vaporización del agua inyectada. Dicha humidificación del aire representa una respuesta básicamente simple en el potencial de mermar las

emisiones de NOx y de no ejecutar los cambios en el motor. El precepto elemental del funcionamiento está representado en el esquema presentado a continuación:



**Figura 7.** Sistema de humidificación de la carga de aire.

Fuente: Peña (2016, p.62).

Los componentes principales que integran un sistema son los siguientes:

- Humidificador ("torre de humidificación")
- Tanque de drenaje ("*Catch Tank*")
- Sistema de abastecimiento de agua y unidades de precalentamiento de la misma ("*Heat Exchanger*")
- Sistema de monitorización y control

De forma inicial, el agua comienza el proceso de bombeo en el tanque de almacenamiento, en este, se calienta mediante un intercambiador de calor, empleado en los gases de escape o bien sea en el motor refrigerado por agua, de forma previa al humidificador. En este aparato de agua caliente, se procede a la

pulverización sobre el aire comprimido, del mismo modo en alta temperatura, en tres ciclos, con un incremento de la pulverización superficial que se presenta entre los pasos, lo que permite contribuir a la vaporización del fluido (Peña, 2016).

García (2018) refiere que el proceso de enfriamiento del aire de admisión resulta realmente importante en el momento en que se intentan disminuir las emisiones de NOx. Todo aquello que lleva a reducir la temperatura de la llama, cooperará a disminuir las emisiones de NOx como una desventaja del enfriamiento, pero pueden aumentar las emisiones de HC. De la misma manera, el autor hace referencia a las ventajas del proceso del inicio del sistema, las cuales son las siguientes:

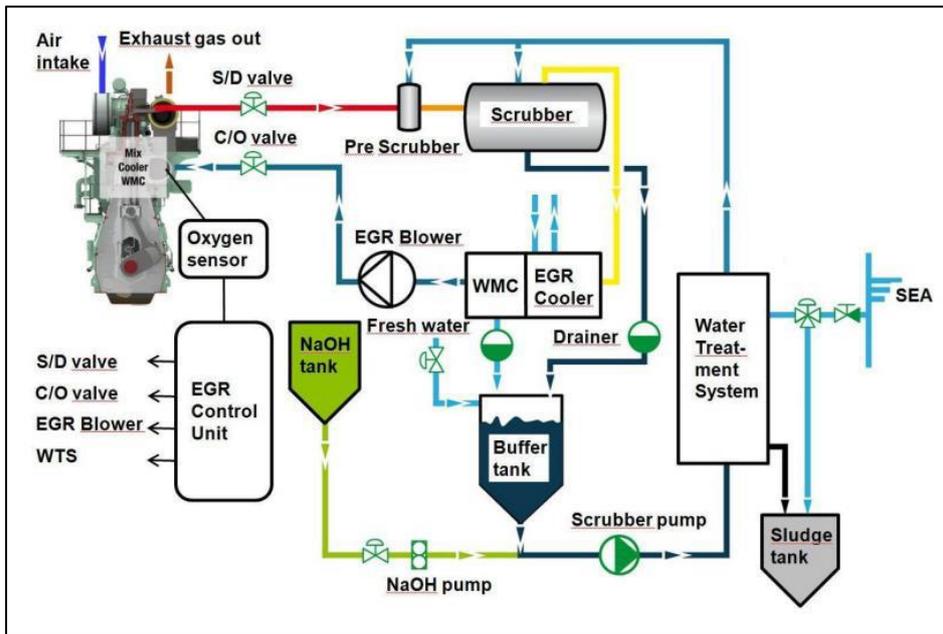
- Elevada disminución del NOx – un óptimo rendimiento a cargas total y parcial.
- Destacados bajos costos operativos – no se necesitan agentes reductores de NOx.
- Disminución del consumo de combustible – y no se exigen requisitos para los combustibles bajos en azufre.
- Un adecuado rendimiento del motor – carga térmica reducida, un motor en condiciones más limpias.
- Condiciones mínimas de mantenimiento – debido a un sistema de auto-soporte.
- Un método ambientalmente racional – que emplea exclusivamente agua que se obtiene del mar.

#### **4. Recirculación de gases de escape (EGR)**

García (2018) hace referencia que la recirculación de gases de escape (EGR- *Exhaust Gas Recirculation*) es una estrategia empleada para reducir la formación de NOx por vía térmica, incrementando la cantidad de gases residuales retenidos en el cilindro al cerrar la admisión.

Peña (2016) sostiene que aquellos motores que cuentan con el sistema EGR, tienen la capacidad de eliminar el incremento de la temperatura del gas carburante y las reacciones térmicas del establecimiento del NOx a través de la recirculación, el enfriamiento y la limpieza de una porción de los gases de escape, a partir del motor hasta el aire de admisión con el propósito de disminuir la concentración del oxígeno en la cámara de combustión y así poder incrementar la relación de los gases inalterables, como es el caso del dióxido de carbono, disminuyendo de este modo así el pico de temperatura de combustión y la creación de NOx que contiene el gas de escape. La disminución del NOx está casi vinculada a la relación de gases de escape recirculado.

Si se presta atención a los elementos principales del sistema EGR, se puede observar que este sistema circula nuevamente y enfría una parte diminuta de los gases de escape, procediendo a mezclarlos con el aire de barrido, esto contribuye que se reduzca la temperatura máxima de combustión y con esto también de la configuración de los óxidos de nitrógeno. El principio de funcionamiento se muestra en la siguiente Figura (Peña, 2016):



**Figura 8.** Elementos principales del EGR.

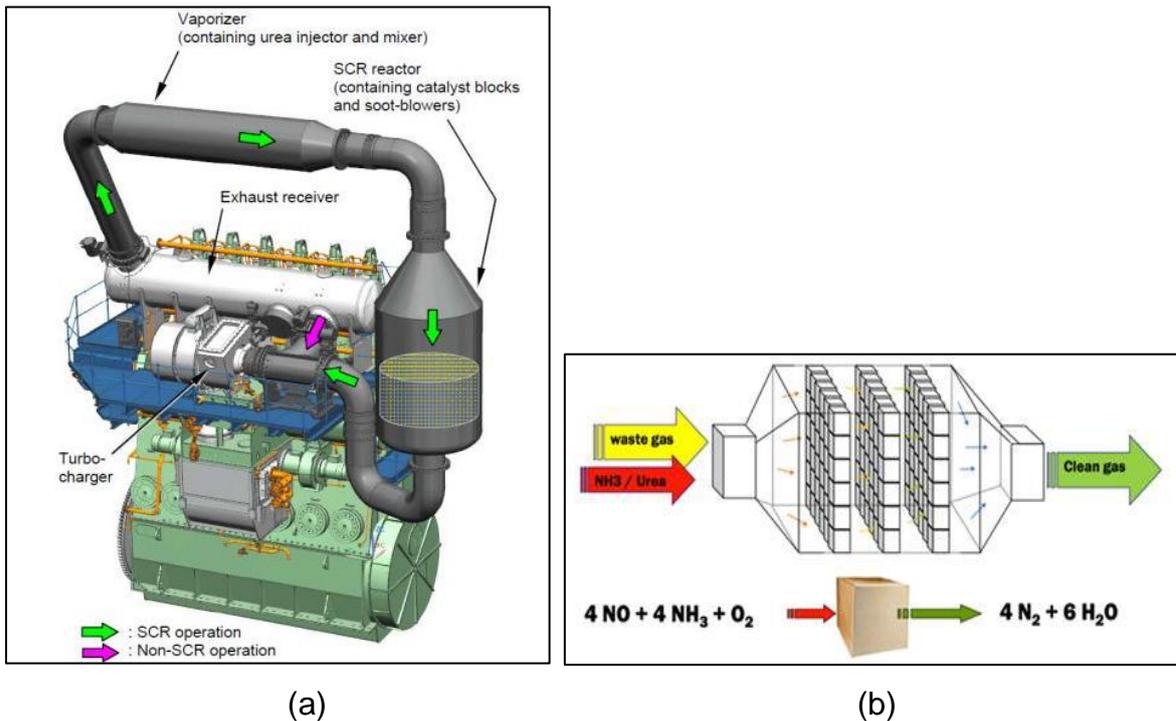
Fuente: Peña (2016, p.64).

### **5. Reducción Catalítica Selectiva (SCR)**

Según García (2018), esta se especifica como una tecnología de control tras la combustión, fundamentadas en la disminución química de los óxidos de nitrógeno (NOx) al nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>) y a vapor de agua (H<sub>2</sub>O). La Reducción Catalítica Selectiva se fundamenta en la disminución de los óxidos de nitrógeno (NOx) con la inyección de amoníaco (NH<sub>3</sub>), en concurrencia del exceso de oxígeno (O<sub>2</sub>) y un catalizador, lo mencionado en una categoría de temperatura considerada apropiada, propician la conversión de los NOx en sustancias inofensivas como es el caso del nitrógeno (N<sub>2</sub>) y en vapor de agua (H<sub>2</sub>O).

Por su parte, Peña (2016) sostiene que el proceso de Reducción Catalítica Selectiva se basa en una estructura ubicada sobre el embudo del tubo de escape que posee un catalizador. Un elemento reductor pasa a inyectarse en el interior de la carcasa, produciendo que el NOx que contienen los gases de escape, puedan reducirse de forma química resultando en gas nitrógeno (N<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O).

Mientras que el catalizador se trata de un área metálica que entra en contacto con el reductor y el gas de escape, la precipitación de las reacciones químicas. El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) o urea ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ) son elementos reductores comunes, y en el caso de los óxidos de metal (óxido de vanadio o de óxido de titanio), estos intervienen como catalizadores.



**Figura 9.** Sistema SCR integrado en el motor.  
Fuente: Peña (2016, p.71).

García (2018) indica que estas reacciones a continuación son las que deben desarrollarse en el interior del SCR de un  $\text{NO}_x$  reactivo ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) cuando se mezcla con una solución de urea en la atmósfera que sea rica en  $\text{O}_2$  obteniendo  $\text{N}_2$ , la cual es una sustancia no nociva para la atmósfera y agua que pasa a evaporarse.

1.  $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
2.  $6\text{NO}_2 + 8\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$
3.  $\text{NO} + \text{NO}_2 + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

Bajo las condiciones comunes del proceso SCR, como el exceso de NO, relación de entrada de NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> menor de la unidad, porcentaje de O<sub>2</sub> entre 2-5 % vol. y temperaturas menores de 400°C, la reacción (1) predominará.

De acuerdo García (2018) estas serían las ventajas y desventajas del SCR:

- Ventajas:
  - Alcanza entre un 80/90% de reducción de las emisiones NO<sub>x</sub> contaminantes.
  - Disminuyen las emisiones de NO<sub>x</sub> hasta un 2 g/kWh.
  - Emplear este sistema no perjudica el rendimiento del motor, puesto que no interfiere en la combustión.
  - No requiere un gran espacio para ocupar.
  - El control está supeditado a la dosificación. En este sentido, mientras mayor dosificación de amoníaco, solución de urea (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), mayor será la eliminación del NO<sub>x</sub>.
- Desventajas:
  - Tanto la instalación, como la operación y el mantenimiento resultan costosos.

### **Soluciones técnicas para reducir las emisiones SO<sub>x</sub>**

Sendín (2019) sostiene que para poder atacar la emisión de SO<sub>x</sub> tras el proceso de combustión, se pueden emplear distintos métodos como es el caso de combustibles que posean un bajo contenido en azufre, alternativos o los sistemas de limpieza de los gases de escape. Entonces como soluciones técnicas, se cuenta con los *scrubber*, o depuradores para la limpieza de los gases de escape, cuentan con uno instalado en el conducto de escape, en donde los gases son tratados con distintas

sustancias con el propósito de disminuir la mayor cantidad posible de óxido de azufre y de materia particulada, además de una pequeña cantidad de óxido de nitrógeno.

García (2018) definió a los *Scrubber* como un instrumento que se emplea para el lavado de gases, en este se separan los componentes que no se desean en una corriente gaseosa, mediante el contacto con la superficie de una sustancia líquida, sin importar si es encima de una masa húmeda, mediante un rociador o borboteador. Estos depuradores fueron recibidos de manera general para emplearlos en la limpieza de gases, debido a sus niveles de eficiencia, los mismos tienen como propósito disminuir la cantidad de SO<sub>x</sub>, además de reducir la cantidad de impurezas que se encuentran suspendidas en el ambiente.

En este particular, Peña (2016) indica el depurador consiste en un dispositivo que está instalado en el sistema de escape, luego del motor o de la caldera y que se encarga de tratar el gas con una multiplicidad de sustancias, incluyendo el agua de mar o bien sea el agua dulce que está tratada de forma química o sustancias secas con la finalidad de suprimir la mayor parte de los SO<sub>x</sub> (>90%) a través de los gases de escape y disminuir la PM (de 60 a 90%) y de NO<sub>x</sub> (<10%) en cierta forma. Tras el proceso de limpieza, los gases que han sido lavados serán emitidos a la atmósfera, en el caso de las tecnologías de depuración, éstas producen un flujo de residuos que tiene la sustancia empleada para el proceso de limpieza, más los SO<sub>x</sub> y PM sustraído de los gases de escape.

Romeo (2018) refiere que se toma aproximadamente 20 días instalar un depurador en una embarcación que ya esté construida. El mayor problema que enfrenta este sistema consiste en la descarga al mar del agua que es utilizada para

el lavado de gases en los depuradores de circuito abierto. También resulta un inconveniente el tratamiento de la sosa en los depuradores de circuito cerrado. Una problemática común en todos consiste en el peso de estos equipos, pues resulta que deben ubicarse en cotas muy elevadas próximas a la caldera lo cual puede ocasionar una alteración en la estabilidad transversal del navío e incluso se puede hacer necesario que debe realizarse un nuevo cálculo de la estabilidad cuando se trata de buques pequeños.

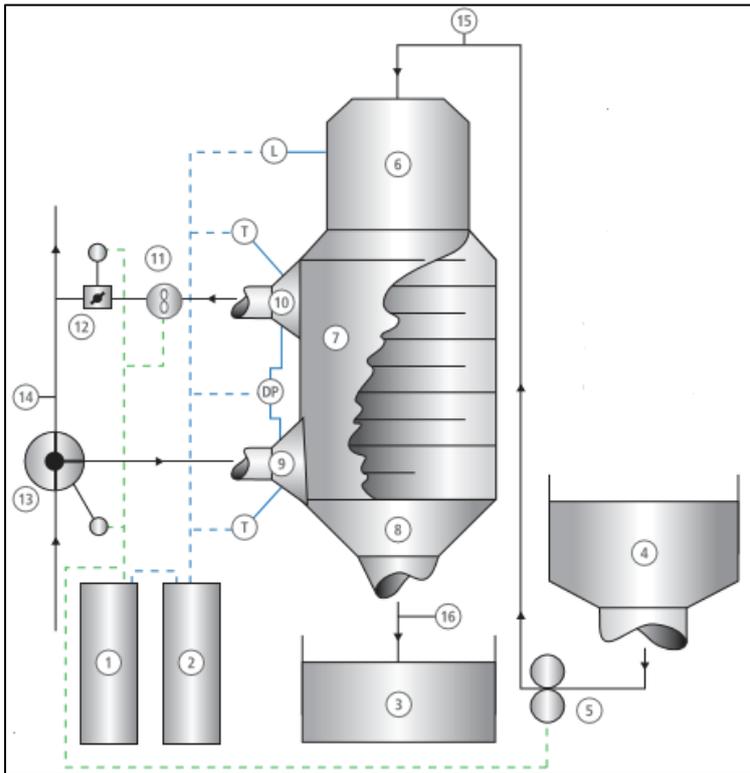
De acuerdo a Sendín (2019), existen diferentes tipos de *Scrubbers*, entre los cuales se destacan los:

1. *Scrubber* secos.
2. *Scrubber* húmedos.
  - Regenerativo o abierto.
  - No regenerativo o cerrado
  - Híbrido.

### **1. *Scrubber* de tipo seco**

Peña (2016) indica que este tipo de depurador no emplea agua o cualquier otro tipo de sustancias líquidas para realizar el proceso de lavado. En este caso, el depurador contiene exclusivamente cal hidratada granulada que al estar en contacto con los gases de escape forman una reacción química que se encarga de deshacerse de los compuestos de SO<sub>x</sub> que resultan de la emisión. Debido a que los gases de escape no atraviesan el agua, no llegan a enfriarse por lo que los depuradores secos pueden ser ubicados antes de un economizador de gases de escape (EGE) o puede ser empleado en conjunto con las unidades del sistema reactor catalítico, que por lo general necesitan que las temperaturas de los gases

de escape superen los 350°C para para contribuir a que los catalizadores funcionen adecuadamente o bien sea para disminuir las emisiones de SOx y NOx. Este tipos de depuradores hacen uso del hidróxido de calcio o como también se le conoce cal hidratada, la cual genera una reacción con el dióxido de azufre SO<sub>2</sub> y forma el sulfito de calcio CaSO<sub>3</sub>



**Figura 10.** Depurador de gases tipo seco, principales componentes.

Fuente: Peña (2016, p.82).

El *scrubber* de tipo seco posee unos componentes que lo caracterizan y son los presentados a continuación: 1. Cabina de control. 2. Cabina de monitoreo. 3. Residuos de la reacción. 4. Tanque de granulado. 5. Bomba neumática inyección. 6. Zona inyección granulado. 7. Depurador. 8. Productos reactivos. 9. Entrada de gases. 10. Salida de gases. 11. Ventilador extractor. 12. Válvula de insolación. 13. Válvulas 3 vías/bypass. 14. Conducto de gases. 15. Entrada de granulados. 16. Salida productos reactivos (Peña, 2016).

Romeo (2018) señala que estos sistemas pueden llegar a eliminar hasta el 99% del SOx mediante la utilización de un reactor lleno con hidróxido de calcio granulado. Algunas de las ventajas de los sistemas de limpieza de gases de escape de tipo seco son:

- El consumo energético del sistema es insignificante.
- Se pueden eliminar tanto los NOx como los SOx con un solo sistema de limpieza de gases de escape, y de esta manera cumplir con las normativas respecto a ello, sin tener que instalar otros dispositivos como los circuitos de Reducción Catalítica Selectiva para la eliminación de NOx.
- El material que se utiliza para la reacción es en forma granulada que proporciona la ventaja de que es más fácilmente manejable y reciclada.
- Por otro lado, con este sistema no se transmiten contaminantes al mar durante su uso.

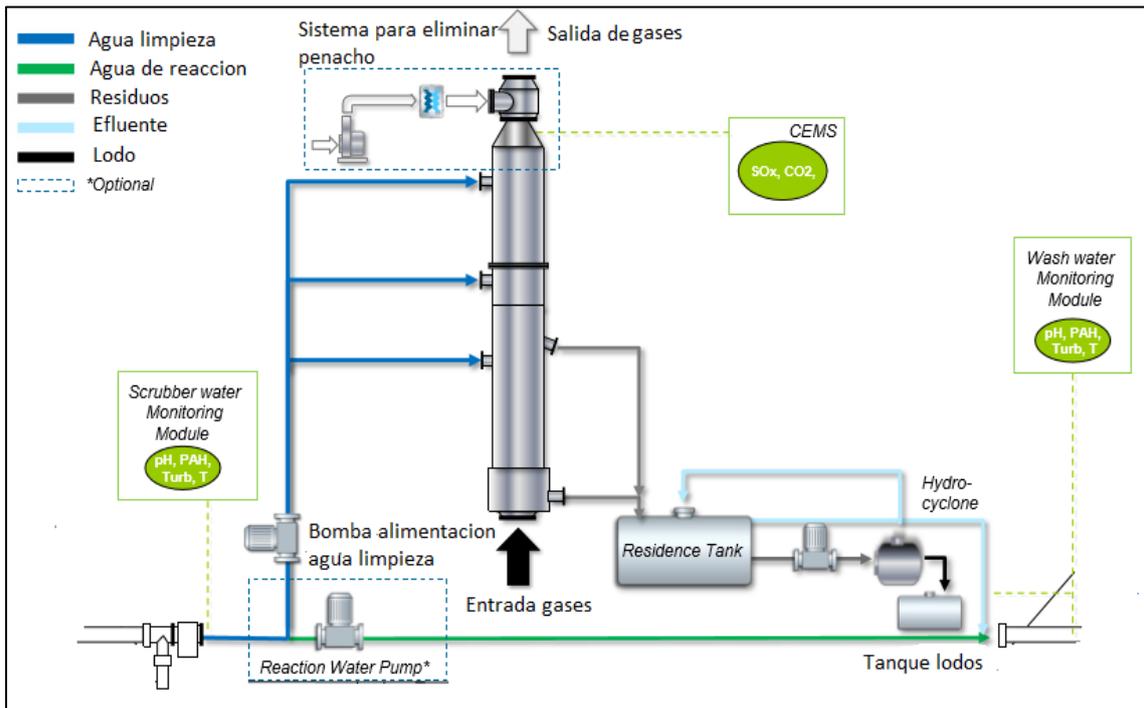
## **2. Scrubber de tipo húmedo**

Romeo (2018) hace referencia a que la tecnología que es mayormente utilizada es aquella que hace uso del agua (*wet scrubbers*) con la finalidad de purificar los gases de exhaustación. Al emplear este método, los gases se depuran de los componentes de azufre (SOx) y de materia particulada, utilizando agua salada si se trata de un circuito abierto o dulce y un aditivo alcalino al tratarse de un circuito cerrado.

### **a) Scrubbers a circuito abierto de agua salada**

De acuerdo a Peña (2016), el *scrubber* de circuito abierto se encarga de limpiar directamente el gas de escape con agua de mar, aprovechando sus características naturales como la alcalinidad con los fines de lograr que los SOx se neutralice para

luego ser descargado nuevamente al océano. Este proceso requiere de una cantidad menor en los equipos, por ende se refleja en una reducción en los costes de inversión y de instalación que ahora pasan a ser más sencillos. En el mismo sentido, el costo de la operación será el mínimo posible debido a que no se cuentan con consumibles.



**Figura 11.** Depurador de gases tipo abierto.

Fuente: Peña (2016, p.85).

En este sistema, una vez que ya se han depurado los gases de exhaustación, el agua de mar procede a pasar a un sistema de tratamiento de la misma. En dicho sistema, las partículas sólidas son transportadas a tanques especiales que son descargados en el puerto y el agua que resta se mezcla con agua dulce con la finalidad de realizar un ajuste del pH antes de ser vertida en el mar. Al emplear este procedimiento, el mismo permite que se separe el 98% de SO<sub>2</sub>, de manera tal que podrá emplearse mientras se consume fuel de 3,5%S y de

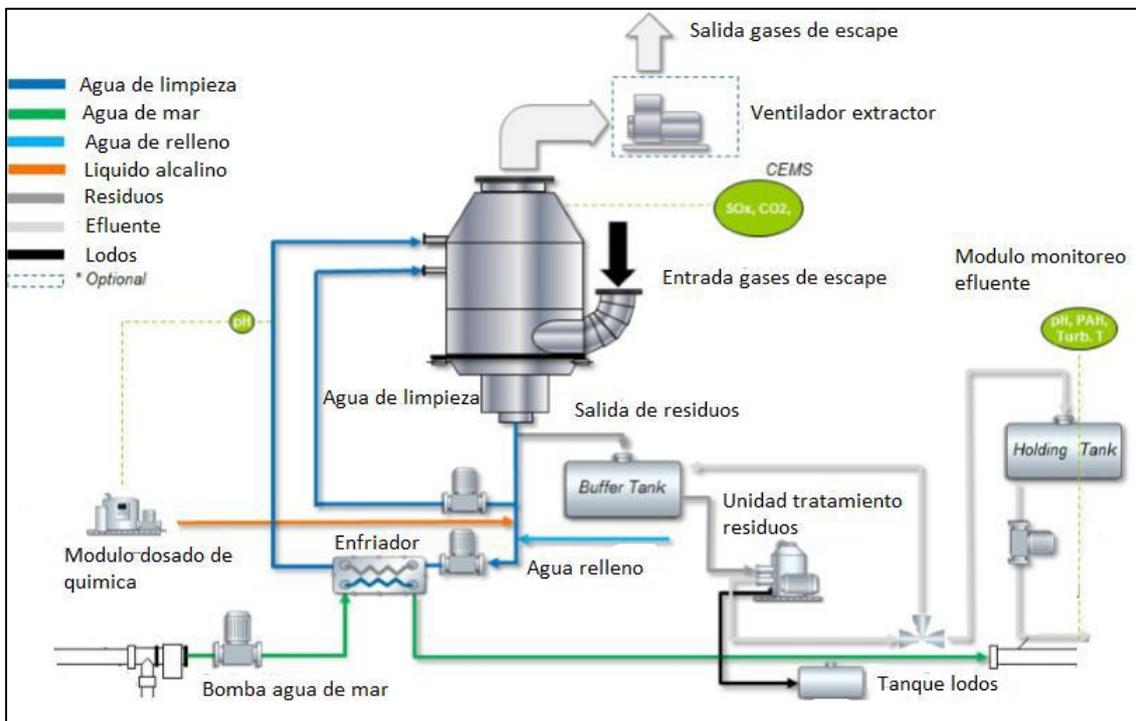
este modo poder encontrar emisiones que equivalgan a las que resultan tras haber quemado un combustible con 0,1%S (Romeo, 2018).

#### **b) Scrubbers a circuito cerrado de agua dulce**

Peña (2016) refiere que en el proceso del lavado en el circuito cerrado, el agua empleada es dosificada utilizando un aditivo alcalino, por lo general suele ser sosa cáustica) que luego pasa a recirculación. Este último proceso genera que se acumulen las impurezas y se reduzca el efecto de lavado, por lo que una parte del agua de circulación se limpia de forma periódica, es descargada y pasa a ser reemplazada por agua dulce con el fin de retener la capacidad. El aditivo se encarga de controlar la alcalinidad del agua dentro de la torre de lavado, por esto su alcalinidad no resulta importante. Por otra parte, el proceso de descarga marítima puede evitarse por completo durante largos intervalos de tiempo.

Romeo (2018) señala que este sistema emplea una solución alcalina que es producida tras mezclar agua dulce con sosa cáustica NaOH. Dicha solución se encarga de neutralizar los elementos que componen el SO<sub>x</sub> de los gases de exhaustación. Tras lavar los gases, se lleva a un tanque de procesamiento donde pasan a ser lavados con agua dulce nueva y nuevamente se mezcla con el NaOH para volver a pulverizarse sobre los gases de exhaustación. Debido a que el proceso para el tratamiento del agua de lavado necesita que una porción de la solución alcalina no pueda utilizarse nuevamente, debe ser llevada a un tanque especial que se conoce como *holding tank* para posteriormente ser descargada en puerto. De todas maneras, esta cantidad viene siendo de apenas 1% del volumen circulado, significativamente menor en comparación al circuito abierto. Los

sedimentos sólidos son trasladados al tanque de lodos “*sludge tank*” con el fin de ser descargados en puerto.



**Figura 12.** Depurador de gases tipo cerrado.

Fuente: Peña (2016, p.88).

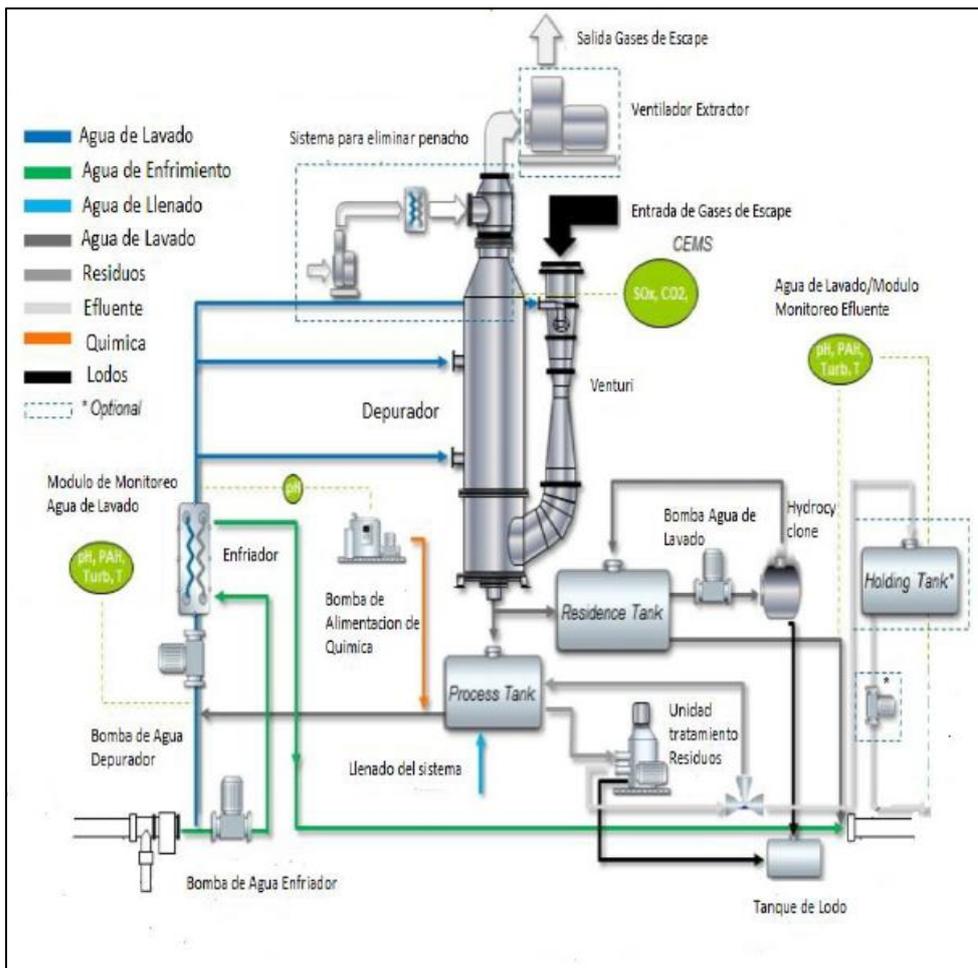
### c) **Scrubbers a circuito híbrido**

Romeo (2018) indica que este sistema admite un funcionamiento flexible que le permite operar en un circuito abierto o cerrado. Su ventaja radica específicamente en que pueda funcionar en un circuito sin descargas cuando el agua tiene baja alcalinidad o cuando las regulaciones locales restrinjan las descargas. Su mayor inconveniente consiste en su coste elevado y de un mayor número de equipos a bordo. Es el segundo sistema más elegido por los armadores según las fuentes consultadas.

Sendín (2019) sostiene que este tipo de sistema se emplea para poder operar en ambos circuitos. Si la alcalinidad propia del agua marina es elevada, se tratará de un sistema de circuito abierto y cuando pasen por zonas con una menor

alcalinidad, el sistema se convierte en uno para circuito cerrado. Si se trata de este último, se necesitará la adicción de hidróxido de sodio para incrementar la alcalinidad y que el sistema continúe funcionando óptimamente.

Peña (2016) hace mención a que los mismos operan como un sistema de circuito abierto en el momento en que se encuentra en el mar abierto; y como un circuito cerrado cuando se encuentran en las Zonas ECA. El cambio de un circuito abierto a uno cerrado se realiza con un cambio en la succión de la bomba de circulación de agua marina para el tanque de agua dulce de circulación y el cambio de la descarga del agua empleada para el lavado de la descarga en el mar al tanque de circulación.



**Figura 13.** Depurador de gases tipo híbrido.

Fuente: Peña (2016, p.91).

### 2.1.3. Definiciones conceptuales

**Cambio de combustibles:** Consiste en el proceso en el que se sustituyen los combustibles residuales por los combustibles ligeros que cuentan con un por ciento de azufre reducido (Peña, 2016).

**Contaminación ambiental:** Se refiere a la presencia de agentes externos de origen ya sea físico; químico o biológico, que atentan contra la integridad de la naturaleza, llegando a ser nocivo no solo para el ambiente, sino también para los seres vivos que habitan en él (Cumbres Pueblos, 2017).

**Contaminación atmosférica:** La contaminación atmosférica es definida como la polución de nuestra atmósfera, es decir, la presencia en ella de elementos que resultan contaminantes y que pueden provocar efectos negativos en la salud de las personas y el medio natural (Moriana, 2018).

**Reederei Nord:** Una empresa, establecida en 1964 por el difunto Sr. Klaus E. Oldendorff. La empresa comenzó a operar el 12 de diciembre de 1964, cuando recibió en Kiel un buque de un solo piso de 1.417 toneladas de peso muerto llamado "BOCKHOLM" en su dirección. Al día siguiente, 13 de diciembre, la empresa abrió su primera oficina en Hamburgo.

**La Flota Nord:** La Compañía se compone actualmente de tres sociedades de gestión independientes REEDEREI NORD GMBH ubicadas en Hamburgo, Alemania con enfoque en el tonelaje seco y REEDEREI NORD BV ubicada en Amsterdam Holanda con su enfoque principal en el tonelaje húmedo, así como REEDEREI NORD SHIPMANAGEMENT LIMITED, ubicada en Limassol, Chipre, se centra en la dotación de buques tanque y también proporciona servicios de gestión de terceros para un grupo de buques portacontenedores.

**Regulaciones para reducir las emisiones NOx y SOx:** El Anexo VI del Convenio MARPOL tuvo cambios significativos, en este sentido figuran la disminución progresiva de las emisiones de SOx en la Regla 13, de NOx y de materia particulada de acuerdo a la Regla 14 a nivel mundial, además de la creación de las Zonas de Control de las Emisiones (ECA) (OMI, 2019b).

**Scrubber:** Se trata de un aparato que se emplea para el lavado de gases, en este instrumento los componentes que no se desean en una corriente gaseosa proceden a ser separados mediante el contacto con la superficie de un líquido, sin importar si es encima de una masa en estado húmedo mediante un rociador o borbotado, entre otros (García, 2018).

**Soluciones Técnicas para Contener las Emisiones de los Motores:** Mercado de diversas soluciones técnicas y asesoría de la sociedad de clasificación al que pertenecen los fabricantes de motores y equipos, para poder equipar sus motores y sistemas de escape con las tecnologías o medidas convenientes (Peña, 2016).

**Soluciones técnicas primarias:** Este tipo de soluciones actúan de manera directa en la combustión que se produce en el motor. Así se impedirá que se constituyan las sustancias contaminantes (Sendín, 2019).

**Soluciones técnicas secundarias:** Estas soluciones actúan cuando la sustancia contaminante ya se ha formado en la combustión y la misma será tratada con el propósito de disminuirla o eliminarla con el fin de que se acate la legislación (Sendín, 2019).

**Zona de control de emisiones:** Se entiende como una zona en la que es necesario adoptar medidas especiales de carácter obligatorio para prevenir, reducir y

contener la contaminación atmosférica de las emisiones provenientes de los procesos de combustión del motor (MARPOL 73/78, 2002).

## **2.2. Formulación de la hipótesis**

### **2.2.1. Hipótesis general**

Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord en el 2020.

### **2.2.2. Hipótesis específicas**

1. Existe un nivel de conocimiento significativo sobre las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.
2. Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios de combustibles para el cumplimiento del anexo VI del MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.
3. Existe un nivel de conocimiento significativo sobre las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI del MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

### **2.2.3. Descripción de variables**

**Variable 1:** Conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

### **Definición conceptual**

El Anexo VI del Convenio MARPOL establece límites en las emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno provenientes de los gases producidos por los motores diésel marinos, que prohíbe las emisiones deliberadas de sustancias que agotan la capa de ozono, así como la incineración a bordo de ciertas sustancias correspondientes a materiales de embalaje, envases contaminados y difenilos policlorados (PCB). Contiene, además, disposiciones que permiten el establecimiento de Zonas de Control de emisiones (Carlier, 2004).

### **Definición operacional**

El conocimiento en el tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del Anexo VI MARPOL se establece mediante un cuestionario que permite evaluar su aspecto cognitivo sobre las regulaciones NO<sub>x</sub> SO<sub>x</sub> y material particulado, así como los aspectos esenciales a considerar en el proceso de cambio de combustible y las diferentes soluciones técnicas en el mercado para contener las emisiones de los motores.

### **Dimensiones**

- Regulaciones.
- Cambio de combustible.
- Soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores.

## **CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3.1. Diseño de la investigación**

El presente estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental, de corte transeccional y de nivel descriptivo, en virtud de que se describió el nivel de conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL, en la aplicación directa y única de un cuestionario a los Oficiales de máquinas de la flota Reederei Nord, datos que no se manipularon bajo concepto experimental. En este sentido, según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) la investigación no experimental se refiere a “Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (p.175).

De acuerdo a que los datos fueron recolectados en la aplicación única del instrumento, confiere medida transeccional entendidas como “Investigaciones que recopilan datos en un momento único”. (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p.177)

De la misma forma, el hecho de describir el nivel de conocimiento en los oficiales, le confiere un alcance de investigación descriptivo, dado que según su definición el mismo “Indagan la incidencia de las modalidades, categorías o niveles de una o más variables en una población; son estudios puramente descriptivos”. (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p.178)

Conforme lo anteriormente planteado la investigación se describe mediante el siguiente diagrama:



Donde:

**M:** Muestra: Oficiales de máquinas de la flota Reederei Nord.

**Ox:** Comportamiento de la variable: Conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

### 3.2. Población y muestra

#### **Población**

La población se conformó por el tercer y cuarto oficial de máquinas a bordo de las embarcaciones de la flota Reederei Nord al año 2020, constituida por un total de 32 oficiales. En este particular se ha de saber, según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), que la población o universo corresponden al “Conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (p.199).

## Muestra

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la muestra es un “Subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de esta, si se desean generalizar los resultados”. (p.196)

Por su parte, Gave, Gonzales, Oseda y Ramírez (2011), sostienen que “cuando la población es relativamente pequeña no hace falta determinar la muestra, en este caso la muestra se le denomina muestra poblacional o muestra censal” (p.144). En este sentido, por contar con una población considerada pequeña, se determina como muestra de estudio al 100% de los Oficiales, muestra de tipo censal, es decir se consideraron a los 32 Oficiales de máquinas de la flota Reederei Nord que conforman la población.

### 3.3. Operacionalización de variables

**Tabla 10.** Operacionalización de la variable.

Variable	Dimensión	Indicadores	Ítems	Escala de medida	Niveles y Rangos
Conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL	Regulaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regla 13 – Óxido de nitrógeno (NOx).</li> <li>- Regla 14 – Óxido de azufre (SOx).</li> <li>- Zonas de control de emisiones (ECA).</li> </ul>	1 - 6	Dicotómica	Alto (5 – 6)
	Cambio de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Características de los combustibles.</li> <li>- Aspectos a considerar.</li> <li>- Modificaciones requeridas.</li> </ul>	7 - 12	Correcto (1)	Medio (3 – 4)
	Soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soluciones técnicas para reducir las emisiones NOx.</li> <li>- Soluciones técnicas para reducir las emisiones SOx.</li> </ul>	13 - 18	Incorrecto (0)	Bajo (0 – 2)

Fuente: Elaboración propia.

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

#### **3.4.1. Técnicas**

Para efectos del estudio se empleó la técnica de la encuesta mediante la aplicación de un cuestionario que reúne preguntas destinadas a evaluar sobre la variable en estudio y sus dimensiones. Conforme a la encuesta como técnica, Bernal (2010) sostiene que “La encuesta se fundamenta en un cuestionario o conjunto de preguntas que se preparan con el propósito de obtener información de las personas” (p.194).

#### **3.4.2. Instrumento**

Conforme al instrumento, se estableció un cuestionario orientado a medir el nivel de conocimiento de los oficiales que integran la muestra, para ello se destinaron preguntas conforme a la variable, dimensiones e indicadores de estudio. En este sentido, Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), sostienen que el mismo “Consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir” (p.251).

Al respecto, el cuestionario se conforma por un total de 18 preguntas con opciones de selección simple, medidas en escala dicotómica (correcto e incorrecto), las mismas se distribuyeron según las dimensiones de estudio, los ítems del 1 al 6 hacen referencia a la dimensión de regulaciones, los ítems del 7 al 12 se refieren a la dimensión de cambios de combustibles, mientras que los ítems del 13 al 18 se deben a la dimensión de soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores. Los puntajes totales obtenidos de la aplicación del mismo, conllevan a presentar sus resultados en los niveles: Alto, Medio y Bajo. (Ver Anexo 3)

### 3.4.2.1. Validez.

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la validez de un instrumento se refiere al “grado en que un instrumento en verdad mide la variable que se busca medir. Se logra cuando se demuestra que el instrumento refleja el concepto abstracto a través de sus indicadores empíricos” (p.299).

De este modo, la validez del instrumento aplicado se estableció conforme a la opinión de expertos, quienes emitieron un juicio crítico en cuanto a las preguntas propuestas a medir el nivel de conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL, ofreciendo su opinión y aceptación conforme a los criterios de objetividad, sustentabilidad, pertinencia y organización. Mismos que se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Validez de los instrumentos por juicio de expertos.

Experto	Juicio emitido
Ing. Castro Rivero Walter Luis	Aceptado
Ing. Fernández Cerna Saul	Aceptable
Ing. Pantoja Pascual Joe	Aceptable
Ing. Povich Lino Víctor Paul	Aceptable
Mg. Gil López José Martin	Aceptable

Fuente: Fichas de validación (Ver Anexo 4).

### 3.4.2.2. Confiabilidad.

Al respecto, Bernal (2010) sostiene que “La confiabilidad de un cuestionario se refiere a la consistencia de las puntuaciones obtenidas por las mismas personas, cuando se las examina en distintas ocasiones con los mismos cuestionarios” (p.247).

Por lo tanto, la confiabilidad del instrumento para efectos de la investigación se estableció a través de una muestra piloto, constituida por 10 oficiales de máquina, a quienes se les aplicó el cuestionario en virtud de medir si la aplicación repetida del mismo ofrece resultados constantes, para ello la información recolectada se procesó haciendo uso de la fórmula de Kuder–Richardson, por codificar sus respuestas en opciones dicotómicas, y el resultado obtenido se contrastó con los criterios establecidos en la Tabla 12.

**Tabla 12.** *Criterios para evaluar el nivel de confiabilidad de los instrumentos.*

Valores	Nivel de confiabilidad
0	Nula confiabilidad
0.1 a 0.24	Muy baja confiabilidad
0.25 a 0.49	Baja confiabilidad
0.5 a 0.75	Regular confiabilidad
0.76 a 0.89	Aceptable confiabilidad
0.90 a 0.99	Elevada confiabilidad
1	Total o perfecta confiabilidad

Fuente: Hernández, Fernández y Baptista (2014, p.207).

Siguiendo este orden, en la Tabla 13 se evidencian los resultados de la prueba de Kuder–Richardson, donde el instrumento de conocimiento de cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL ofrece un valor de  $Kr(20) = 0.808$ , lo cual demuestra una aceptable confiabilidad.

**Tabla 13.** *Resultados de confiabilidad del instrumento sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.*

Variable	Kr (20)	N de ítems
Conocimiento de cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL	0.808	18

Fuente: Prueba piloto.

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

Como técnica para el proceso de análisis de datos, se ofrecen los siguientes pasos:

- **Primero**, se realizó un análisis documental para sustentar las variables y dimensiones de estudio.
- **Segundo**, se crearon los instrumentos, estableciendo la validez y confiabilidad de los mismos.
- **Tercero**, se aplicó el instrumento recolectando la información necesaria para medir la variable y las dimensiones.
- **Cuarto**, la información recolectada se registró pregunta por pregunta en base de datos, clasificando los puntajes obtenidos según los niveles establecidos (Alto, medio, Bajo) utilizando el software Microsoft Excel y SPSS v.25.
- **Quinto**, una vez registrada la información, se realizó un análisis descriptivo, presentando los resultados en frecuencias simples y porcentajes a través de tablas y gráficas, seguidamente se realizó un análisis inferencial, que inició con la prueba de normalidad de los datos, en este caso la prueba de Shapiro-Wilk por tratarse de una muestra menor a 50 elementos, este permitió elegir para el contraste de hipótesis la prueba no paramétrica de Chi- cuadrado de ajuste e independencia, siendo sus resultados refrendados con el nivel de significancia del 5% y un nivel de confianza del 95%, lo cual permitió tomar las decisiones en cada una de las hipótesis planteadas.
- **Sexto**, a raíz de los resultados obtenidos, se estableció el análisis y discusión de los mismos, se generaron conclusiones y establecieron recomendaciones.

### **3.6. Aspectos éticos**

Como principio ético, la investigación se fundamenta en el respeto a la moral y la responsabilidad. Al respetar en todo momento del proceso investigativo la autoría en las diferentes citas utilizadas, cumpliendo con las pautas establecidas en las normas APA, y medidas dispuestas por la Escuela Nacional de Marina Mercante Almirante “Miguel Grau”; de igual manera, se respetó la identidad de cada oficial que participó en el desarrollo del estudio, no exponiendo los resultados de su cuestionario, solo haciendo uso de este en el proceso de resultados como aporte académico. Así mismo se garantiza la autoría del estudio, y el fiel cumplimiento a todas las exigencias que requiere su evolución, atendiendo todos los puntos establecidos por la casa de estudio mencionada.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

### **4.1. Análisis estadístico descriptivo**

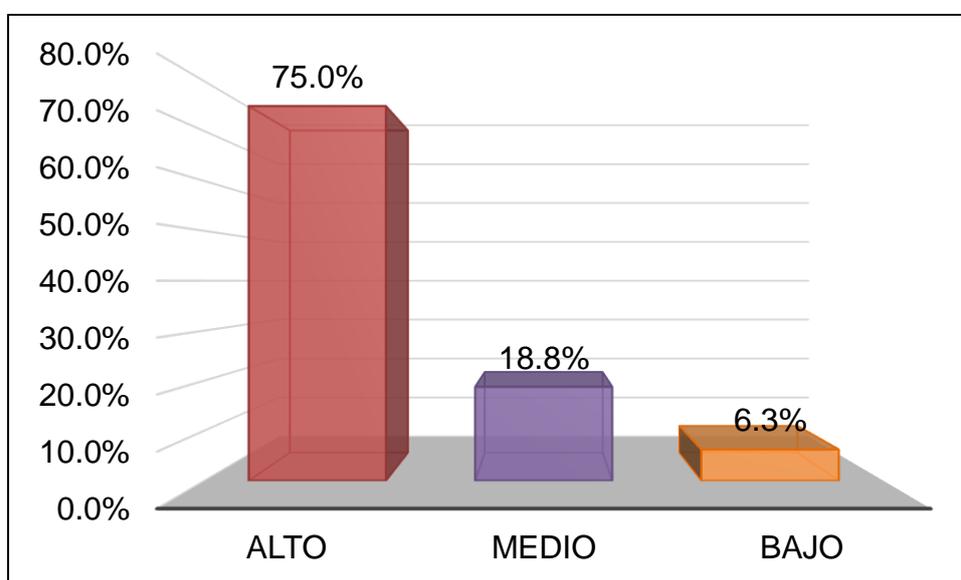
#### **4.1.1. Resultados del nivel de conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL**

En respuesta al **objetivo general** planteado en la investigación, al determinar el nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord en el 2020, se adquirieron los siguientes resultados:

**Tabla 14.** Resultados del nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord.

Nivel de Conocimiento	Frecuencia	Porcentaje
Alto	24	75.0%
Medio	6	18.8%
Bajo	2	6.3%
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 14.** Resultados del nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord.

En la Tabla 14 y Figura 14, se evidencia que del total de oficiales de máquinas evaluados en la flota Reederei Nord, el 75% presenta un nivel de conocimiento teórico alto acerca de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. Por su parte el 18.8% de los oficiales presenta un nivel medio de conocimiento teórico acerca de los cambios en las

operaciones de máquina, mientras que el 6.3% de los oficiales reporta un bajo nivel de conocimiento teórico.

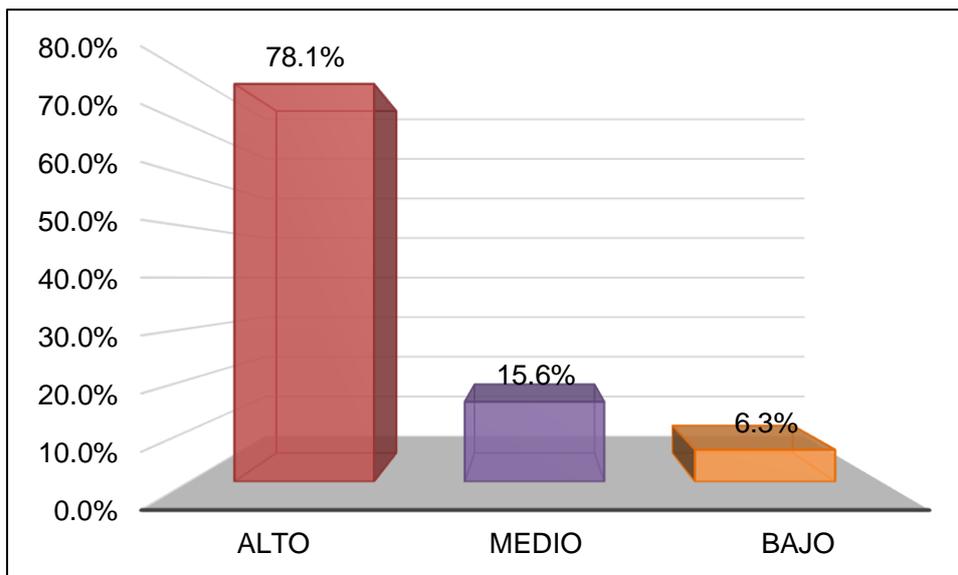
#### **4.1.2. Resultados del nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL**

En respuesta al **primer objetivo específico** planteado en la investigación, al determinar el nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord, se adquirieron los siguientes resultados:

**Tabla 15.** *Resultados del nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.*

<b>Nivel de Conocimiento</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Alto	25	78.1%
Medio	5	15.6%
Bajo	2	6.3%
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 15.** Resultados del nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

En la Tabla 15 y Figura 15, se evidencia que del total de oficiales de máquinas evaluados en la flota Reederei Nord, el 78.1% presenta un nivel de conocimiento teórico alto acerca de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. Por su parte, el 15.6% de los oficiales presenta un nivel medio de conocimiento teórico acerca de estas regulaciones y tan solo el 6.3% de los oficiales reporta un bajo nivel de conocimiento teórico sobre las regulaciones del anexo VI MARPOL.

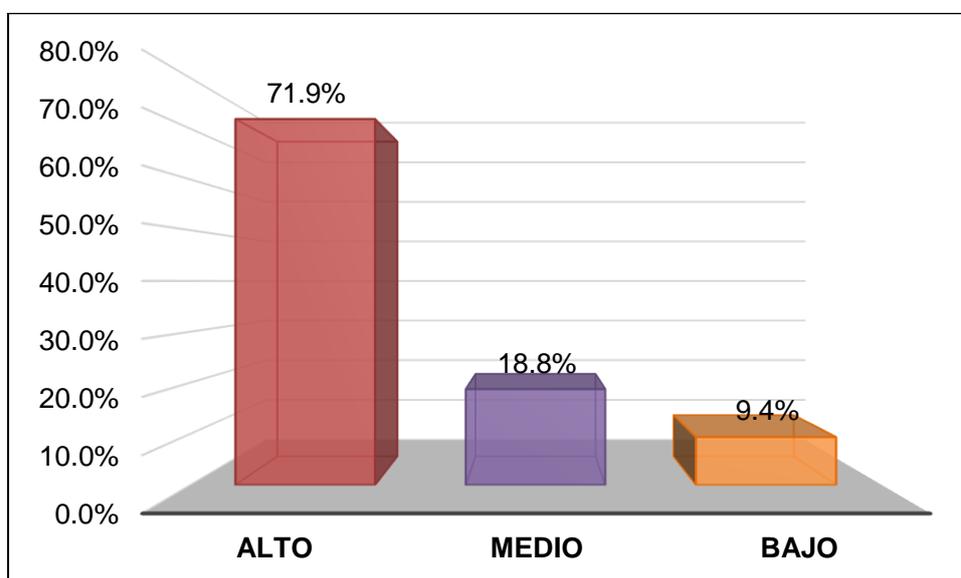
#### **4.1.3. Resultados del nivel de conocimiento teórico de los cambios de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL**

En respuesta al **segundo objetivo específico** planteado en la investigación, al determinar el nivel de conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord, se adquirieron los siguientes resultados:

**Tabla 16.** Resultados del nivel de conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

Nivel de Conocimiento	Frecuencia	Porcentaje
Alto	23	71.9%
Medio	6	18.8%
Bajo	3	9.4%
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 16.** Resultados del nivel de conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

En la Tabla 16 y Figura 16, se observa que del total de oficiales de máquinas evaluados en la flota Reederei Nord, el 71.9% presenta un alto nivel de conocimiento teórico acerca de los cambios de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. Por su parte, el 18.8% de los oficiales reporta un nivel medio de conocimiento teórico acerca de los cambios de combustibles, y el 9.4% de los

oficiales indican un bajo nivel de conocimiento teórico sobre estos cambios de combustible.

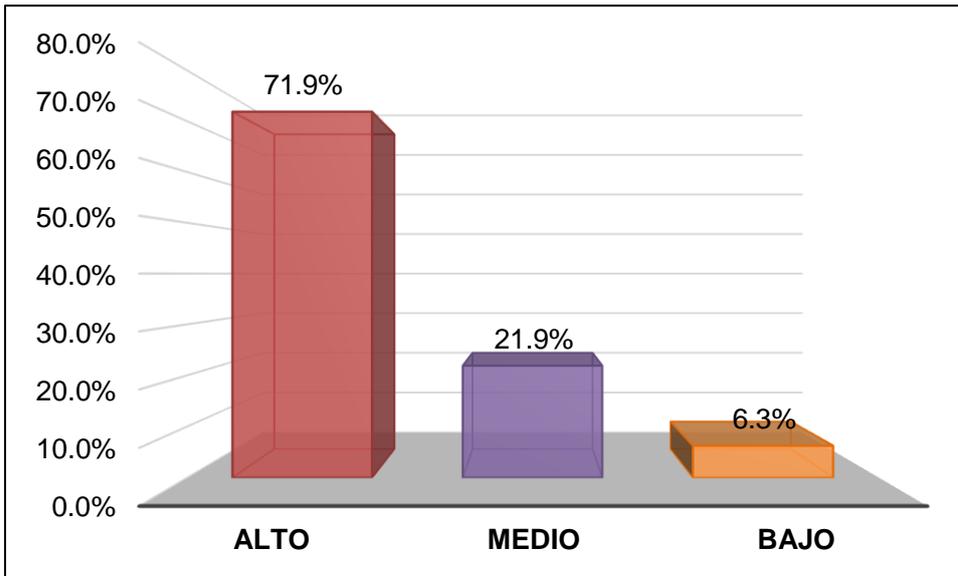
#### **4.1.4. Resultados del nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL**

En respuesta al **tercer objetivo específico** planteado en la investigación, al determinar el nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord, se adquirieron los siguientes resultados:

**Tabla 17.** *Resultados del nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.*

<b>Nivel de Conocimiento</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Alto	23	71.9%
Medio	7	21.9%
Bajo	2	6.3%
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 17.** Resultados del nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

En la Tabla 17 y Figura 17, se evidencia que del total de oficiales de máquinas evaluados en la flota Reederei Nord, el 71.9% presenta un alto nivel de conocimiento teórico acerca de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL, el 21.9% de los oficiales reporta un nivel medio de conocimiento teórico acerca de estas soluciones técnicas, mientras que el 6.3% de los oficiales ofrecen un bajo nivel de conocimiento teórico sobre las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores.

## **4.2. Análisis estadístico inferencial**

### **4.2.1. Prueba de normalidad**

En este apartado se establece si los datos de la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL y sus dimensiones provienen de una distribución teóricamente específica, con el fin de elegir para la prueba de hipótesis entre un estadístico paramétrico (*t de Student para muestras únicas*) o no paramétrico (*Chi- cuadrado de ajuste e independencia*). Para ello se llevan a cabo los siguientes pasos de contraste estadístico:

#### **1° – Declaración de la hipótesis de normalidad**

**Ho:** Los datos de la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL y sus dimensiones presentan normalidad.

**Ha:** Los datos de la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL y sus dimensiones no presentan normalidad.

#### **2° – Nivel de significancia estadística**

Se establece un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0.05$ ) y un nivel de confianza del 95%.

#### **3° – Selección de la prueba estadística**

Dado que el tamaño muestral en el estudio es menor a 50 elementos, se hace uso de la prueba estadística Shapiro-Wilk de bondad de ajuste.

**Tabla 18.** Resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para la variable la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL y sus dimensiones.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL	,577	32	,000
Regulaciones	,540	32	,000
Cambio de Combustible	,608	32	,000
Soluciones Técnicas para Contener las Emisiones de los Motores	,610	32	,000

#### 4°. – Regla de decisión

Si, Sig.  $p \leq 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna,

Si, Sig.  $p > 0,05$ , se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

#### 5°. – Toma de decisión

En la Tabla 18, se evidencia para la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL y sus dimensiones un p valor= 0,000, que por ser menor al nivel de significancia establecido en la investigación ( $p < 0,05$ ), siguiendo la regla de decisión, conlleva al rechazo de la hipótesis nula (**Ho**) y la aceptación de la hipótesis alterna (**Ha**), concluyendo que: “Los datos de la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL y sus dimensiones no presentan normalidad”, a efectos de estos resultados, en la prueba de hipótesis se hará uso del estadístico no paramétrica Chi- cuadrado de ajuste e independencia.

#### **4.2.2. Prueba de hipótesis general**

Para la prueba de hipótesis general se cumplen los siguientes pasos de contraste estadístico:

##### **1°. – Declaración de la hipótesis general**

**Ha:** Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord en el 2020.

**Ho:** No existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord en el 2020.

##### **2°. – Nivel de significancia estadística**

Se establece un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0.05$ ) y un nivel de confianza del 95%.

##### **3°. – Selección de la prueba estadística**

Se hace uso de la prueba de Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) para una sola muestra. Sirve para determinar si los datos obtenidos de una sola muestra presentan variaciones estadísticamente significativas respecto de la hipótesis nula.

**Tabla 19.** Frecuencias obtenidas para la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

Categoría	N observado	N esperada	Residuo
Bajo	2	5,3	-3,3
Medio	6	10,7	-4,7
Alto	24	16,0	8,0
Total	32		

Fuente: SPSS v25.

**Tabla 20.** Resultados de la prueba Chi-cuadrado para la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

Conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL	
Chi-cuadrado	8,125 <sup>a</sup>
gl	2
Sig. asintótica	,017

a. 0 casillas (0,0%) han esperado frecuencias menores que 5. La frecuencia mínima de casilla esperada es 5,3.

#### 4°. – Regla de decisión

Si, Sig.  $p \leq 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna,

Si, Sig.  $p > 0,05$ , se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

#### 5°. – Toma de decisión

En la Tabla 20, se evidencia un valor de Chi-cuadrado = 8,125 producto de las diferencias entre las frecuencias observadas y esperadas en la variable conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL, asociado a un  $p$  valor= 0.017 que por ser menor al nivel de significancia establecido ( $p < 0,05$ ),

conllevó al rechazo de la hipótesis nula (**H<sub>0</sub>**) y la aceptación de la hipótesis general (**H<sub>a</sub>**), concluyendo que: “*Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord en el 2020*”.

#### **4.2.3. Prueba de hipótesis específica 1**

Para la prueba de la primera hipótesis específica se cumplen los siguientes pasos de contraste estadístico:

##### **1°. – Declaración de la primera hipótesis específica**

**H<sub>1</sub>:** Existe un nivel de conocimiento significativo sobre las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

**H<sub>0</sub>:** No existe un nivel de conocimiento significativo sobre las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

##### **2°. – Nivel de significancia estadística**

Se establece un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0.05$ ) y un nivel de confianza del 95%.

##### **3°. – Selección de la prueba estadística**

Se hace uso de la prueba de Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) para una sola muestra. Sirve para determinar si los datos obtenidos de una sola muestra presentan variaciones estadísticamente significativas respecto de la hipótesis nula.

**Tabla 21.** Frecuencias obtenidas para la dimensión conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

Categoría	N observado	N esperada	Residuo
Bajo	2	5,3	-3,3
Medio	5	10,7	-5,7
Alto	25	16,0	9,0
Total	32		

Fuente: SPSS v25.

**Tabla 22.** Resultados de la prueba Chi-cuadrado para la dimensión conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

Conocimiento teórico de las regulaciones del anexo VI MARPOL	
Chi-cuadrado	10,156 <sup>a</sup>
gl	2
Sig. asintótica	,006

a. 0 casillas (0,0%) han esperado frecuencias menores que 5. La frecuencia mínima de casilla esperada es 5,3.

#### 4°. – Regla de decisión

Si, Sig.  $p \leq 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna,

Si, Sig.  $p > 0,05$ , se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

#### 5°. – Toma de decisión

En la Tabla 22, se evidencia un valor de Chi-cuadrado = 10,156 producto de las diferencias entre las frecuencias observadas y esperadas en la dimensión conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL, asociado a un  $p$  valor= 0.006 que por ser menor al nivel de significancia establecido ( $p < 0,05$ ), conllevó al rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la aceptación de la primera hipótesis específica ( $H_1$ ), concluyendo que: “Existe un nivel de conocimiento significativo sobre las regulaciones

*para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord”.*

#### **4.2.4. Prueba de hipótesis específica 2**

Para la prueba de la segunda hipótesis específica se cumplen los siguientes pasos de contraste estadístico:

##### **1°. – Declaración de la segunda hipótesis específica**

**H<sub>2</sub>:** Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios de combustibles para el cumplimiento del anexo VI del MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

**H<sub>0</sub>:** No existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios de combustibles para el cumplimiento del anexo VI del MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

##### **2°. – Nivel de significancia estadística**

Se establece un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0.05$ ) y un nivel de confianza del 95%.

##### **3°. – Selección de la prueba estadística**

Se hace uso de la prueba de Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) para una sola muestra. Sirve para determinar si los datos obtenidos de una sola muestra presentan variaciones estadísticamente significativas respecto de la hipótesis nula.

**Tabla 23.** Frecuencias obtenidas para la dimensión conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

Categoría	N observado	N esperada	Residuo
Bajo	3	5,3	-2,3
Medio	6	10,7	-4,7
Alto	23	16,0	7,0
Total	32		

Fuente: SPSS v25.

**Tabla 24.** Resultados de la prueba Chi-cuadrado para la dimensión conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

Conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL	
Chi-cuadrado	6,125 <sup>a</sup>
gl	2
Sig. asintótica	,047

a. 0 casillas (0,0%) han esperado frecuencias menores que 5. La frecuencia mínima de casilla esperada es 5,3.

#### 4° – Regla de decisión

Si, Sig.  $p \leq 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna,

Si, Sig.  $p > 0,05$ , se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

#### 5° – Toma de decisión

En la Tabla 24, se evidencia un valor de Chi-cuadrado = 6,125 producto de las diferencias entre las frecuencias observadas y esperadas en la dimensión conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL, asociado a un  $p$  valor= 0.047 que por ser menor al nivel de significancia establecido ( $p < 0,05$ ), conllevó al rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la aceptación de la segunda hipótesis específica ( $H_2$ ), concluyendo

que: *“Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios de combustibles para el cumplimiento del anexo VI del MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord”*.

#### **4.2.5. Prueba de hipótesis específica 3**

Para la prueba de la tercera hipótesis específica se cumplen los siguientes pasos de contraste estadístico:

##### **1°. – Declaración de la tercera hipótesis específica**

**H<sub>3</sub>:** Existe un nivel de conocimiento significativo sobre las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

**H<sub>0</sub>:** No existe un nivel de conocimiento significativo sobre las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.

##### **2°. – Nivel de significancia estadística**

Se establece un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0.05$ ) y un nivel de confianza del 95%.

##### **3°. – Selección de la prueba estadística**

Se hace uso de la prueba de Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) para una sola muestra. Sirve para determinar si los datos obtenidos de una sola muestra presentan variaciones estadísticamente significativas respecto de la hipótesis nula.

**Tabla 25.** Frecuencias obtenidas para la dimensión conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

Categoría	N observado	N esperada	Residuo
Bajo	2	5,3	-3,3
Medio	7	10,7	-3,7
Alto	23	16,0	7,0
Total	32		

Fuente: SPSS v25.

**Tabla 26.** Resultados de la prueba Chi-cuadrado para la dimensión conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

Conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL	
Chi-cuadrado	6,406 <sup>a</sup>
gl	2
Sig. asintótica	,041

a. 0 casillas (0,0%) han esperado frecuencias menores que 5. La frecuencia mínima de casilla esperada es 5,3.

#### 4°. – Regla de decisión

Si, Sig.  $p \leq 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna,

Si, Sig.  $p > 0,05$ , se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

#### 5°. – Toma de decisión

En la Tabla 26, se evidencia un valor de Chi-cuadrado = 6,406 producto de las diferencias entre las frecuencias observadas y esperadas en la dimensión conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL, asociado a un  $p$

valor= 0.041 que por ser menor al nivel de significancia establecido ( $p < 0,05$ ), conllevó al rechazo de la hipótesis nula (**H<sub>0</sub>**) y la aceptación de la tercera hipótesis específica (**H<sub>3</sub>**), concluyendo que: *“Existe un nivel de conocimiento significativo sobre las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord”*.

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

### **5.1. Discusión**

En la investigación se abordó una muestra total de 32 oficiales conformada por el tercer y cuarto oficial de máquinas a bordo de las embarcaciones de la flota Reederei Nord al año 2020, a quienes se les aplicó un cuestionario tipo prueba para evaluar el nivel de conocimiento de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL.

En este sentido, conforme al objetivo general planteado en el estudio, al determinar el nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord, los resultados expuestos dan cuenta de que el 75% de los oficiales presentan un nivel de conocimiento alto, el 18.8% refieren un nivel medio de conocimiento y el 6.3% se ubicaron en un nivel bajo de conocimiento, hallazgos que al contrastar con la probabilidad esperada ofrece un coeficiente de Chi-cuadrado ( $X^2 = 8,125$ ) asocia a un *p* valor= 0.017, que por ser menor al nivel de significancia estadística ( $p < 0.05$ ), permitió aceptar la

hipótesis general planteada y demostrar estadísticamente que “*Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord en el 2020*”.

El conocimiento que reflejaron los oficiales de máquina no presentan variaciones significativas en comparación con la probabilidad esperada, es decir, que el nivel de conocimiento obtenido brinda seguridad y un alto estándar de responsabilidad en las operaciones de máquina llevadas a cabo por los oficiales en la flota de la naviera Reederei Nord, al estar preparados para asumir los constantes cambios que han surgido a nivel mundial por los diferentes fabricantes en medidas orientadas a los motores diésel y garantizar el cumplimiento del anexo VI MARPOL, el conocer las disposiciones reglamentarias, las características y exigencias de los diferentes tipos de combustibles, los requerimientos que atribuyen las innovaciones tecnológicas destinadas a contener las emisiones de los motores, se configuran en una buena gestión como medidas preventivas para la contaminación atmosférica.

En esta línea de análisis Cabrera y Huerta (2017), encontraron en su estudio resultados similares que les permitieron concluir que los cadetes de tercer año de la especialidad de cubierta de la Escuela Nacional de Marina Mercante “Almirante Miguel Grau” poseen un nivel de conocimiento significativo sobre las regulaciones orientadas a prevenir la contaminación atmosférica de los buques, comprobándose la hipótesis general afirmativa de la variable estudiada.

Por su parte, otro aporte de comparación se sostiene en la investigación de Cobeñas y Valverde (2016), quienes hacen referencia que la aplicación de un Plan de Gestión de Eficiencia Energética del Buque permite controlar la contaminación atmosférica. De la misma forma, Carranza y Galiano (2014) ofrecen un aspecto

importante a resaltar, dado que su investigación demuestra que más de la mitad de los oficiales que laboran en empresas navieras peruanas tienen una idea óptima de lo que es gestión ambiental marítima, no obstante, encontraron que más de la mitad de las personas encuestadas tenían desconocimiento de los aspectos de la gestión ambiental ni tampoco tomaban acción frente a la gestión ambiental, siendo las personas que lo hacían solo el 36%. Es decir, según los autores el conocer cuáles son las exigencias y medidas para prevenir la contaminación, no infiere que estas se estén poniendo en práctica o se lleve a cabo una buena gestión ambiental, por lo que los resultados de esta investigación pueden servir como alcance para futuros investigadores, interesados en resaltar el cumplimiento del anexo VI MARPOL directamente en la práctica.

Según los resultados, los oficiales a bordo de una embarcación requieren de una preparación constante y además exigen un plan de gestión general para poner en práctica todo el saber, de lo contrario, este grado de conocimiento sería en vano. En este sentido, Medina (2016) sostiene en su estudio que ya se conoce el impacto que tiene el transporte marítimo en la contaminación atmosférica a escala mundial, y se ha demostrado la gran importancia que tiene el reducir las emisiones de azufre y otros agentes contaminantes en los combustibles marinos, por lo que se insta a las organizaciones marítimas a continuar con el desarrollo de nuevos acuerdos, códigos y propuestas en pro de mejorar las emisiones de agentes contaminantes y así poder reducir el impacto medioambiental que se produce a causa de estos.

En estas medidas es necesario reconocer que los oficiales de máquina juegan un papel importante. Las nuevas exigencias hacen indispensable su formación en virtud de adaptarse a los esquemas mundiales para contrarrestar la contaminación, en este hecho se demuestra en el estudio que los oficiales de la

flota naviera Reederei Nord están actualizados y preparados para afrontar estas modificaciones sufridas en los motores durante los últimos años, tal como lo destaca Queijo (2016) en su investigación, al concluir que los motores diésel han sufrido cambios a lo largo de su historia, con el objetivo de hacerlos más eficientes y, desde hace unos años, también han reducido sus emisiones, para adaptarse a las normativas vigentes.

Referido al primer objetivo específico, al determinar el nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de las regulaciones para el cumplimiento del Anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord, los resultados obtenidos demuestran que el 78.1% tiene un alto conocimiento en este aspecto, el 15.6% se caracteriza por un nivel medio de conocimiento y el 6.3% se ubica en un bajo nivel de conocimiento; valores que al contrastar con la probabilidad de frecuencias esperadas se obtuvo a través de la prueba de Chi-cuadrado ( $\chi^2 = 10,156$ ) un *p valor*= 0.006 que por ser menor al nivel de significancia ( $p < 0.05$ ) permitió el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la primera hipótesis específica, infiriendo estadísticamente que “*Existe un nivel de conocimiento significativo las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord*”.

Dado estos resultados, es de observar que los oficiales de máquina pertenecientes a la flota Reederei Nord ayudan a prevenir la contaminación atmosférica y contribuyen con un buen rendimiento de la empresa naviera, por cuanto el conocimiento de las regulaciones garantiza un mejor desempeño de sus funciones a bordo, logrando identificar oportunamente las limitaciones vinculadas a las emisiones de gases contaminante provenientes de los motores diésel marino, así mismo contribuyen al cumplimiento de emisiones exigidas en las zonas sujetas

a control de estos contaminantes, tal como lo establecen los convenios internacionales, hecho que contrasta un alto grado de profesionalismo y compromiso con las labores en su área, a estar preparados continuamente sobre las medidas y normativas nuevas en función de la prevención de la contaminación y todo lo relacionado a los motores marinos.

Es en este sentido que se realiza el conocimiento expuesto por los oficiales de máquinas de la flota Reederei Nord en el cumplimiento del anexo VI MARPOL, como aspecto indispensable en la prevención de la contaminación y conservación del medio ambiente, a tal efecto, se sustenta este hallazgo en la opinión de Pérez (2014), quien sostiene en su estudio que la conservación del medio ambiente es un factor clave para preservar los ecosistemas y la biodiversidad del planeta, de manera que es imprescindible la aplicación de normativas y reglamentaciones para protegerlo, en este caso concreto, la aplicación del Convenio MARPOL o más concretamente la implantación y aplicación del Anexo VI de dicho Convenio, representa un importante avance en la lucha contra la contaminación atmosférica.

En esta medida cabe acotar los hallazgos obtenidos por Reluz y Montes (2015), quienes subrayan en su investigación que a través de las normativas y convenios internacionales conforme a las emisiones de contaminantes al aire se han logrado fijar límites, que si bien no son tan altos, son suficientes para disminuir las emisiones sin afectar al negocio marítimo, resaltando además que el Anexo VI del MARPOL 73/78 cuenta con párrafos que intentan que los buques y las refinerías promuevan el uso de nuevas tecnologías para reducir las emisiones y no dañar el medio ambiente. Por consecuencia, las normativas se sujetan a la construcción, estudio y conocimiento de los avances y las innovaciones tecnológicas.

En este enfoque, conforme al segundo objetivo de investigación, al determinar el nivel de conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord, los hallazgos obtenidos demuestran que el 71.9% de los oficiales evaluados tienen un nivel de conocimiento alto, el 18.8% reporta un nivel medio de conocimiento, mientras que el 9.4% se ubica en un nivel bajo; valores que al contrastar con las frecuencias probabilísticas esperadas ofrecen un coeficiente de Chi-cuadrado ( $X^2 = 6,125$ ) asociado a un  $p$  valor= 0.047 que por ser menor al nivel de significancia ( $p < 0.05$ ) permitió el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la segunda hipótesis específica, infiriendo estadísticamente que *“Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios de combustibles para el cumplimiento del anexo VI del MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord”*.

Los resultados indican que la mayoría de los oficiales de máquinas de la flota Reederei Nord se mantienen instruidos a los nuevos avances en materia de combustibles destinados al sector naviero, esto demuestra que toman las medidas necesarias en el uso de cada fueloil, estudiando los posibles efectos o consecuencias que su composición, características o mal manejo puedan generar a los motores de la embarcación, es de destacar entonces que el conocimiento de los diferentes combustibles y requerimientos de aplicación en los motores es la base para un buen rendimiento de la propulsión del buque, de igual manera, su buen uso se atribuye a la prevención de la contaminación atmosférica además de garantizar la seguridad de la embarcación y los tripulantes.

De acuerdo a las implicaciones que lleva el conocer los aspectos necesarios para el cambio de combustible en los motores marinos, los hallazgos se sustentan

en la investigación de Queijo (2016), quien sostiene que si las normativas de reducción de contaminación continúan su tendencia y siguen reduciendo los límites de NOx y SOx, posiblemente los fabricantes de motores se vean obligados a buscar, de nuevo, otra fuente de energía alternativa, pero este añade que el gas natural es el combustible alternativo más apropiado, en cuanto a reducir las emisiones de SOx se refiere, debido a que este combustible apenas contiene azufre en su composición y ayuda a reducir los NOx. En esta línea, Quispe y Castrejon (2018) concluyen en su investigación que el uso de GNL como una energía es la alternativa más rentable para la propulsión de buques porque cumple con las regulaciones de la OMI para las emisiones de SOx, incluidas las emisiones de NOx, CO2 y partícula adicional, y los precios son más económicos en el mercado internacional. Aunado a esto, Sendín (2019) sostiene que al cambiar un combustible con bajo contenido de azufre como es el caso de un LSHFO o MGO va a generar a largo plazo un gasto aún mayor.

Por su parte, Medina (2016) en su investigación destaca el uso de MGO como combustible bajo en azufre, ya que se ha demostrado que cumple con los requisitos del Convenio MARPOL y se ajusta a los límites de azufre establecidos en el código técnico en base a la emisión de combustibles, como diésel, para dejar atrás el consumo de combustible con alto contenido de azufre, como los IFO 380. Sin embargo, López (2015) advierte que si los buques no invierten en nuevos sistemas de propulsión, se verán obligados a cambiar su consumo actual de combustible a diésel, este cambio de combustible plantea muchos riesgos en años en diferentes ámbitos.

Estos hallazgos realzan con mayor perspectiva el impacto de los resultados obtenidos, en virtud de que la mayoría de los oficiales de máquina de la flota

Reederei Nord conocen los aspectos relacionados al cambio de combustible, siendo que estos, como se destacó anteriormente, infieren una conmensurable atención.

En cuanto al tercer objetivo específico planteado en el estudio, al determinar el nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord, los resultados arrojaron que el 71.9% de los oficiales reportan un alto nivel de conocimiento, el 21.9% se situaron en el nivel medio y el 6.3% se ubican en un nivel bajo, valores que al contrastar con las frecuencias probabilísticas esperadas muestra un coeficiente de Chi-cuadrado ( $\chi^2 = 6,406$ ) asociado a un *p valor*= 0.041 menor al nivel de significancia ( $p < 0.05$ ), lo cual permitió el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la tercera hipótesis específica, demostrando estadísticamente que *“Existe un nivel de conocimiento significativo sobre las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord”*.

En virtud de estos hallazgos, los oficiales de máquina de la flota Reederei Nord contemplan un amplio grado de conocimiento en las diferentes medidas técnicas que contribuyan a solucionar las emisiones de gases contaminantes provenientes de los motores marinos, situación que favorece a la empresa naviera, la seguridad de los tripulantes y la conservación del medio ambiente, porque se demuestra el bajo rango de error que se pueda generar en las instalación, manejo y mantenimiento de estos equipos destinados contener las emisiones de los motores, otro de los factores relevantes conforme a estos resultados es la disponibilidad de los oficiales del cuarto de máquina para estar a la vanguardia de

la tecnología, por cuanto la mayoría de estas soluciones técnicas sufren actualizaciones de mejoras constantes, y aun así los oficiales han demostrado conocer todos estos alcances.

De tal manera, es de destacar que el conocimiento de los oficiales de máquina sobre las soluciones técnicas para contrarrestar los gases contaminantes provenientes de la propulsión marina, influye en gran medida en reducir los costos de inversión para la empresa. En este aspecto, Sendín (2019) concluye en su investigación que la instalación del depurador generará un gasto económico muy importante, los cuales los armadores tendrán que evaluar el más adecuado para poder ser implementado en los buques, además estas inversiones podrán ser retornables a corto y mediano plazo.

## **5.2. Conclusiones**

### **Primera conclusión**

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord poseen un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL, ofreciendo en su mayoría (75%) un alto nivel de conocimiento que al contrastar con la probabilidad de frecuencias esperadas ofrece un coeficiente de Chi-cuadrado  $X^2 = 8,125$  y un *p valor* = 0.017 menor al nivel de significancia, por cuanto se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis general planteada en la investigación.

### **Segunda conclusión**

En base a los hallazgos presentados, se concluye que el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord poseen un nivel de conocimiento significativo

sobre las regulaciones, limitaciones y zonas de control que conllevan al cumplimiento del anexo VI MARPOL, ofreciendo en su mayoría (78.1%) un alto nivel de conocimiento que al contrastar con la probabilidad de frecuencias esperadas ofrece un coeficiente de Chi-cuadrado  $X^2 = 10,156$  y un *p valor*= 0.006 menor al nivel de significancia, por cuanto se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la primera hipótesis específica planteada en la investigación.

### **Tercera conclusión**

En virtud de los alcances descritos en el Capítulo de resultados, se concluye que el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord poseen un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios de combustibles, características y aspectos esenciales para el cumplimiento del anexo VI MARPOL, ofreciendo en su mayoría (71.9%) un alto nivel de conocimiento que al contrastar con la probabilidad de frecuencias esperadas ofrece un coeficiente de Chi-cuadrado  $X^2 = 6,125$  y un *p valor*= 0.047 menor al nivel de significancia, por cuanto se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la segunda hipótesis específica planteada en la investigación.

### **Cuarta conclusión**

Así mismo, conforme los resultados expuestos, se concluye que el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord poseen un nivel de conocimiento significativo sobre las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores, sus requerimientos principales e implicaciones que conducen al cumplimiento del anexo VI MARPOL, ofreciendo en su mayoría (71.9%) un alto nivel de conocimiento que al contrastar con la probabilidad de frecuencias esperadas ofrece un coeficiente de Chi-cuadrado  $X^2 = 6,406$  y un *p valor*= 0.041

menor al nivel de significancia, por cuanto se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la tercera hipótesis específica planteada en la investigación.

### **5.3. Recomendaciones**

#### **Primera recomendación**

En vista de los hallazgos obtenidos en el estudio, se recomienda a la empresa naviera Reederei Nord, gestionar un plan de concientización, mediante anuncios, entrega de material relacionado, demostraciones a toda la tripulación de su flota que contribuya a la prevención de la contaminación, de manera especial sensibilizar a los oficiales de máquina sobre las implicaciones de las operaciones de los motores y su relación con la contaminación atmosférica, esta acción despertaría en todos el interés de reforzar sus conocimientos y así lograr un mayor aprovechamiento de los recursos, mayor seguridad en el desempeño de las funciones, rendimiento en las operaciones de propulsión de la embarcación y por consiguiente contribuir a la preservación del ecosistema.

#### **Segunda recomendación**

Los resultados presentados en el estudio, conllevan a sugerir a la empresa naviera Reederei Nord, generar un programa de capacitación constante mediante charlas, talleres y cursos, dirigido a toda la tripulación de su flota respecto a las diferentes normativas y convenios internacionales, orientado a la prevención de la contaminación. En esta medida se deben mantener a los oficiales de máquinas informados sobre las nuevas exigencias que a bien disponga la Organización Marítima Internacional a través de sus convenios para regular la contaminación proveniente de los motores diésel, atendiendo a los requerimientos emanados en el anexo VI MARPOL se garantiza un mejor desempeño de sus funciones a bordo,

logrando identificar oportunamente las limitaciones vinculadas a las emisiones de gases contaminante y contribuyen al cumplimiento de la norma.

### **Tercera recomendación**

En base a los hallazgos presentados en la investigación, es de recomendar a la empresa naviera Reederei Nord, establecer medios de formación continua a todos los oficiales de máquina que conforman su flota acerca de los nuevos avances en materia de combustibles bajos de contaminante, programando cursos directamente con empresas y fabricantes que permitan explicar a detalle y mediante simulacros las implicaciones que conlleva el cambio de combustible y la operación de los motores, en virtud de establecer cuál es el combustible más favorable en aplicar al sistema de propulsión instalado, contribuyendo de tal manera a un buen rendimiento del buque, a la seguridad de la tripulación y en la prevención de la contaminación atmosférica.

### **Cuarta recomendación**

De conformidad con los resultados presentados, se recomienda a la empresa naviera Reederei Nord, promover alianzas directas con especialistas de fabricantes de equipos técnicos enfocados a contener los gases contaminantes provenientes de los motores marinos, donde los oficiales puedan dirigirse a sus instalaciones y estos les puedan explicar con precisión los nuevos avances, a fin de mantener a los oficiales de máquinas informados sobre las diferentes equipos y sistemas vanguardistas en la industria destinados a esta función, en virtud de elegir si es conveniente su uso en la embarcación, y disponer de un personal altamente capacitado que dé respuesta en situaciones inmediatas si llegase a tomar esta opción en el cumplimiento del anexo IV MARPOL.

## CAPÍTULO VI. FUENTES DE INFORMACIÓN

### Referencias bibliográficas

- Bernal, A. (2010). *Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Colombia: Prentice Hall.
- Gave, J., Gonzales, A., Oseda, D. & Ramirez, F. (2011). *¿Cómo aprender y enseñar investigación científica?* (1<sup>ra</sup> Ed.). Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Hernández R., Fernández C., y Baptista P. (2014). *Metodología de la Investigación científica*. México D.F. Edit Mc Graw Hill.
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México D.F., México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Ley N° 26620 (1996). *Ley de Control y Vigilancia de las Actividades Marítimas, Fluviales y Lacustres* (30 mayo 1996).
- MARPOL 73/78 (2002). *Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques 1973, Modificado por el Protocolo de 1978*. Londres: Organización Marítima Internacional.
- Resolución Directoral N° 0024-2010-DCG (2010). *Aprueban normas para la prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por buques*. (12 de enero de 2010)
- Resolución Legislativa N° 27824 (2002). *Ratificación “El Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”* (10 setiembre 2002).

### Referencias hemerográficas

- Boned, J. (2013). *Análisis y propuesta de cumplimiento de los requisitos ambientales de los buques de Short Sea Shipping para el año 2013*.

Proyecto de Final de Carrera Licenciatura en Náutica y Transporte Marítimo, Barcelona, España. Recuperado de:  
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18040/PFC\\_Joan\\_Boned\\_Vargas\\_LNTM\\_FNB.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18040/PFC_Joan_Boned_Vargas_LNTM_FNB.pdf)

Cabrera, C. y Huerta, D. (2017). *Conocimiento del anexo VI del convenio MARPOL en los cadetes de tercer año de la Escuela Nacional de Marina Mercante Almirante Miguel Grau 2017*. (Tesis de Título) Escuela Nacional de Marina Mercante Almirante Miguel Grau, Lima, Perú.

Carranza, A. y Galiano, C. (2014). *Percepción, Conocimiento y Accionar de los oficiales de marina mercante que laboran en empresas navieras peruanas respecto a la gestión ambiental marítima*. (Tesis de grado) Chucuito, Callao, Lima, Perú.

Cobeñas, D., y Valverde, R. (2016). *Plan de gestión de eficiencia energética del buque y el control de la contaminación atmosférica en la naviera Transgas Shipping Lines 2014 – 2015*. (Tesis de grado) Escuela Nacional de Marina Mercante “Almirante Miguel Grau”, Lima, Perú. Recuperado de:  
<http://repositorio.enamm.edu.pe/handle/ENAMM/60>

Gómez, F. (2013). *Operaciones y pautas de manejo requeridas en buques tanque quimiqueros*. (Tesis de grado) Universidad Austral de Chile. Recuperado de:  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmficg633o/doc/bmficg633o.pdf>

Llop, J. (2017). *Adaptación de un buque para consumir fuel-oil de bajo contenido en azufre*. (Tesis) Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España. Recuperado de:  
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106795/128330\\_TFG\\_Llop.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106795/128330_TFG_Llop.pdf)

López, F. (2015). *Evaluación de las consecuencias de la nueva regulación de la OMI sobre combustibles marinos*. (Tesis Doctoral) Escuela Técnica Superior de Ingenierías Navales, Madrid - España. Recuperado de:  
[http://oa.upm.es/38680/1/FRANCISCO\\_DE\\_MANUEL\\_LOPEZ.pdf](http://oa.upm.es/38680/1/FRANCISCO_DE_MANUEL_LOPEZ.pdf)

Medina, O. (2016). *Emisiones de azufre en zonas ECA (Emission Control Areas), procedimiento de cambio de combustible para buques RO/RO*. (Tesis de

grado) Universidad de la Laguna, Tenerife España. Recuperado de: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/2519/Emisiones+de+azufre+en+zonas+ECA.++Procedimiento+de+cambio+de+combustible+para+buques+RORO.pdf;jsessionid=5770E785044EDDEF020775F75566D87C?sequence=1>

Méndez, S. (2017). *Estudio de los sistemas de reducción de NOx y análisis del comportamiento del sistema de reducción catalítica selectiva en el simulador MC90-V*. (Tesis de grado) Universidad del País Vasco, Lejona, España. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/132350896.pdf>

Mesa, J. y Correa, H. (2016). *Sistemas de control de emisiones en el buque tanque "Hespérides"*. (Tesis de grado) Universidad de Laguna, Tenerife - España. Recuperado de: <https://docplayer.es/52789050-Trabajo-fin-de-grado-sistemas-de-control->

Peña, H. (2016). *Ingeniería Marina: medidas para la reducción de gases contaminantes en motores marinos*. (Tesis de grado) Universidad de La Coruña, La Coruña – España. Recuperado de: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/17745/PenaAleman\\_Humberto\\_TFG\\_2016.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/17745/PenaAleman_Humberto_TFG_2016.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Pérez, A. (2014). *Análisis de la aplicación del Anexo VI del Convenio MARPOL en la flota española*. Tesis para optar al grado de Diplomatura Navegación Marítima, Barcelona, España. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2099.1/23359>

Queijo, A. (2016). *Ingeniería Marina: comparativa entre motores diésel y de gas natural para propulsión marina*. (Tesis de grado) Universidad de La Coruña, La Coruña – España. Recuperado de: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/17265/QueijoFraga\\_Adrian\\_TFG\\_2016.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/17265/QueijoFraga_Adrian_TFG_2016.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Quispe y Castrejón (2018). *Importancia de la regulación OMI sobre emisiones de SOx en el transporte marítimo para el año 2020*. (Tesis de grado) Escuela Nacional de Marina Mercante Almirante Miguel Grau, Lima – Perú. Recuperado de:

<http://repositorio.enamm.edu.pe/bitstream/ENAMM/91/1/TESIS%2012%20%28MM%29.pdf>

Reluz, C., y Montes De Oca, J. (2015). *Emisión de gases tóxicos por buques de la naviera transoceánica que cargan en la refinería la pampilla año 2014*. (Tesis de grado) Escuela Nacional de Marina Mercante Almirante Miguel Grau, Lima – Perú. Recuperado de <http://repositorio.enamm.edu.pe/bitstream/ENAMM/41/1/TESIS%2032%20-%20RELUZ-%20MONTES%20DE%20OCA.pdf>

Romeo, G (2018). *MARPOL VI: Análisis de las Medidas de Implantación e Intervención en los Puertos de la Comunidad Valenciana*. (Tesis de maestría) Universidad Pontificia Comillas, Facultad de Empresariales (ICADE). España. Recuperado de: <https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/37725/1/TFM001242.pdf>

Sendín, M. (2019). *Soluciones para combatir la contaminación producida por los gases de escape en un buque RO/PAX*. (Tesis de Maestría) Escuela Técnica Superior de Náutica, Universidad de Cantabria, España. Recuperado de: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/16128/Send%C3%ADn%20Guerra%2C%20Mar%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

### **Referencias electrónicas**

Asociación de Navieros Españoles (ANAVE, 2018). *Evolución de la flota mercante mundial en 2017*. Tribuna Profesional. Recuperado de: [https://www.anave.es/images/tribuna\\_profesional/2018/tribuna\\_bia0518.pdf](https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/2018/tribuna_bia0518.pdf)

Carlier, M. (2004). *La normativa marítima internacional relativa a la seguridad y al medio ambiente*. Asociación de Navieros Españoles (ANAVE). Recuperado de: [http://www.anave.es/images/informes/otros/JORNADAS\\_DERECHO\\_AMBIENTAL.pdf](http://www.anave.es/images/informes/otros/JORNADAS_DERECHO_AMBIENTAL.pdf)

Casanovas, E. (2010). *Máquinas para la propulsión de buques*. Manual N° 16. La Coruña. ISBN: 84-95322-96-X.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, 2018). *Un nuevo informe de las Naciones Unidas advierte que la guerra comercial socava las perspectivas del transporte marítimo*. Recuperado de: <https://unctad.org/es/Paginas/PressRelease.aspx?OriginalVersionID=473>

Cumbre Pueblos (2017). *Contaminación del aire: Que es, causas, consecuencias y soluciones*. (Online) Recuperado de: <https://cumbrepuebloscop20.org/medio-ambiente/contaminacion/ambiental/>

Eldiario.es (2019). *El transporte marítimo contamina miles de veces más que el terrestre*. Recuperado de: [https://www.eldiario.es/tribunaabierta/transporte-maritimo-contamina-miles-terrestre\\_6\\_906469371.html](https://www.eldiario.es/tribunaabierta/transporte-maritimo-contamina-miles-terrestre_6_906469371.html)

García, R. (2018). *Normativa, Tecnologías Modificaciones para Reducir las Emisiones de Nox y Sox a la Atmósfera*. Ingeniero Marino (Online). Recuperado de: [https://ingenieromarino.com/normativa-tecnologias-y-modificaciones-para-reducir-las-emisiones-de-sox-y-nox-a-la-atmosfera/#1-Codigo\\_Tecnico\\_sobre\\_los\\_NOx\\_Relativo\\_al\\_Control\\_de\\_las\\_Emisiones\\_de\\_Nitrogeno\\_de\\_los\\_Motores\\_Diesel\\_Marinos](https://ingenieromarino.com/normativa-tecnologias-y-modificaciones-para-reducir-las-emisiones-de-sox-y-nox-a-la-atmosfera/#1-Codigo_Tecnico_sobre_los_NOx_Relativo_al_Control_de_las_Emisiones_de_Nitrogeno_de_los_Motores_Diesel_Marinos)

Lloyd's Register Fairplay (LRF, 2018). *World Fleet Statistics*. Recuperado de: <https://ihsmarkit.com/products/maritime-world-fleet-statistics.html>

Moriana, L. (2018). *Contaminación atmosférica: causas, consecuencias y soluciones*. Ecología Verde (Online). Recuperado de: <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-atmosferica-causas-consecuencias-y-soluciones-1247.html>

Organización Internacional para la Estandarización (ISO, 2017). *ISO 8217. Fuel standard for marine distillate fuels*. Recuperado de: <https://www.wfscorp.com/sites/default/files/ISO-8217-2017-Tables-1-and-2-1-1.pdf>

- Organización Marítima Internacional (OMI, 2018). *Los buques no podrán llevar a bordo fueloiles no reglamentarios*. Recuperado de: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/paginas/19-implementation-of-sulphur-2020-limit-.aspx>
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2018a). *Prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques*. Recuperado de: <http://www.imo.org/es/ourwork/environment/pollutionprevention/airpollution/paginas/air-pollution.aspx>
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019a). *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL)*. Recuperado de: [http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019b). *Óxidos de nitrógeno (NOx) – Regla 13*. Recuperado de: [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx)
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019c). *Óxidos de azufre (SOx) – Regla 14*. Recuperado de: [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx)
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019d). *Azufre 2020: reduciendo las emisiones de óxidos de azufre*. Recuperado de: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Sulphur-2020.aspx>
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019e). *Prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques*. Recuperado de: <http://www.imo.org/es/ourwork/environment/pollutionprevention/airpollution/paginas/air-pollution.aspx>
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019f). *2019: Todas las enmiendas que entran en vigor con el cambio de año*. Recuperado de: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/01-MARPOLamendments01012019.aspx>

Organización Marítima Internacional (OMI, 2019g). *Zonas especiales en virtud del Convenio MARPOL*. Recuperado de:  
<http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/SpecialAreasUnderMARPOL/Paginas/Default.aspx>

Rodríguez (2018). *Motores marinos lentos (características principales)*. Tecnología Marina (Online). Recuperado de: <http://tecnologia-maritima.blogspot.com/2018/09/motores-marinos-lentos-caracteristicas.html>

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de consistencia

### TÍTULO: “NIVEL DE CONOCIMIENTO TEÓRICO DEL TERCER Y CUARTO OFICIAL DE MÁQUINAS DE LOS CAMBIOS EN LAS OPERACIONES DE MOTORES DIÉSEL MARINO PARA EL CUMPLIMIENTO DEL ANEXO VI MARPOL EN LA FLOTA REEDEREI NORD 2020”.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MÉTODO
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL		
¿Cuál es el nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord en el 2020?	Determinar el nivel de conocimiento teórico del tercer y cuarto oficial de máquinas de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en la flota Reederei Nord en el 2020.	Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL en el tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord en el 2020.	<b>Variable independiente:</b> Conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL. <b>Dimensiones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulaciones.</li> <li>• Cambio de combustible.</li> <li>• Soluciones Técnicas para Contener las Emisiones de los Motores.</li> </ul>	<b>Diseño:</b> No experimental. <b>Alcance:</b> Descriptivo <b>De corte:</b> Transversal. <b>Población:</b> 32 Oficiales de máquinas de la flota Reederei Nord <b>Muestra:</b>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS		
1. ¿Cuál es el nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord?	1. Determinar el nivel de conocimiento teórico de las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.	1. Existe un nivel de conocimiento significativo sobre las regulaciones para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.		

<p>2. ¿Cuál es el nivel de conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord?</p>	<p>2. Determinar el nivel de conocimiento teórico del cambio de combustibles para el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.</p>	<p>2. Existe un nivel de conocimiento significativo sobre los cambios de combustibles para el cumplimiento del anexo VI del MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.</p>		<p>Probabilística, 65 Oficiales de máquinas de la flota Reederei Nord.</p> <p><b>Niveles</b> Alto Medio Bajo</p>
<p>3. ¿Cuál es el nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord?</p>	<p>3. Determinar el nivel de conocimiento teórico de las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.</p>	<p>3. Existe un nivel de conocimiento significativo sobre las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores en el cumplimiento del anexo VI MARPOL del tercer y cuarto oficial de máquinas de la flota Reederei Nord.</p>		

## Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables

### TÍTULO: “NIVEL DE CONOCIMIENTO TEÓRICO DEL TERCER Y CUARTO OFICIAL DE MÁQUINAS DE LOS CAMBIOS EN LAS OPERACIONES DE MOTORES DIÉSEL MARINO PARA EL CUMPLIMIENTO DEL ANEXO VI MARPOL EN LA FLOTA REEDEREI NORD 2020”.

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Ítems	Escala de medida	Niveles y Rangos
Conocimiento teórico de los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL	El Anexo VI del Convenio MARPOL establece límites en las emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno provenientes de los gases producidos por los motores diésel marinos, que prohíbe las emisiones deliberadas de sustancias que agotan la capa de ozono, así como la incineración a bordo de ciertas sustancias correspondientes a materiales de embalaje, envases contaminados y difenilos policlorados (PCB). Contiene, además, disposiciones que permiten el establecimiento de Zonas de Control de emisiones (Carlier, 2004).	Regulaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regla 13 – Óxido de nitrógeno (NOx).</li> <li>- Regla 14 – Óxido de azufre (SOx).</li> <li>- Zonas de control de emisiones (ECA).</li> </ul>	1, 2, 3, 4, 5, 6	Nominal, Dicotómica  Si= 1  No= 0	Alto (5 – 6)
		Cambio de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Características de los combustibles.</li> <li>- Aspectos a considerar.</li> <li>- Modificaciones requeridas.</li> </ul>	7, 8, 9, 10, 11, 12		Medio (3 – 4)
		Soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soluciones técnicas para reducir las emisiones NOx.</li> <li>- Soluciones técnicas para reducir las emisiones SOx.</li> </ul>	13, 14, 15, 16, 17, 18		Bajo (0 – 2)

### Anexo 3. Instrumento para la recolección de datos



ESCUELA NACIONAL DE MARINA MERCANTE  
ALMIRANTE "MIGUEL GRAU"  
PROGRAMA ACADÉMICO DE MARINA MERCANTE  
ESPECIALIDAD MÁQUINAS

## INSTRUMENTO

### CAMBIOS EN LAS OPERACIONES DE MOTORES DIÉSEL MARINO PARA EL CUMPLIMIENTO DEL ANEXO VI MARPOL

#### Instrucciones:

Estimado colaborador, el siguiente instrumento tiene por finalidad "Determinar el nivel de conocimiento teórico sobre los cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del Anexo VI MARPOL"; para ello, lea detenidamente cada una de las preguntas formuladas y marque la opción que usted considere correcta.

Cabe destacar que su identidad no será divulgada y la información recaudada será utilizada estrictamente para fines académicos.

#### Formulación de preguntas:

**Dimensión:** Regulaciones.

1. ¿Cuál es el reconocimiento de certificación previa que garantice que el motor diésel, conforme a su proyecto y equipo, se ajusta al límite aplicable de emisión de NO<sub>x</sub>?
  - a. Certificado EIAPP
  - b. Certificado IAPP
  - c. Certificado IOPP
  - d. Certificado internacional de eficiencia energética del buque.

2. ¿Cuáles son los límites en porcentaje (%) masa/masa de contenido de azufre fuera de las zonas ECAs previstos en el Anexo VI de MARPOL durante los últimos años?
- a. 4,5% (Antes 2012), 3,5% (1 enero 2012) y 0,50% (1 de enero 2020).
  - b. 4,5% (Antes 2012), 2,5% (1 enero 2012) y 0,50% (1 de enero 2020).
  - c. 3,5% (Antes 2012), 2,5% (1 enero 2012) y 0,50% (1 de enero 2020).
  - d. 2,5% (Antes 2012), 1,5% (1 enero 2012) y 0,50% (1 de enero 2020).
3. ¿Cuáles son las Áreas de Control de Emisiones (ECAs) incluidas en el Anexo VI de MARPOL?
- a. Zona del Mar Báltico, Mar del Norte, Mediterráneo y Mar Caribe de los Estados Unidos.
  - b. Zona del Mar Báltico, Mar del Norte, Mar de Norteamérica y Mar Caribe de los Estados Unidos.
  - c. Mar Rojo, Mar del Norte, Mediterráneo y Mar Caribe.
  - d. Zonas del Golfo, Mar Mediterráneo, Mar del Norte.
4. ¿Cuál es el límite de emisión de NO<sub>x</sub> permitida en buques construidos a partir 01/01/2011 con motores diésel menor a 130 revoluciones por minuto del cigüeñal?
- a. 14,4 g/kWh.
  - b. 2 g/kWh.
  - c. 9,8 g/kWh.
  - d. 17,0 g/kWh.
5. En un ECA, ¿cuál es límite actual establecido en el Anexo VI de MARPOL de emisiones SO<sub>x</sub>?
- a. 1,50% masa/masa.
  - b. 1,00% masa/masa.
  - c. 0,50% masa/masa.
  - d. 0,10% masa/masa.
6. Los límites establecidos en el Anexo VI de MARPOL, para reducir las emisiones de los motores diésel, ¿se aplica solo en los viajes internacionales?

- a. Si.
- b. No.
- c. Desconoce.
- d. Algunas veces.

**Dimensión:** Cambio de combustible.

7. ¿Cuál de los siguientes aspectos se deben tener en cuenta al cambiar de combustibles en los motores diésel?
- a. La textura, el clima, cantidad de ceniza, alcalinidad, olor.
  - b. La viscosidad, lubricidad, densidad, punto de inflamación, punto de ignición, alcalinidad.
  - c. El olor, calado, temperatura del ambiente, potencia de la bomba.
  - d. El color, refinado, tiempo, temperatura del ambiente, potencia de la bomba.
8. El cambio de combustible de bajo azufre, ¿qué efectos puede ocasionar en los motores diésel?
- a. Desgaste excesivo, pudiendo provocar que los elementos se adhieran quedando fuera de servicio el motor.
  - b. Fugas de combustible por los sellos de las bombas de circulación, disminuyendo la potencia del motor.
  - c. Menos energía por falta de volumen de combustible.
  - d. Obstrucción de los filtros de combustible.
9. Si se tiene un lubricante de número de base (BN) alto, ¿qué efectos puede generar un cambio de combustible de bajo contenido de azufre en el motor diésel?
- a. Desarrollar calcio y otros depósitos en las superficies del revestimiento.
  - b. Aumentar la acidez del combustible y provocar un desgaste adicional en las piezas.
  - c. Creación de problemas al quemar el combustible.
  - d. Baja potencia del motor.

- 10.** Para llevarse a cabo de forma segura el proceso de sustitución de combustible HFO a MGO, ¿qué tiempo mínimo se debe esperar?
- a.** 5 minutos.
  - b.** 15 minutos.
  - c.** 35 minutos.
  - d.** 55 minutos.
- 11.** En un buque con sistema de propulsión que opera con combustible residual al cambiar su uso por uno destilado, ¿qué elementos se deben supervisar para garantizar su buen funcionamiento?
- a.** Las revoluciones por minutos del motor.
  - b.** Tanques de almacenamiento, bombas de fuel, motor principal y auxiliar.
  - c.** Los motores auxiliares.
  - d.** La temperatura del cuarto de máquinas.
- 12.** ¿Cuál de los siguientes aspectos considera usted como limitantes para implementar el uso de combustibles alternativos en los buques?
- a.** El alto coste en modificaciones, la disponibilidad de espacio y la capacitación de los tripulantes.
  - b.** Las infraestructuras de los puertos.
  - c.** El peligro en las embarcaciones.
  - d.** Falta de combustibles alternos.

**Dimensión:** Soluciones Técnicas para Contener las Emisiones de los Motores.

- 13.** ¿Qué factores se deben considerar al equipar los motores y sistemas de escape con las tecnologías o medidas convenientes para cumplir con los límites de NOx y SOx exigidos en el Anexo VI de MARPOL?
- a.** Los ingresos económicos de la empresa y la dinámica comercial.
  - b.** Tipos de motor, características de los buques y rutas de operaciones.
  - c.** Los sistemas de navegación.
  - d.** Los dispositivos de descarga de agua de lastre.

- 14.** La tecnología empleada para reducir la formación de NOx por vía térmica, incrementando la cantidad de gases residuales retenidos en el cilindro al cerrar la admisión, ¿se denomina?
- a.** Recirculación de gases de escape (EGR).
  - b.** Inyección Directa de Agua en la Cámara de Combustión (DWI).
  - c.** Emulsión de agua en combustible (WFE).
  - d.** *Scrubber*.
- 15.** ¿Cuál de las siguientes opciones es la función principal del sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) para reducir las emisiones de NOx en los motores diésel?
- a.** La recirculación, enfriamiento y limpieza de una parte de los gases de escape desde el motor hasta el aire de admisión.
  - b.** La humidificación del aire de carga mediante la inyección de agua en un "spray" rociado en la entrada de aire del motor, con el fin de saturar.
  - c.** La inyección directa de agua en la cámara de combustión.
  - d.** Reducción de los óxidos de nitrógeno (NOx) con la inyección de amoníaco (NH<sub>3</sub>), en presencia de exceso de oxígeno (O<sub>2</sub>).
- 16.** La instalación de sistemas de lavado de gases (*Scrubber*), elimina porcentaje de SOx y reduce porcentaje de PM y NOx, ¿Cuál de las siguientes alternativas es la más acertada?
- a.** SOx (> 90%), PM (60 – 90%), NOx (<10%)
  - b.** SOx (> 80%), PM (60 – 90%), NOx (<40%)
  - c.** SOx (> 90%), PM (70%), NOx (<50%)
  - d.** SOx (> 50%), PM (30 – 50%), NOx (<10%)
- 17.** Los depuradores de gases en secos, para mejores resultados de cumplimiento con todas las regulaciones tanto en la reducción de emisiones de SOx y NOx, ¿pueden ser utilizados conjuntamente con un sistema de?
- a.** Recirculación de gases de escape (EGR).
  - b.** Inyección Directa de Agua en la Cámara de Combustión (DWI).
  - c.** Emulsión de agua en combustible (WFE).
  - d.** Reducción Catalítica Selectiva (SCR)

- 18.** ¿Cuál es el tiempo promedio de instalación de un *Scrubber* en un barco ya construido?
- a.** 15 días.
  - b.** 20 días.
  - c.** 30 días.
  - d.** 45 días.

Gracias por su colaboración...

### Solucionario del Cuestionario:

Pregunta	Opción de respuesta correcta	Pregunta	Opción de respuesta correcta
1	A	10	D
2	A	11	B
3	B	12	A
4	A	13	B
5	D	14	A
6	B	15	D
7	B	16	A
8	B	17	D
9	A	18	B

### Codificación de respuestas:

- Correcto = 1
- Incorrecto = 0

### Baremos en niveles y rangos según puntaje obtenido:

Nivel de Conocimiento	Cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL	Regulaciones	Cambio de Combustible	Soluciones Técnicas para Contener las Emisiones de los Motores
N° Preguntas	18	6	6	6
Alto	13 a 18 pts.	5 a 6 pts.	5 a 6 pts.	5 a 6 pts.
Medio	7 a 12 pts.	3 a 4 pts.	3 a 4 pts.	3 a 4 pts.
Bajo	0 a 6 pts.	0 a 2 pts.	0 a 2 pts.	0 a 2 pts.

## Anexo 4. Constancia de validación del instrumento

---

---

**FICHA  
DATOS DEL EXPERTO**

**Nombre completo** : WALTER LUIS CASTRO RIVERO  
**Profesión** : OFICIAL DE MARINO MERCANTE  
**Grado académico** : JEFE DE MÁQUINAS

**Características que lo determinan como experto:**

Se hace una breve síntesis de su experiencia docente o profesional que esté relacionada con la variable a validar, también se puede indicar la experiencia en el ámbito de la investigación o en la elaboración de instrumentos. Se incluye cualquier otra información que sea relevante para caracterizarlo como experto.

- Jefe de máquinas por 16 años en compañías Europeas en buques tipo B/T Quimiqueros y B/T Petroleros.
- Jefe de máquinas en el rubro offshore.
- Jefe de máquinas en el rubro de Buque sísmico.
- Jefe de Mantenimiento en ElectroPerú de las Plantas Térmicas Zonas Norte (Tumbes)
- Docente en la ENAMM en cadetes y Capacitación de Oficiales y Cadetes.

  
Firma  
DNI: 07807594

---

FICHA  
DATOS DEL EXPERTO

Nombre completo : SAUL FERNANDEZ CERNA  
Profesión : OFICIAL DE MARINA MERCANTE  
Grado académico : SUPERIOR

Características que lo determinan como experto:

Se hace una breve síntesis de su experiencia docente o profesional que esté relacionada con la variable a validar, también se puede indicar la experiencia en el ámbito de la investigación o en la elaboración de instrumentos. Se incluye cualquier otra información que sea relevante para caracterizarlo como experto.

EN EL GRADO DE PRIMER INGENIERO DE MAQUINAS, CON 19 AÑOS DE EXPERIENCIA, EJERCIENDO LA PROFESION, TRABAJANDO EN BARCOS MERCANTES, REMOLCADORES Y BARCOS PESQUEROS.

REVISANDO LA MATRIZ DE CONSISTENCIA, EL INSTRUMENTO Y EL CUESTIONARIO, ESTAN ACORDE LOS TEMAS, BIEN ELABORADOS DE ACUERDO A LA TESIS.



Firma

DNI: 10748930

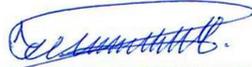
FICHA  
DATOS DEL EXPERTO

Nombre completo : JOE PANTOJA PASCUAL  
Profesión : OFICIAL DE MARINA MERCANTE  
Grado académico : SUPERIOR.

Características que lo determinan como experto:

Se hace una breve síntesis de su experiencia docente o profesional que esté relacionada con la variable a validar, también se puede indicar la experiencia en el ámbito de la investigación o en la elaboración de instrumentos. Se incluye cualquier otra información que sea relevante para caracterizarlo como experto.

SOY PRIMER OFICIA DE MAQUINAS CON  
MATRICULA DI - 09913119 - PM1, CON 19 AÑOS  
NAVEGANDO, COMENZANDO DESDE CADETE EN PRÁCTICA  
HASTA LLEGAR COMO PRIMER INGENIERO, EN  
BARCOS PETROLEROS Y BULK CARRIER, LUEGO  
DESEMPEÑÁNDOME COMO JEFE DE MAQUINA  
EN REMOLCADORES Y EMBARCACIONES PESQUERAS,  
REVISANDO LA MATRIZ DE CONSISTENCIA, EL INSTRUMENTO  
Y EL CUESTIONARIO, ESTAN LOS TEMAS MUY BIEN  
ELABORADOS PARA LA TESIS.



Firma  
DNI: 09913119  
DI - 09913119 - PM1

---

FICHA  
DATOS DEL EXPERTO

Nombre completo : VICTOR PAUL POVIS LINO  
Profesión : OFICIAL DE MARINA MERCANTE  
Grado académico : SUPERIOR

Características que lo determinan como experto:

Se hace una breve síntesis de su experiencia docente o profesional que esté relacionada con la variable a validar, también se puede indicar la experiencia en el ámbito de la investigación o en la elaboración de instrumentos. Se incluye cualquier otra información que sea relevante para caracterizarlo como experto.

COMO OFICIAL DE LA MARINA MERCANTE DEL PERÚ  
EN EL GRADO DE PRIMER INGENIERO DE MAQUINAS, CON  
20 AÑOS DE NAVEGACION Y CON EXPERIENCIA EN  
BARCOS MERCANTES, REMOLCADORES Y BARCOS PESQUEROS  
CONSIDERO QUE EL CUESTIONARIO PREPARADO ESTA  
ACORDE CON LA TESIS



---

Firma  
DNI: 40357531

---

---

**FICHA  
DATOS DEL EXPERTO**

**Nombre completo** : JOSE MARTIN GIL LOPEZ

**Profesión** : DOCENTE

**Grado académico** : MAGISTER

**Características que lo determinan como experto:**

Se hace una breve síntesis de su experiencia docente o profesional que esté relacionada con la variable a validar, también se puede indicar la experiencia en el ámbito de la investigación o en la elaboración de instrumentos. Se incluye cualquier otra información que sea relevante para caracterizarlo como experto.

- Magister en Didáctica Extranjera.
- Licenciado en Educación en la especialidad de Ingles.
- Diplomado en formación de competencias en investigación para docentes de investigadores noveles en la Universidad Peruana Cayetano Heredia. (Escuela de Post Grado)
- Curso de Formación para Instructores (Convenio STCW)
- Capacitación en investigación, redacción científica y registro orientado a mejorar las capacidades de investigación de los docentes y e registro de sus publicaciones.



---

Firma  
DNI: 07643840

### Anexo 5. Prueba piloto confiabilidad

Encuestado	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10	P.11	P.12	P.13	P.14	P.15	P.16	P.17	P.18	Total
1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	15
2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	16
3	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	14
4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17
5	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	15
6	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
7	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	7
8	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	16
9	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	7
10	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	16
p	0.90	0.50	0.60	0.80	0.90	0.80	0.70	0.90	0.40	0.80	0.90	0.90	0.50	1.00	0.90	0.80	0.70	0.90	
q (1 - p)	0.10	0.50	0.40	0.20	0.10	0.20	0.30	0.10	0.60	0.20	0.10	0.10	0.50	0.00	0.10	0.20	0.30	0.10	
p*q	0.09	0.25	0.24	0.16	0.09	0.16	0.21	0.09	0.24	0.16	0.09	0.09	0.25	0	0.09	0.16	0.21	0.09	
$\sum (p*q)$	2.67		$Kr(20) = \frac{K}{K - 1} \left[ \frac{Vt - \sum(p * q)}{Vt} \right]$ <p><math>Kr(20)</math> = Coeficiente de Kuder–Richardson  <math>K</math> = Número de Ítems  <math>p</math> = Proporción de éxito para cada ítems  <math>q</math> = Proporción de incidente para cada ítems  <math>Vt</math> = Varianza total de los ítems</p>																
Vt	13.88																		
N	18																		
Kr(20)	0.808																		

## Anexo 6. Base de datos

I.D	Preg.1	Preg.2	Preg.3	Preg.4	Preg.5	Preg.6	Suma D1	Regulaciones	Preg.7	Preg.8	Preg.9	Preg.10	Preg.11	Preg.12	Suma D2	Cambio de Combustible	Preg.13	Preg.14	Preg.15	Preg.16	Preg.17	Preg.18	Suma D3	Soluciones Técnicas para Contener las Emisiones de los Motores	Suma Variable	Cambios en las operaciones de motores diésel marino para el cumplimiento del anexo VI MARPOL
1	1	1	1	1	1	0	5	3	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	1	1	1	0	5	3	15	3
2	1	1	1	1	1	1	6	3	1	1	0	1	1	1	5	3	1	1	1	1	0	1	5	3	16	3
3	1	1	0	1	1	1	5	3	1	0	1	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	15	3
4	1	1	0	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	1	1	1	1	1	0	5	3	15	3
5	1	0	0	1	1	1	4	2	1	1	0	1	0	0	3	2	1	1	1	1	0	1	5	3	12	2
6	1	1	1	0	1	1	5	3	1	0	1	1	1	0	4	2	1	1	1	1	1	1	6	3	15	3
7	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	15	3
8	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	15	3
9	1	1	0	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	15	3
10	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	1	1	1	1	1	0	5	3	15	3
11	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	0	1	4	2	1	0	1	0	0	1	3	2	12	2
12	1	1	1	0	1	1	5	3	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	1	1	1	1	6	3	16	3
13	1	1	0	1	1	1	5	3	1	1	1	1	0	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	15	3
14	1	1	0	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	1	1	1	1	1	0	5	3	15	3
15	1	0	0	1	1	1	4	2	1	1	0	1	1	1	5	3	1	1	0	0	0	1	3	2	12	2
16	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	15	3
17	1	0	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	1	0	2	1	1	0	0	0	0	1	2	1	6	1
18	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	15	3
19	1	1	0	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	15	3
20	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	1	1	1	1	0	1	5	3	15	3
21	1	1	0	1	0	0	3	2	1	0	1	0	1	1	4	2	1	1	1	1	1	0	5	3	12	2
22	1	1	0	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	15	3
23	1	1	1	0	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	15	3
24	1	0	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	1	0	2	1	1	0	0	0	0	1	2	1	6	1
25	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	1	1	1	1	1	1	6	3	16	3
26	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	0	1	0	1	1	1	4	2	14	3
27	1	1	0	1	0	0	3	2	1	0	0	1	0	0	2	1	1	0	0	1	0	1	3	2	8	2
28	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	1	1	1	1	0	0	4	2	14	3
29	1	0	1	1	1	1	5	3	0	1	1	1	1	1	5	3	0	1	1	1	0	1	4	2	14	3
30	1	1	0	1	1	1	5	3	0	0	1	1	0	1	3	2	0	1	1	1	1	1	5	3	13	3
31	1	0	1	1	1	1	5	3	1	1	0	1	1	1	5	3	1	1	1	0	1	0	4	2	14	3
32	1	1	0	1	0	0	3	2	1	0	1	1	0	1	4	2	1	1	1	1	0	1	5	3	12	2

## Anexo 7. Evidencias de la investigación

The screenshot shows an Outlook web interface. The left sidebar displays folders: Folders, Inbox (23045), Junk Email (23), Drafts (17), Sent Items, Deleted Items, Archive, Notes, Conversation His..., Upgrade to Microsoft 365 with premium Outlook features, Meet now, and a search bar. The main content area shows a forwarded email titled "Fwd: Research work from E/C Prada and E/C Huaman". The email body contains the following text:

Dear Captains and Chief Engineers,

Two of our offspring E/C Prada P. Jairo and E/C Huaman L. Yeison have prepared a research work in order to obtain their engineers license. To complete same they depend on the participation of your 3/E's and/ or 4/E's on board.

It would be of help for E/C Prada and E/C Huaman if your Junior Engineers can spare the time to fill the questionnaire which you can find in the attachment.

Once the questionnaire is filled, please return it to the following e-mail address, exclusively:  
[jb.prada.p@gmail.com](mailto:jb.prada.p@gmail.com)

Good succes!

Best regards from Hamburg  
Claudia Pengl

On the right side, there is a sidebar advertisement for "JUGUETES" with the text "A jugar se ha dicho." and "Desarrolla las habilidades innatas de tus hijos con Smart Picks." with a blue arrow button.

This screenshot shows the same Outlook web interface as above, but with the email body scrolled down. The visible text includes:

Good succes!

Best regards from Hamburg  
Claudia Pengl

\*\*\*\*\*  
REEDEREI NORD G M B H  
ASTRATURM - Zirkusweg 2 - 20359 HAMBURG  
Handelsregister: Amtsgericht Hamburg No. B 38039  
Geschäftsführer: Dr. Kurt Klemme  
\*\*\*\*\*

For information please visit our website - [www.reederei-nord.com](http://www.reederei-nord.com)  
\*\*\*\*\*

At the bottom of the email body, there are links for "Reply" and "Forward".

Mail - Yeison Paúl Huamán Lino x +

outlook.live.com/mail/0/inbox/id/AQMkADAwATY3ZmYAZS1kOTZkLW11ODEtMDACLTAwCgBGAAADe0LY7WCC30eSke9zjzllgcAJ6t6apE3kyjwC%2Bd2H4VNgAAA...

New message

Folders

- Inbox 23045
- Junk Email 23
- Drafts 17
- Sent Items
- Deleted Items
- Archive
- Notes
- Conversation His...
- Upgrade to Microsoft 365 with premium Outlook features
- Meet now

← Fwd: Research work from E/C Prada and E/C Huaman

JP jairo prada <jb.prada.p@gmail.com>  
Thu 9/24/2020 3:11 PM  
To: You

Questionnaire.docx  
40 KB

----- Forwarded message -----  
De: **Pengl, Claudia** <cp@reederei-nord.de>  
Date: jue., 24 de sep. de 2020 a la(s) 07:46  
Subject: Research work from E/C Prada and E/C Huaman  
To: Amelia (nordamella@reederei-nord.net) <nordamella@reederei-nord.net>, Amstel (nordamstel@reederei-nord.net) <nordamstel@reederei-nord.net>, Atlantic (atlantic@reederei-nord.net) <atlantic@reederei-nord.net>, Autumn (autumn@reederei-nord.net) <autumn@reederei-nord.net>, Baltic (baltic@reederei-nord.net) <baltic@reederei-nord.net>, Cheetah (nordcheetah@reederei-nord.net) <nordcheetah@reederei-nord.net>, Colorado (nordcolorado@reederei-nord.net) <nordcolorado@reederei-nord.net>, Discovery (n.discovery@reederei-nord.net) <n.discovery@reederei-nord.net>, Leopard (nordleopard@reederei-nord.net) <nordleopard@reederei-nord.net>, Lion (nordlion@reederei-nord.net) <nordlion@reederei-nord.net>, Loire (n.loire@reederei-nord.net) <n.loire@reederei-nord.net>, Luchs (nordluchs@reederei-nord.net) <nordluchs@reederei-nord.net>, Maas (nordmaas@reederei-nord.net) <nordmaas@reederei-nord.net>, Maple (nordmaple@reederei-nord.net) <nordmaple@reederei-nord.net>, Marsh (nordmarsh@reederei-nord.net) <nordmarsh@reederei-nord.net>, Med (med@reederei-nord.net) <med@reederei-nord.net>, Mosel (nordmosel@reederei-nord.net) <nordmosel@reederei-nord.net>, Ocelot (nordocelot@reederei-nord.net) <nordocelot@reederei-nord.net>, Orinoco

JUGUETES

**A jugar se ha dicho.**

Desarrolla las habilidades innatas de tus hijos con Smart Picks.

Escribe aquí para buscar

13:45 5/10/2020

Mail - Yeison Paúl Huamán Lino x +

outlook.live.com/mail/0/inbox/id/AQMkADAwATY3ZmYAZS1kOTZkLW11ODEtMDACLTAwCgBGAAADe0LY7WCC30eSke9zjzllgcAJ6t6apE3kyjwC%2Bd2H4VNgAAA...

New message

Folders

- Inbox 23045
- Junk Email 23
- Drafts 17
- Sent Items
- Deleted Items
- Archive
- Notes
- Conversation His...
- Upgrade to Microsoft 365 with premium Outlook features
- Meet now

← Fwd: Research work from E/C Prada and E/C Huaman

De: **Pengl, Claudia** <cp@reederei-nord.de>  
Date: jue., 24 de sep. de 2020 a la(s) 07:46  
Subject: Research work from E/C Prada and E/C Huaman  
To: Amelia (nordamella@reederei-nord.net) <nordamella@reederei-nord.net>, Amstel (nordamstel@reederei-nord.net) <nordamstel@reederei-nord.net>, Atlantic (atlantic@reederei-nord.net) <atlantic@reederei-nord.net>, Autumn (autumn@reederei-nord.net) <autumn@reederei-nord.net>, Baltic (baltic@reederei-nord.net) <baltic@reederei-nord.net>, Cheetah (nordcheetah@reederei-nord.net) <nordcheetah@reederei-nord.net>, Colorado (nordcolorado@reederei-nord.net) <nordcolorado@reederei-nord.net>, Discovery (n.discovery@reederei-nord.net) <n.discovery@reederei-nord.net>, Leopard (nordleopard@reederei-nord.net) <nordleopard@reederei-nord.net>, Lion (nordlion@reederei-nord.net) <nordlion@reederei-nord.net>, Loire (n.loire@reederei-nord.net) <n.loire@reederei-nord.net>, Luchs (nordluchs@reederei-nord.net) <nordluchs@reederei-nord.net>, Maas (nordmaas@reederei-nord.net) <nordmaas@reederei-nord.net>, Maple (nordmaple@reederei-nord.net) <nordmaple@reederei-nord.net>, Marsh (nordmarsh@reederei-nord.net) <nordmarsh@reederei-nord.net>, Med (med@reederei-nord.net) <med@reederei-nord.net>, Mosel (nordmosel@reederei-nord.net) <nordmosel@reederei-nord.net>, Ocelot (nordocelot@reederei-nord.net) <nordocelot@reederei-nord.net>, Orinoco (nordorinoco@reederei-nord.net) <nordorinoco@reederei-nord.net>, Pacific (Nordpacific@reederei-nord.net) <Nordpacific@reederei-nord.net>, Panther (nordpanther@reederei-nord.net) <nordpanther@reederei-nord.net>, Puma (nordpuma@reederei-nord.net) <nordpuma@reederei-nord.net>, Rhone (nordrhone@reederei-nord.net) <nordrhone@reederei-nord.net>, Rubicon (nordrubicon@reederei-nord.net) <nordrubicon@reederei-nord.net>, Schelde (n.schelde@reederei-nord.net) <n.schelde@reederei-nord.net>, Seine (nordseine@reederei-nord.net) <nordseine@reederei-nord.net>, Spring (spring@reederei-nord.net) <spring@reederei-nord.net>, Summer (summer@reederei-nord.net) <summer@reederei-nord.net>, Tajo (nordtajo@reederei-nord.net) <nordtajo@reederei-nord.net>, Tiger (nordtiger@reederei-nord.net) <nordtiger@reederei-nord.net>, Tigris (nordtigris@reederei-nord.net) <nordtigris@reederei-nord.net>, Winter (winter@reederei-nord.net) <winter@reederei-nord.net>  
Cc: jb.prada.p@gmail.com <jb.prada.p@gmail.com>

JUGUETES

**A jugar se ha dicho.**

Desarrolla las habilidades innatas de tus hijos con Smart Picks.

Escribe aquí para buscar

13:46 5/10/2020

## **Anexo 8. Aporte de la investigación**

### **Guía práctica**



# CAMBIOS EN LAS OPERACIONES DE MOTORES DIÉSEL MARINO

## *Cumplimiento del Anexo VI del Convenio MARPOL*

### Contenido:

- Convenio MARPOL. (2)
- Anexo IV del Convenio MARPOL. (3)
- Motores diésel marinos. (3)
- Regulaciones para reducir las emisiones NO<sub>x</sub> y Sox. (5)
- Combustibles Marinos. (8)
- Soluciones Técnicas para Contener las Emisiones de los Motores. (11)
- Procedimientos para el cambio de combustible. (16)



## GUÍA PRÁCTICA

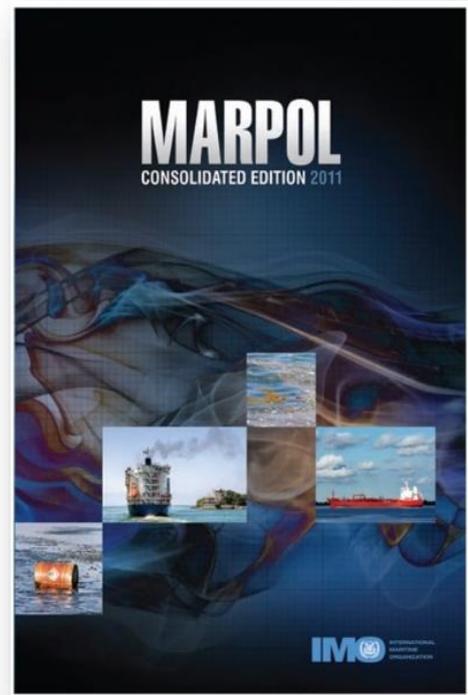
### Autores:

JAIRO BRYAN ÁNGELO PRADA PARIONA  
YEISON PAÚL HUAMÁN LINO

Lima, Perú  
2020.

# Convenio MARPOL

El Convenio MARPOL surge tras una decisión tomada por la comunidad internacional que se originó debido a eventos que desencadenaban y acentuaban la contaminación marina. En este sentido, dicho convenio se centra en la prevención de riesgos que puedan afectar el entorno marítimo. De este modo, el Convenio MARPOL se plantea como el principal tratado internacional que hace referencia a tomar medidas preventivas para evitar la



## ✓ Origen

En 1973 se realizó el primer borrador de este Convenio que surgió debido a la industrialización que incrementó la demanda de los hidrocarburos, además del aumento del tráfico marítimo en todo el mundo. A tales efectos, el Convenio MARPOL actual es una combinación y adaptación de los tratados de 1973 y 1978, los cuales han sido actualizados y se adoptó por la Organización Marítima Internacional (OMI) el 2 de noviembre de 1973.

En 1978 se estableció un protocolo destacado creado debido a una serie de accidentes que surgieron entre 1976 y 1977; en 1997 se estableció otro protocolo, mismo que entró en vigencia en el 2005 y el cual incorporó actualizaciones y enmiendas aplicadas al Convenio. (Acevedo, 2017)

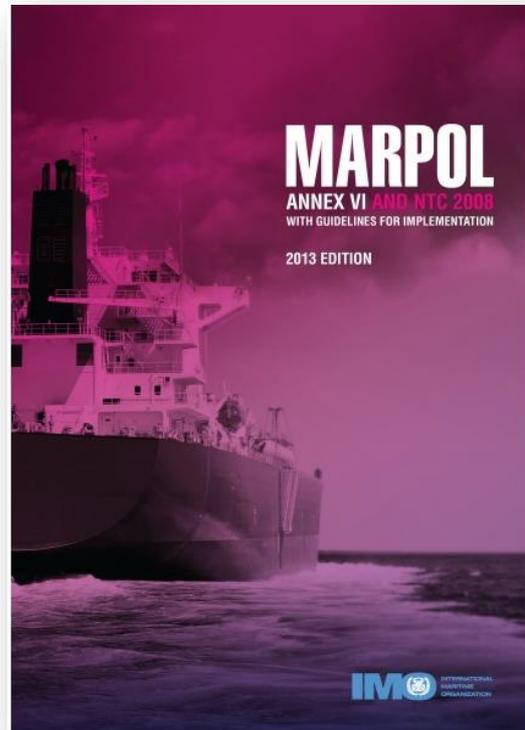
## ✓ Anexos





## ***Anexo VI del Convenio MARPOL***

El 19 de mayo de 2005 entró en vigencia el Anexo VI del Convenio MARPOL, dicho anexo especifica cómo prevenir la contaminación de la atmósfera generada por los gases expulsados por los motores y vapores de las cargas líquidas. En este anexo, se establecen cuáles son los límites de las emisiones de los Óxidos de azufre y de nitrógeno que se generan por los gases que producen los buques, en este caso, se encarga de realizar una prohibición sobre la emisión sin ningún tipo de control de estas sustancias.



## ***Motores Diesel Marinos***

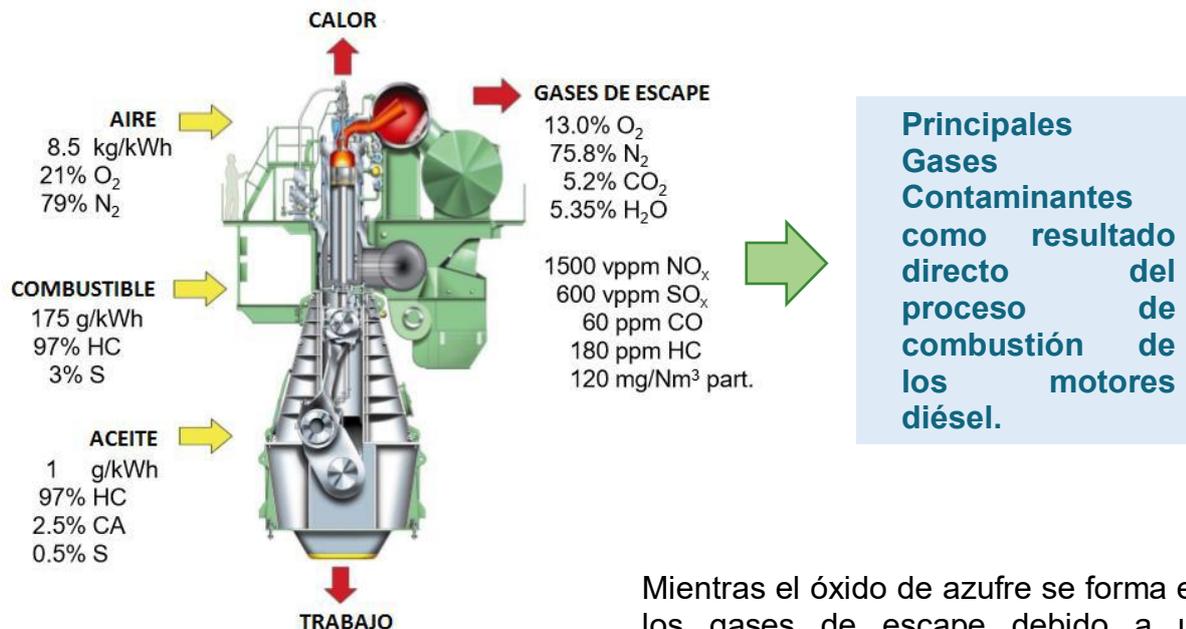


El Convenio MARPOL, define los motores diésel marinos como un "motor alternativo de combustión interna que funcione con combustible líquido o mixto..." (Pérez, 2014, p.72).

El motor diésel pertenece a los motores térmicos, en estos la energía química del combustible pasa a ser energía térmica de forma directa dentro del cilindro. En el proceso de combustión que se genera dentro, se originan gases que poseen temperatura elevada y presión. Los motores diésel marinos poseen características de acuerdo a su ciclo de trabajo, construcción, configuración de los cilindros y de acuerdo a la velocidad de giro del eje de cigüeñales (rpm).

## ✓ **Contaminantes atmosféricos procedentes de motores diésel marinos**

El tipo de motor diésel marino será determinante para la composición en mezcla de los gases, líquidos y sólidos que se emiten al aire, además, también tendrá influencia en este proceso la potencia del motor, su funcionamiento y el tipo de combustible y lubricante empleado, además de la presencia del sistema de control de emisiones.



**Figura 1.** Principales componentes de los gases de escape de un motor diésel marino.  
Fuente: Según MAN D&T (Peña, 2016, p.51).

En este caso, se encuentran los Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los cuales consisten en un grupo de emisiones de óxido nítrico, dióxido nítrico y de trazas de otros que se generan en el proceso de combustión. La emisión de NO<sub>x</sub> que se genera durante los procesos de combustión se componen de óxido nítrico de aproximadamente 90 a 95%, el restante se compone por el dióxido nítrico. Los gases de escape proceden a dejar la chimenea y una buena parte del óxido nítrico pasa a oxidarse en la atmósfera y pasa a dióxido nítrico, que al entrar en contacto con la atmósfera genera reacciones que producen efectos contaminantes secundarios.

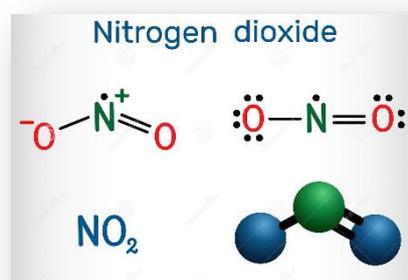
Mientras el óxido de azufre se forma en los gases de escape debido a un proceso de oxidación de este elemento que resulta en monóxido de azufre (SO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y de trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) que se da en el proceso de combustión. Los óxidos de azufre provienen del contenido de azufre que hay en los combustibles marinos, de hecho, en los procesos de combustión, esta sustancia tiene una reacción veloz con el oxígeno para generar el dióxido de azufre y una parte del azufre puede llegar a formar trióxido de azufre que al entrar en contacto con el agua termina formando ácido sulfúrico, posteriormente, estos ácidos son arrastrados por la lluvia y se origina la lluvia ácida, contaminando el medio ambiente.

# Regulaciones para reducir las emisiones NOx y SOx

Las regulaciones establecidas como cambios en el Anexo VI del Convenio MARPOL buscan reducir la emisión de NOx, de SOx y de materia particulada en todo el mundo, además de crear Zonas de Control de las Emisiones con el propósito de disminuir las emisiones de los contaminantes atmosféricos en los espacios marítimos que han sido designados.

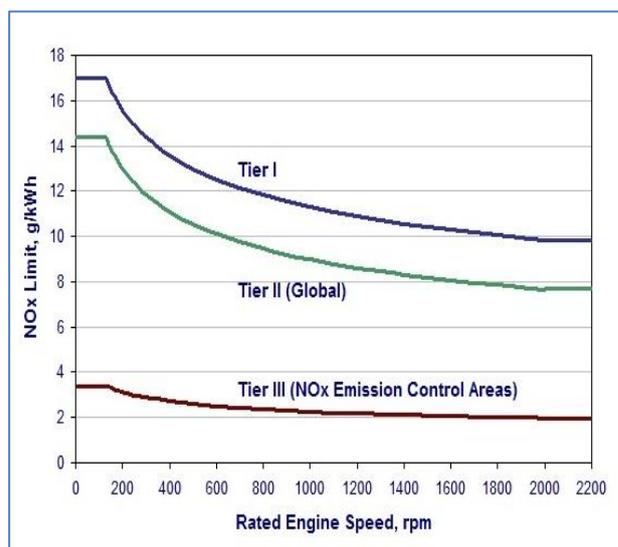
## ✓ Regla 13 – Óxido de nitrógeno (NOx)

La **Regla 13** hace referencia al Óxido de Nitrógeno (NOx), la cual se contempla en el Anexo VI y que establece su aplicación en los motores diésel marinos que se instalan con una potencia de salida que supera los 130 kW, con excepción de los que son empleados solo por propósitos de emergencia, sin importar el tonelaje de la embarcación en donde se instalen estos motores. La Regla 13 se aplica a distintos niveles de control los cuales se fundamentan en la fecha en la que el navío haya sido construido.



**Tabla 1. Niveles de control de emisiones de NOx basados en la fecha de construcción del barco.**

Nivel	Fecha de construcción del buque	Valor límite de emisión ponderada total del ciclo (g/kWh) n = régimen nominal del motor (rpm = revoluciones por minutos)		
		n < 130	n = 130 – 199	n ≥ 2000
I	01/01/2000	17.0	45.n <sup>(-0.2)</sup> por ejemplo, al sustituir n= 720 rpm, el límite NOx sería = 12.1 g/kWh	9.8
II	01/01/2011	14.4	44.n <sup>(-0.23)</sup> por ejemplo, al sustituir n= 720 rpm, el límite NOx sería = 9.7 g/kWh	7.7
III	01/01/2016*	3.4	9.n <sup>(-0.2)</sup> por ejemplo, al sustituir n= 720 rpm, el límite NOx sería = 2.4 g/kWh	2.0

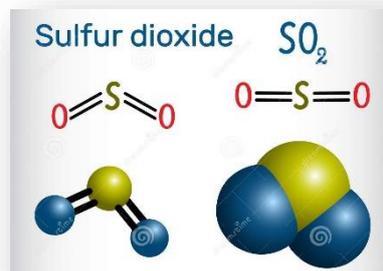


**Figura 2.** Límites de emisiones de NOx (MARPOL). Fuente: Méndez (2017).

Los controles de Nivel III se aplican solo a los buques especificados mientras operan en Áreas de Control de Emisiones (ECA) establecidas para limitar las emisiones de NOx, fuera de dichas áreas se aplican los controles de Nivel II. De acuerdo con la regla 13.5.2, ciertos barcos pequeños no tendrían que instalar motores Tier III.

## ✓ Regla 14 – Óxido de azufre (SO<sub>x</sub>) y material particulado

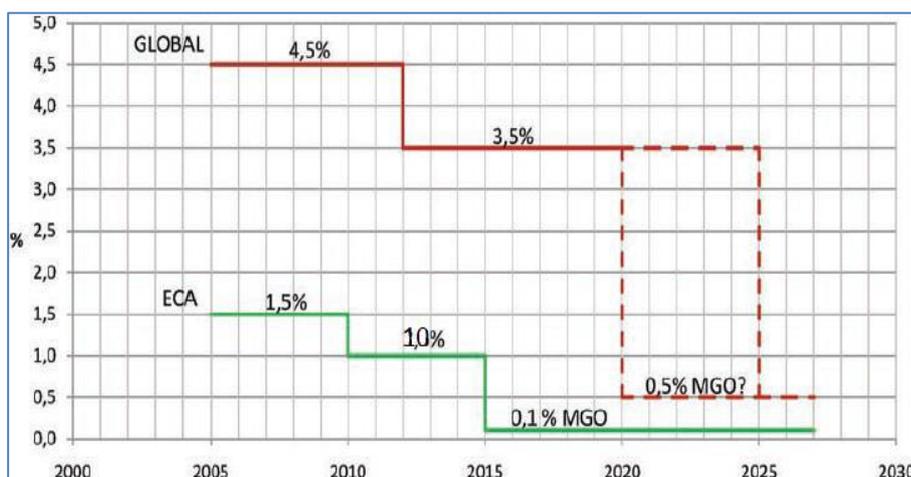
La **Regla 14** hace referencia al Óxido de azufre (SO<sub>x</sub>) y material particulado. En este sentido, de acuerdo a la OMI (2019c), estos controles deben aplicarse a todos los aparatos y dispositivos de combustión de todos los fueloiles, instalados a bordo, lo que quiere decir que se abarcan los motores principales y auxiliares, además de calderas y generadores de gas inerte.



**Tabla 2.** *Contenido máximo permitido de Azufre en los combustibles marinos.*

Contenido de Azufre Global (% m/m)	Contenido de Azufre ECAs (% m/m)
4,5% masa/masa, antes del 01/01/2012	1,5% masa/masa, antes del 01/07/2010
3,5% masa/masa, a partir del 01/01/2012	1% masa/masa, a partir del 01/07/2010
0,5% masa/masa, a partir del 01/01/2020	0,1% masa/masa, a partir del 01/01/2015

De acuerdo a la OMI (2019e), se establece en el Anexo VI del Convenio MARPOL que el límite máximo del contenido de azufre debió ser reducido desde el 01 de enero de 2020, pasando de 3,50% a 0,50%. Esta norma entró en vigencia desde el 01 de enero de 2020 y a partir del 2015 los límites tanto de SO<sub>x</sub> como de materia particulada llegaron a reducirse a 0,10% desde el 01 de enero del 2020.



**Figura 3.** Límites de SO<sub>x</sub> de los combustibles marinos en las ECAs y fuera de ellas. Fuente: Boned (2013, p.74).

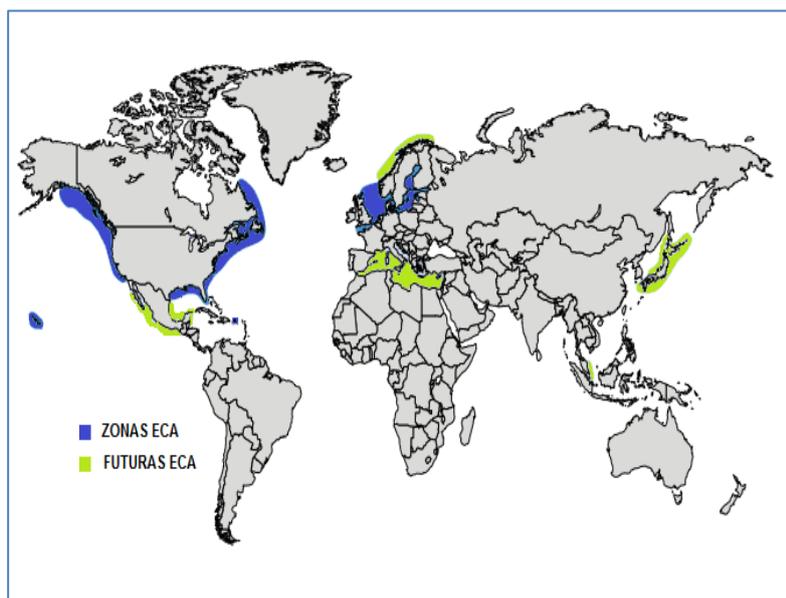
## ✓ Zonas de Control de Emisiones (ECA)

De acuerdo a la OMI (2019g), las zonas de control de emisiones (ECAs) establecidas son las siguientes:

**Tabla 3. Zonas de control de emisiones SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y PM.**

Zona especial	Control de contaminante	Definida en Convenio MARPOL	Entrada en vigor
Zona del mar Báltico	SO <sub>x</sub>	Anexo I	19/05/2005
Zona del Mar del Norte	SO <sub>x</sub>	Anexo V	22/11/2006
Zona de Norteamérica	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y PM	Apéndice VII del Anexo VI	01/08/2012
Zona del mar Caribe de los Estados Unidos	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y PM	Apéndice VII del Anexo VI	01/08/2012

En la actualidad, hay establecidas 4 Zonas de Emisiones Controladas (Mar Báltico, Mar del Norte, Norte América, y Mar del Caribe de Estados Unidos). Además, cada ECA puede ser SECA (Sulphur Emission Control Area) en la que solo se limita el contenido de Azufre de los combustibles utilizados por los buques que transiten en ellas, también puede ser NECA (NO<sub>x</sub> Emission Control Area) en la que se hace de obligado cumplimiento para los motores de los buques construidos a partir de 2016 que vayan a navegar por ellas cumplir con el NIVEL III en cuanto a emisiones de NO<sub>x</sub>. En las ECAs también pueden ser de control de Materia Particulada, aunque no hay unos límites establecidos (Boned, 2013).



**Figura 4.** Zonas de control de emisiones (ECAs) y futuras ECAs.  
Fuente: Peña (2016, p.19).

Para la designación de una zona ECA se requiere: Que dos estados miembros estén interesados en que sea establecido como zona especial. La propuesta tiene que incluir un estudio sobre las emisiones generadas por los buques que operan en la zona y su impacto sobre la salud y el medio ambiente. (Sendín, 2019, p.16)

# Combustibles marítimos

El crudo cuando llega a la refinería, procedente del lugar de extracción, se lleva a la torre de fraccionamiento en la que se produce la fase de destilación. En esta fase se aplica calor al crudo y las fracciones más livianas con un punto de ebullición menor, como son naftas, gasóleo, entre otros; se evaporan ascendiendo por las torres y son separados del crudo inicial, al final del proceso de destilación nos queda el fueloil pesado o residual (HFO). Este fueloil pesado si se mezcla con gasoil marino (MGO) (que es un producto 100% destilado) se consigue fueloil intermedio (IFO). Dependiendo del porcentaje de Fueloil residual y Gasoil que contenga este IFO obtendremos IFOs de diferentes viscosidades, concretamente de nuestro interés son el IFO 380 y el IFO 180. (Boned, 2013)

**Tabla 4. Principales características de los combustibles más utilizados por buques.**

Dato	HS IFO380	LS IFO380	HS IFO180	LS IFO180	MDO	MGO
Denominación ISO	RMG 380	RMG 380	RME 180	RME 180	DMB	DMA
Composición	98% Fueloil residual 2% fueloil destilado	98% Fueloil residual 2% fueloil destilado	88% Fueloil residual 12% fueloil destilado	88% Fueloil residual 12% fueloil destilado	Fueloil destilado con trazas de Fueloil residual	100% Fueloil destilado
Densidad a 15°C (Kg/m <sup>3</sup> )	991	991	991	991	900	860
Viscosidad cinemática (50°C)	380 cst	380 cst	180 cst	180 cst	(40o): 11 cst	(40o): 6 cst
Punto de Inflamación	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C
Azufre (m/m)	<3,5%	<1%	<3,5%	<1%	1,5-0,5%	<0,1%
H2O (v/v)	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,3%	0%
Cenizas (m/m)	0,1%	0,1%	0,07%	0,07%	0,01%	0,01%
Contenido Carbono (m/m)	18%	18%	15%	15%	0,3%	0,3%

## Terminología de los combustibles

**HS** = *Hight Sulphur*/ Alto contenido en Azufre

**LS** = *Low Sulphur*/ Bajo en Azufre

**IFO** = *Intermedium Fuel Oil*

- 380: Hace referencia a la viscosidad cinemática en centistoke a 50 °C

- 180: es la viscosidad cinemática en cst a 50 °C

**MGO** = *Marine Gas Oil*

**MDO** = *Marine Diesel Oil*

**Tabla 5. Propiedades del Fuel Oil al momento de elegir un combustible.**

Propiedad	Traducción a Inglés	Definición
Gravedad Específica	Specific Gravity	La relación de la densidad de una sustancia a una temperatura particular a la densidad de agua a 15 grados centígrados.
Viscosidad Cinemática	Kinematic Viscosity	Viscosidad medida en [m <sup>2</sup> /s]
Punto de inflamabilidad	Flash Point	La temperatura más baja a la que un líquido generará suficiente vapor para destellar cuando se expone a una fuente de ignición.
Punto de vertido	Pour Point	La temperatura más baja a la que un combustible verterá o fluirá bajo ciertas condiciones prescritas. Normalmente estas condiciones pueden ser de verano o de invierno.
CCAI	CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index)	Índice que calcula la aromaticidad del combustible proporcionando las calidades de la ignición.
Índice de acidez	Acid number	Es la cantidad de producto básico, expresado en mg de KOH requeridos para neutralizar todos los componentes ácidos presentes en 1g de la muestra

## ✓ *Cambio de combustible*

Con las nuevas normativas muchos armadores han tenido que seleccionar el cambio de combustibles residuales por combustibles ligeros de bajo por ciento de azufre, dando lugar por una parte al cumplimiento de las regulaciones, pero por otro lado en algunos casos ha ocasionado problemas con el proceso de trabajo del motor, tales como la pérdida de potencia en cuanto ha sido solicitada (maniobras) provocando en ocasiones paradas inadmisibles del motor que pueden conducir a serias averías en el buque. (Peña, 2016)

Las eventuales consecuencias del pasaje al gasóleo consistirían principalmente en un aumento de su precio que se repercutirá en una subida del coste del transporte marítimo, provocando así una pérdida del volumen transportado por vía marítima frente a la carretera. El buque deberá someterse a ciertos cambios en su sistema propulsivo, que no comporta un elevado coste. (Romeo, 2018),

**Tabla 6. Aspectos a considerar en el cambio de combustibles.**

Aspecto	Descripción
<b>Viscosidad</b>	Los combustibles destilados tienen una viscosidad mucho menor que los fueles residuales. Lo principales problemas que se genera en un motor no diseñado para ello son: Incremento de fugas internas en bombas de fuel. Incremento de las ratios de caudal a través de los reductores y los inyectores (López, 2015).
<b>Lubricidad</b>	A menor viscosidad, menor lubricidad. De manera se debe tener cuidado con aquellas bombas que requieran una alta lubricidad para su funcionamiento, ya que se podría producir recalentamiento al consumir gasóleo (López, 2015).
<b>Acidez</b>	A menor contenido de azufre, menor acidez. El lubricante de un motor es fabricado de manera que su alcalinidad neutraliza la corrosión por acidez del fuel. Por lo que, si la acidez de los destilados es menor, la alcalinidad de los lubricantes debe ser corregida. De lo contrario, se producirá incremento de depósitos de carbonilla (López, 2015).
<b>Punto de inflamación</b>	El peligro se crea cuando la producción de estos nuevos productos como el DMX se crean por mezcla de fueles de bajo azufre con destilados de automoción, que tienen un punto de inflamación menor que el fuel con el que se están mezclando, produciendo un punto aún menor. En el caso del DMX, su límite inferior es de 43°C, estando muy por debajo por tanto del mínimo permitido por SOLAS para combustibles marinos, que es de 60°C. Este no es, por tanto, un riesgo intrínseco del cambio a destilados, sino del método de producción de estos productos en origen (López, 2015).
<b>Temperatura</b>	Acerca de la temperatura del combustible, por lo general, HFO se calienta a aproximadamente 150 °C y cuando tiene que ser cambiado a MGO, que su temperatura está alrededor de 40 °C, por lo que la brecha de temperatura es de aproximadamente 110 °C. Teniendo en cuenta la tasa permitida de cambio de 2,0 °C/min, el proceso de sustitución del combustible debe durar un mínimo de 55 minutos para llevarse a cabo de forma segura. Un cambio rápido de HFO a MGO puede causar un sobrecalentamiento del MGO lo que provoca una rápida pérdida de la viscosidad y la formación de gases en el sistema de combustible (Peña, 2016).

*Continúa...*

Aspecto	Descripción
<b>Densidad</b>	Los destilados tienen una densidad menor que los fueles residuales. Esto requiere que la cantidad de mezcla que entra en el quemador sea diferente. La mayoría de los motores tienen esta relación pre ajustada para las características del fueloil, de manera que, se debe reajustar este parámetro a las características del destilado. De lo contrario, se perderá potencia, habrá problemas de ignición y se incrementarán las emisiones de la combustión (López, 2015).
<b>Incompatibilidad</b>	Si se produce una incompatibilidad, puede dar lugar a la obstrucción de los filtros de combustible y separadores y pegado de las bombas de inyección de combustible, todo lo cual puede conducir a la pérdida de poder o incluso parar al motor propulsor, poniendo en riesgo la nave. Los problemas de incompatibilidad pueden ser causados por las diferencias de estabilidad entre los combustibles mixtos. Los combustibles de bajo azufre y, como consecuencia los asfaltenos pueden precipitar de la mezcla en forma de lodo pesado, provocando la obstrucción de filtros. Esto puede ser evitado o minimizado a través de los kits de pruebas de compatibilidad que debemos de tener a bordo y utilizado cuando se toma combustible. En general, no se recomienda devolver la mezcla de combustible al tanque de servicio de ultra bajo en azufre (Peña, 2016).
<b>Cambio de lubricante según el combustible</b>	Los motores diésel requieren lubricación con el fin de operar de manera eficiente y estos aceites lubricantes tienen que ser compatibles con el combustible utilizado en el motor. Por lo tanto, si el aceite de lubricación BN (Número de Base) no coincide con la acidez del combustible que va a tener un efecto sobre el mantenimiento de un lubricante compatible entre el combustible y el aceite. El BN70 demasiado alto puede desarrollar calcio y otros depósitos en las superficies del revestimiento. El BN30-50 demasiado pequeño puede aumentar la acidez del combustible y provocar un desgaste adicional en las piezas, así como la creación de problemas al quemar el combustible. Los aceites lubricantes se utilizan para neutralizar los ácidos formados en combustión, en su mayoría ácido sulfúrico creado a partir de azufre en el combustible. La cantidad de aditivos de neutralización de ácidos en el aceite lubricante debe coincidir con el contenido total de azufre del combustible. Se ha establecido que un cierto nivel de corrosión controlado mejora la lubricación. La corrosión genera pequeñas "bolsas" en la superficie de contacto de la camisa del cilindro en las que se crea un efecto parecido al de lubricación hidrodinámica de aceite. En otras palabras, la corrosión controlada es importante (Peña, 2016).

### Modificaciones que requiere el cambio de combustible

Cuando un buque con un sistema de propulsión fabricado para el uso de fueles pesados se va a cambiar a un uso de destilados prolongado. Se deben realizar modificaciones en los siguientes elementos:

- Almacenamiento.
- Calderas, incluyendo el control de combustión.
- Motor principal y motores auxiliares.
- Procedimientos para el cambio de combustible. (Peña, 2015)

#### Recomendaciones orientadas a garantizar la seguridad de la embarcación y de los tripulantes:

- Hay que evitar que los destilados pasen por circuitos o tanques calefactados que puedan calentarlos y reducir aún más su viscosidad. Se deben crear dos circuitos y tanques exclusivos para cada tipo de combustible.
- Se debe comprobar que las bombas de fuel han sido diseñadas para trabajar con baja viscosidad y lubricidad.
- En algunos barcos puede ser necesaria la instalación de un enfriador para asegurar que la viscosidad de gasóleo está de acuerdo con los límites recomendados por los fabricantes de motores.
- Para un funcionamiento prolongado con destilados, se debe prestar especial atención a la posibilidad de contaminación del lubricante debido a fugas en las bombas de combustible. Esto requerirá un mayor seguimiento de los análisis del lubricante y el uso del TBN más bajo.
- La operación de cambio de combustible debe estar claramente definida para cada buque por medio de procedimientos que deben incluir instrucciones sobre las anotaciones relevantes en el cuaderno de bitácora, como es requerido por las autoridades.
- El procedimiento debe también incluir las instrucciones sobre el momento en el que se debe iniciar la operación de cambio de combustible con el fin de asegurar el tiempo suficiente para dicho cambio, teniendo siempre la seguridad de la navegación en consideración. (López, 2015)

# Procedimientos para el cambio de combustible

## Procedimientos para la recepción del combustible (bunkering)

### Plan pre-bunkering

El 3er y 4to ingeniero debe tener en claro el plan de pre-abastecimiento del combustible organizado por el Jefe de máquinas.

Todos los tanques deben ser sondeados para saber con exactitud la cantidad inicial del combustible abordo antes del bunkering.

El 3er y 4to ingeniero debe saber la secuencia de abastecimiento de los tanques y la cantidad de combustible a ser llenado.

Establecer una comunicación entre la sala de máquinas y la estación de bunkering.

El plan SOPEP debe estar ubicado y verificado.

Las mangas de abastecimiento deben estar conectadas de forma segura y correcta evitando una potencial fuga.

Verificación de todas las líneas del sistema de combustible, para asegurar su distribución a los tanques deseados.

El testeo de la parada de la bomba de suministro y familiarización en el lenguaje de señalización, en caso de emergencia.

Para una faena de combustible cada buque cuenta con su gestión y sistema de seguridad siendo estos procedimientos similares en cada buque.



Figura 5. Señalización de la maniobra.

Fuente: <https://www.maritimecyprus.com/2016/07/26/fuel-management-tips-for-smooth-sailing/>

En todo momento debe estar la señalización de la maniobra y los anuncios de operación.

## Durante el bunkering y post-bunkering

Con la orden del jefe de máquinas se da inicio del bunkering y se debe registrar la hora de inicio de esta.

El 3er y 4to ingeniero debe verificar y estar atento del caudal de la bomba sea creciente hasta alcanzar el régimen de trabajo permito.

El 3er y 4to ingeniero debe realizar sondeos de forma regular a los tanques y verificar que no exceda más del 90% de la capacidad del tanque.

Revisar la toma de la muestra desde el inicio hasta el final del bunkering, ya que esta será llevada al laboratorio.

Cuando haya finalizado la transferencia, se registra la hora y con orden del jefe de máquinas se hace un barrido con aire para transferir cualquier remanente que se encuentre en la línea con el fin de evitar una contaminación cuando se retire la manga.

El 3er y 4to ingeniero debe realizar un sondeo final, para calcular la cantidad de combustible recibido de acuerdo a las temperaturas de los tanques y el trim del buque.

El jefe de máquinas autorizara la desconexión de la manga después de verificar la cantidad suministrada y que no haya ninguna irregularidad.

El nuevo combustible recepcionado no podrá consumirse hasta recibir los análisis de laboratorio y que cumplan con los estándares.



**Figura 6.** Brida de conexión con depósito para recolección de muestra.

Fuente: <https://www.manifoldtimes.com/news/fobas-repeats-importance-of-representative-manifold-drip-sample/>

**En todo momento se debe verificar la conexión de la botella de recolección para el análisis del combustible.**



**Figura 7.** Sondeo de tanques para el cálculo del combustible.

Fuente: <https://www.maritimecyprus.com/2016/07/26/fuel-management-tips-for-smooth-sailing/>

# Procedimientos para la transferencia del combustible

Una vez corroborado los resultados de laboratorio del combustible, evidenciando que cumplen con los estándares establecidos. Estos pueden ser bombeados a los tanques internos.

El 3er y 4to ingeniero debe revisar regularmente las líneas de la transferencia del combustible con el fin de prevenir una fuga entre las uniones de las bridas.

El factor temperatura es importante, ya que si esta es demasiado baja, aumenta la viscosidad del combustible y por ende su punto de vertido o escurrimiento.

Caso contrario tener una temperatura muy alta en el combustible, llevara a la emanación de vapores inflamables del combustible (punto de inflamabilidad).



**Figura 8.** Bombas de transferencia (tanque de almacenamiento – tanque de sedimentación).

Fuente: <https://www.marineinsight.com/tech/10-practical-tips-handle-engine-room-pumps/>

El 3er y 4to ingeniero debe verificar la transferencia del combustible desde los tanques de almacenamiento a los tanques de sedimentación, cerciorándose que la presión de succión y descarga de la bomba de transferencia está en el intervalo de presión de trabajo.

El 3er y 4to ingeniero debe tener cuidado de cualquier pico de presión de la bomba ya que esto es un indicativo de una obstrucción de filtro y esto llevará a la bomba a un daño operacional debido a exceder su presión de trabajo.

## PURIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE

Los tanques de sedimentación deben contar con una temperatura alrededor de los 50°C (depende del nuevo combustible suministrado, otros pueden elevarse alrededor de los 60°C) como su mismo nombre lo dice, en este tanque se sedimenta las partículas más densas como el agua, lodos y partículas metálicas producto de la refinación catalítica en las refinerías.

El 3er y 4to ingeniero drena estos tanques diariamente gracias a una válvula en la parte inferior del tanque con el objetivo de evitar que alguna partícula contaminante pueda pasar al purificador.

Una vez llegado a los purificadores, para una mayor eficiencia en la purificación, se puede sestar la temperatura del intercambiador de calor (gracias a una válvula de flujo de vapor) que se encuentra antes de llegar al purificador ya que con este nuevo combustible algunos requieren más temperatura siempre y cuando se tenga cuidado en no exceder su punto de inflamabilidad.

Debido a que este nuevo combustible tiene un contenido de azufre menor gracias a la refinación catalítica, contiene una mayor cantidad de finos catalíticos (Aluminio y Silicio), se recomienda poner un filtro magnético para evitar estas partículas abrasivas que dañan las camisas del motor y desgastan anillos de pistón.

El 3er y 4to ingeniero deben, dar una frecuente inspección a los purificadores, en especial a los filtros y discos ya que estos suelen atascarse, debido a la particularidad de este nuevo combustible de formar lodos.



**Figura 9.** Limpieza de purificadores.

Fuente: <https://siagapm.com/jasa-overhaul-maintenance-modifikasi/>

## CONSUMO DEL COMBUSTIBLE

Este procedimiento es llevado a cabo desde el tanque de servicio hasta la inyección del combustible en la cámara de combustión.

La temperatura del tanque de servicio debe mantenerse constante a la salida de la temperatura del purificador, según lo que recomienda el análisis en tierra por el laboratorio.

El *Booster unit* es el sistema que succiona el combustible del tanque de servicio, existiendo 2 unidades de *booster*, independientemente para el motor principal y para los generadores.

El sistema *Booster unit* cuenta con 2 bombas *Circulating* (baja presión) el cual succiona el combustible de los tanques de servicio pasando por los filtros automáticos reteniendo cualquier particular contaminante.

Su recorrido pasa por transmisores de flujo que verifican el flujo del combustible, llegando así al *Mixing tank* en donde es succionado por las 2 bombas *Feed* (alta presión) y finalmente pasa por los intercambiadores de calor que a través de un viscosímetro se regula la temperatura de salida de acuerdo a la viscosidad de trabajo del combustible.

Cuando su recorrido termina por el *Booster unit*, el combustible llega hasta el motor gracias a las bombas de inyección, finalmente el combustible es pulverizado en la cámara por los inyectores.



Figura 10. Sistema de Booster Unit.

Fuente: [https://www.auramarine.com/wp-content/uploads/2018/08/Booster-brochure-2018\\_VIEW.pdf](https://www.auramarine.com/wp-content/uploads/2018/08/Booster-brochure-2018_VIEW.pdf)

# ***Soluciones Técnicas para Contener las Emisiones de los Motores***

La aplicación de las soluciones técnicas para reducir las emisiones de los motores y cumplir con las nuevas regulaciones del Convenio MARPOL, específicamente con su Anexo VI, dependerán de distintos factores como es el caso de:

**El tipo y característica de la embarcación**

**Los tipos de motores propulsores**

**El área y ruta donde efectúan sus operaciones**

**La vida útil del navío**

Las soluciones técnicas para contener las emisiones de los motores de combustión interna dentro de unos límites son de dos tipos:

- **Soluciones activas**, afectan al diseño del motor y sus componentes.
- **Soluciones pasivas**, tratan de reducir las emisiones a la salida del motor antes de su vertido a la atmósfera.

Identificando las soluciones activas como tecnologías de pre-tratamiento y las soluciones pasivas como post-tratamiento. (García, 2018)

Clasificaremos las soluciones técnicas para contener las emisiones contaminantes de los motores, en las siguientes:

**Soluciones técnicas para reducir las emisiones NOx.**

**Soluciones técnicas para reducir las emisiones SOx.**

Sendín (2019) refiere que existen dos tipos de soluciones, clasificadas en soluciones primarias y soluciones secundarias. Las soluciones primarias son las que actúan directamente sobre la combustión producida en el motor. De esta manera se impiden las formaciones de las sustancias contaminantes. Las soluciones secundarias son las que actúan a posteriori, es decir, una vez formada la sustancia contaminante en la combustión será tratada para reducirla o eliminarla de manera que podamos cumplir con la legislación.

## ✓ Soluciones técnicas para reducir las emisiones NOx

### 1. Optimización del motor

La optimización del proceso de combustión del motor incluye la modificación del patrón de pulverización mediante la modificación del diseño del inyector de combustible, tiempo de inyección, la intensidad de la inyección y perfil de velocidad de inyección, la relación de compresión, presión del aire de barrido y refrigeración del aire de barrido. El atraso del tiempo de inyección es muy eficaz en la reducción de NOx, pero aumenta el consumo de combustible y el humo. Por lo general, se combina con el aumento de la presión de compresión y disminución de la duración de la inyección para minimizar o evitar un aumento en el consumo de combustible. (Peña, 2016)

### 2. Inyección directa de agua (DWI)

La inyección directa de agua en la cámara de combustión (DWI - *Direct Water Injection*) y (EWI - *Estratified Water Injection*), es un método eficaz para reducir las emisiones de NOx, los niveles de óxidos de nitrógeno se reducen en un 50% a costa de un pequeño aumento del consumo (2%) cuando la emulsión es del 70% bajan a 6g/kWh. (García, 2018)

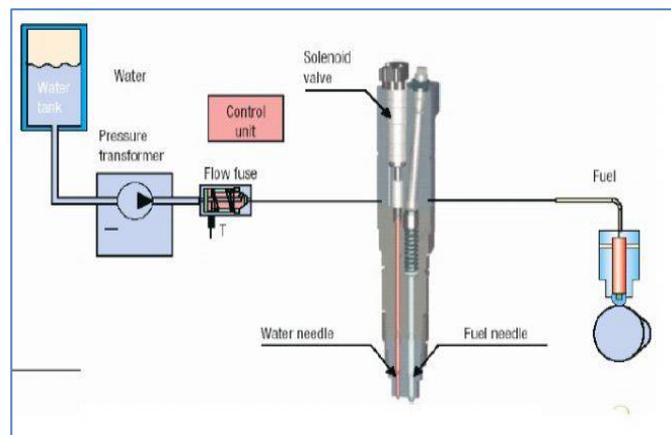


Figura 11. Sistema de inyección de agua directa de Wärtsilä. Fuente: Peña (2016, p.61).

La técnica de inyección directa de agua en la cámara de combustión consiste en una inyección de agua previa a la de combustible de manera que la zona de combustión se enfría sin interferencia de los chorros de combustible y agua (García, 2018).

### 3. Humidificación de la carga de aire

La humidificación puede reducir los niveles de NOx hasta 2 a 3 g/kWh y sin aumento en el consumo de combustible. En este sistema, el aire de carga se humidifica mediante la inyección de agua en un "spray" rociado en la entrada de aire del motor, con el fin de saturar. Por lo general, esta operación se lleva a cabo cerca de la salida del compresor donde la temperatura es alta, y, lo que es más adecuado para la vaporización del agua inyectada. Esta humidificación del aire es una solución relativamente simple en el potencial de reducir las emisiones de NOx y de no llevar a cabo modificaciones en el motor. (Peña, 2016)

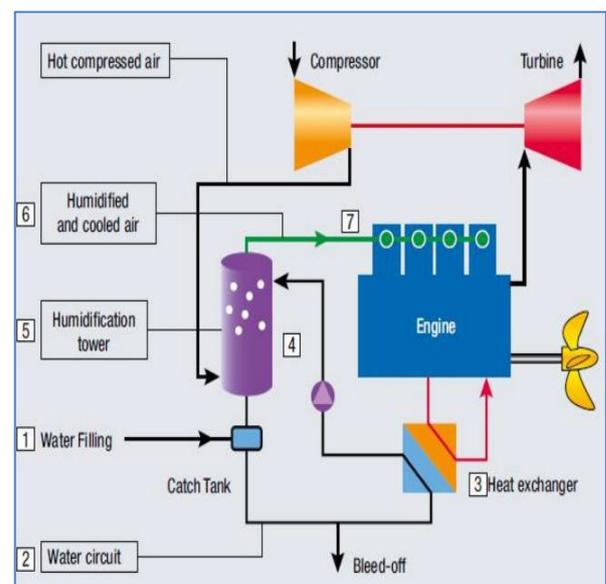
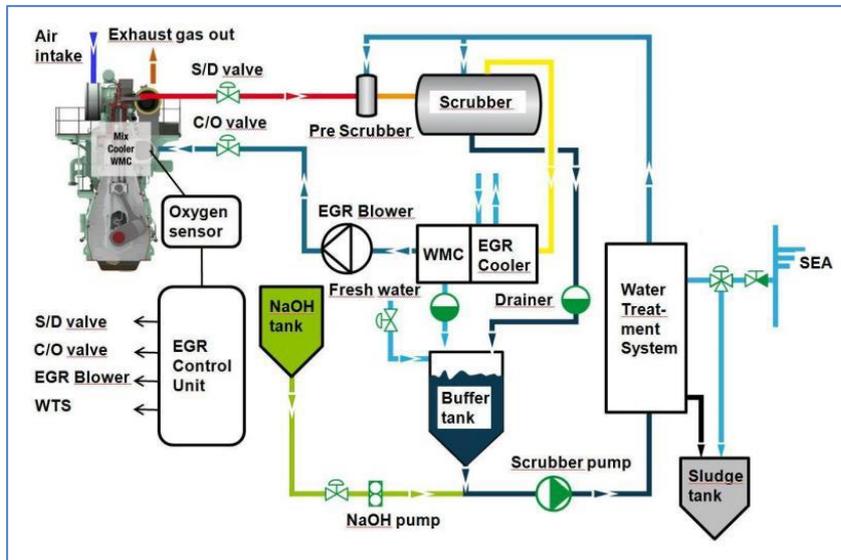


Figura 12. Sistema de humidificación de la carga de aire. Fuente: Peña (2016, p.62).

#### 4. Recirculación de gases de escape (EGR)

La recirculación de gases de escape (EGR-Exhaust Gas Recirculation) es una estrategia empleada para reducir la formación de NOx por vía térmica, incrementando la cantidad de gases residuales retenidos en el cilindro al cerrar la admisión. (García, 2018)

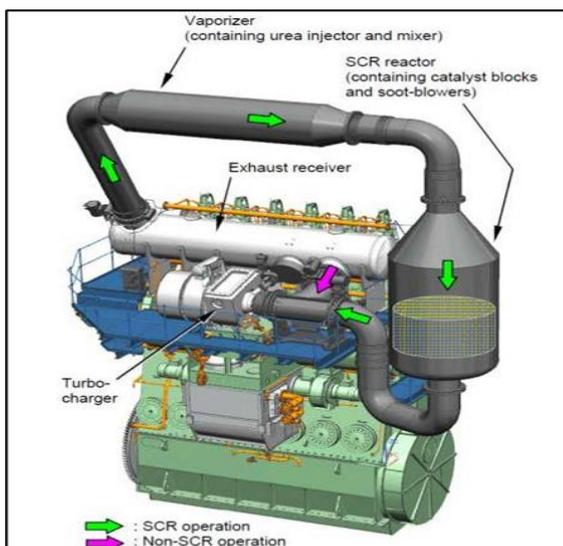


Si atendemos a los principales elementos del sistema EGR, observamos que el sistema recircula y enfría una pequeña parte de los gases de escape, mezclándolos con el aire de barrido, lo que permite una reducción de la temperatura máxima de combustión y con ello de la formación de los óxidos de nitrógeno. (Peña, 2016)

Figura 13. Elementos principales del EGR. Fuente: Peña (2016, p.64).

#### 5. Reducción Catalítica Selectiva (SCR)

Se define como una tecnología de control post-combustión, basadas en la reducción química de los óxidos de nitrógeno (NOx) a nitrógeno molecular (N2) y vapor de agua (H2O). El proceso de reducción catalítica selectiva se basa en la reducción de los óxidos de nitrógeno (NOx) con la inyección de amoníaco (NH3), en presencia de exceso de oxígeno (O2) y un catalizador, todo esto dentro de un rango de temperatura apropiado, dan lugar a la transformación de los NOx en sustancias inocuas tales como el nitrógeno (N2) y en vapor de agua (H2O). (García, 2018)

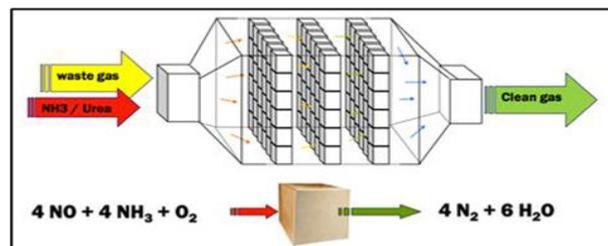


##### Ventajas:

- 80/90% de reducción de emisiones NOx contaminantes.
- Se reducen las emisiones de NOx hasta un 2 g/kWh.
- Este sistema no afecta al rendimiento del motor, ya que no incide en la combustión.
- Ocupa poco espacio.
- El control se reduce a la dosificación, cuanto mayor dosificación de amoníaco, es decir solución de urea (CO(NH2)2), mayor eliminación de NOx.

##### Desventajas:

Son caros de instalar, operar y mantener. (García, 2018)



(a)

(b)

Figura 14. Sistema SCR integrado en el motor. Fuente: Peña (2016, p.71).

## ✓ Soluciones técnicas para reducir las emisiones SOx

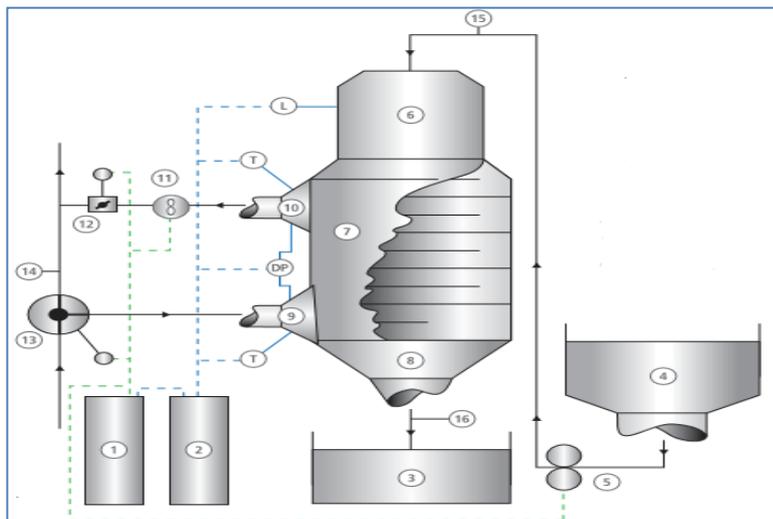
Para poder combatir la emisión de SOx después de la combustión podemos utilizar los siguientes métodos: combustibles con bajo contenido en azufre, combustibles alternativos o sistemas de limpieza de gases de escape. Entonces como soluciones técnicas, tenemos a los sistemas de limpieza de gases de escape, llamados **Scrubber**, constan de un depurador instalado en el conducto de escape, donde se tratan los gases con diferentes sustancias con el fin de reducir la mayor cantidad posible de SOx y materia particulada, así como una pequeña proporción de NOx.

Existen diferentes **Tipos de Scrubbers**, entre los cuales se destacan los:

1. **Scrubber secos.**
2. **Scrubber húmedos.**
  - Regenerativo o abierto.
  - No regenerativo o cerrado
  - Híbrido. (Sendín, 2019)

### 1. Scrubber de tipo seco

Un depurador en seco no utiliza agua ni otro tipo de sustancias líquidas para llevar a cabo el proceso de lavado, solo contiene cal hidratada granulada que en contacto con los gases de escape crean una reacción química que elimina los compuestos de SOx de la emisión. Dado que los gases de escape no pasan a través del agua no se enfrían y, por tanto, los depuradores secos pueden ser colocados antes de un economizador de gases de escape (EGE) o ser utilizado conjuntamente con las unidades de un sistema reactor catalítico (SCR) que normalmente requieren las temperaturas de los gases de escape por encima de 350 °C para permitir que los catalizadores funcionen correctamente, tanto para reducir emisiones de SOx y NOx. Los depuradores secos utilizan hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  conocido como cal hidratada, que reacciona con el dióxido de azufre  $\text{SO}_2$  para formar el sulfito de calcio  $\text{CaSO}_3$ . (Peña, 2016)



**Figura 15.** Depurador de gases tipo seco, principales componentes.  
Fuente: Peña (2016, p.82).

#### Principales componentes del depurador tipo seco:

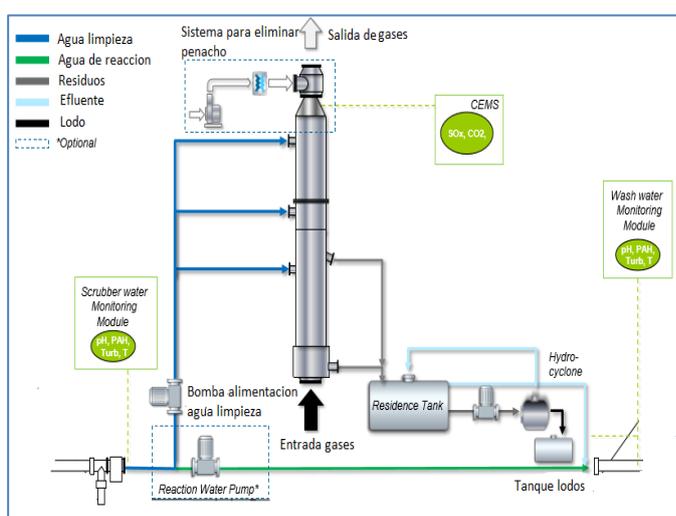
1. Cabina de control.
2. Cabina de monitoreo.
3. Residuos de la reacción.
4. Tanque de granulado.
5. Bomba neumática inyección.
6. Zona inyección granulado.
7. Depurador.
8. Productos reactivos.
9. Entrada de gases.
10. Salida de gases.
11. Ventilador extractor.
12. Válvula de insolación.
13. Válvulas 3 vías/bypass.
14. Conducto de gases.
15. Entrada de granulados.
16. Salida productos reactivos

## 2. Scrubber de tipo húmedo

La tecnología más empleada es la que utiliza agua (*wet scrubbers*) para depurar los gases de exhaustación. Con este método, los gases son depurados de componentes de azufre (SOx) y materia particulada, utilizando o agua salada (circuito abierto) o agua dulce y un aditivo alcalino (circuito cerrado). (Romeo, 2018)

### a.- Scrubbers a circuito abierto de agua salada

De acuerdo a Peña (2016), un depurador de circuito abierto limpia el gas de escape directamente con agua de mar aprovechando su natural alcalinidad para neutralizar los SOx, que luego es descargado de nuevo al mar. Esto implica la menor cantidad de equipos, lo que significa un menor coste de inversión e instalación más simple. Del mismo modo, significa que el costo de operación más bajo posible, ya que no hay consumibles.



En este sistema el agua de mar una vez que ha depurado los gases de exhaustación, es llevada a un sistema de tratamiento de agua, donde los materiales sólidos son llevados a tanques especiales que se descargan en puerto y el agua restante es mezclada con agua dulce para ajustar el pH antes de verterla al mar. Este sistema permite separar el 98% de SO<sub>2</sub>, por lo que puede ser utilizado mientras se consume fuel de 3,5%S y conseguir emisiones equivalentes a las de haber quemado un combustible con 0,1%S (Romeo, 2018).

Figura 16. Depurador de gases tipo abierto. Fuente: Peña (2016, p.85).

### b.- Scrubbers a circuito cerrado de agua dulce

En el lavado de circuito cerrado, el agua de lavado se dosifica con un aditivo alcalino (generalmente sosa cáustica) y es recirculado. Debido a la recirculación conduce a una acumulación de impurezas y la disminución de efecto de lavado, una porción del agua de circulación se limpia periódicamente, se descarga y se reemplaza con agua dulce para retener la capacidad. Debido a que un aditivo controla la alcalinidad del agua dentro de la torre de lavado, la alcalinidad del agua es irrelevante.

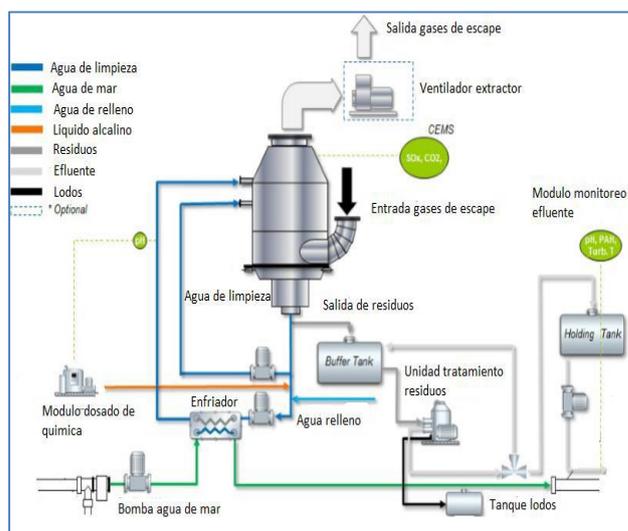


Figura 17. Depurador de gases tipo cerrado. Fuente: Peña (2016, p.88).

Por otra parte, la descarga en el mar se puede evitar por completo durante largos períodos de tiempo.

### c.- Scrubbers a circuito híbrido

Este sistema permite un funcionamiento flexible pudiendo operar según circuito abierto o cerrado o abierto. La ventaja es precisamente la de poder operar en circuito con cero descargas cuando el agua es de baja alcalinidad o bien las regulaciones locales no permitan descargas. El inconveniente es su mayor coste y mayor número de equipos a bordo. Es el segundo sistema más elegido por los armadores según las fuentes consultadas. (Romeo, 2018)

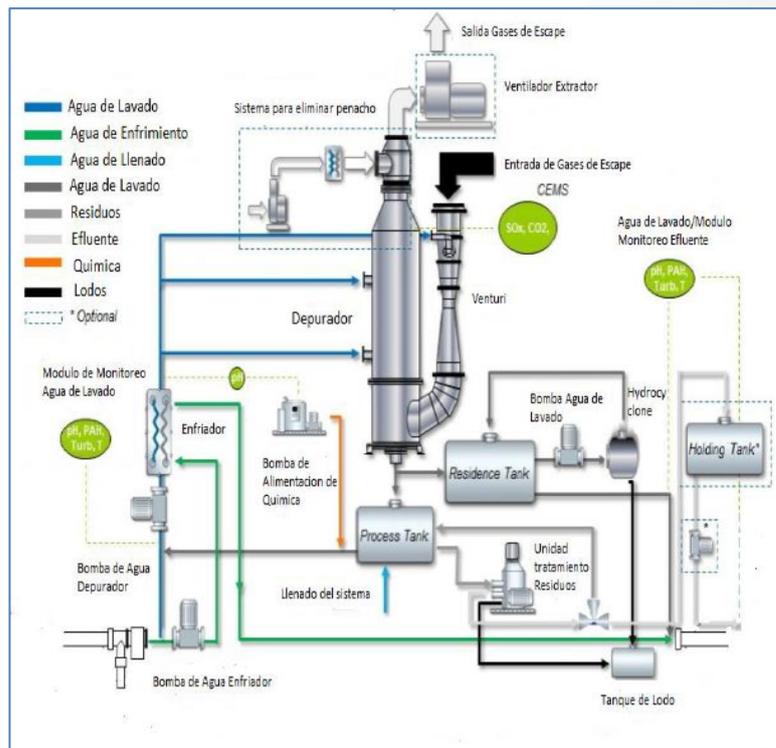


Figura 18. Depurador de gases tipo híbrido. Fuente: Peña (2016, p.91).

### Referencias bibliográficas:

- Acevedo, M. (2017). *La contaminación marina y la evolución de su normativa internacional*. (Tesis de maestría) Instituto Marítimo Español, España. Recuperado de: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/25031/TFM000848.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Boned, J. (2013). *Análisis y propuesta de cumplimiento de los requisitos ambientales de los buques de Short Sea Shipping para el año 2013*. Proyecto de Final de Carrera Licenciatura en Náutica y Transporte Marítimo, Barcelona, España. Recuperado de: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18040/PFC\\_Joan\\_Boned\\_Vargas\\_LNT\\_M\\_FNB.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18040/PFC_Joan_Boned_Vargas_LNT_M_FNB.pdf)
- García, R. (2018). *Normativa, Tecnologías Modificaciones para Reducir las Emisiones de Nox y Sox a la Atmósfera*. Ingeniero Marino (Online). Recuperado de: [https://ingenieromarino.com/normativa-tecnologias-y-modificaciones-para-reducir-las-emisiones-de-sox-y-nox-a-la-atmosfera/#1-Codigo\\_Tecnico\\_sobre\\_los\\_NOx\\_Relativo\\_al\\_Control\\_de\\_las\\_Emisiones\\_de\\_Nitrogeno\\_de\\_los\\_Motores\\_Diesel\\_Marinos](https://ingenieromarino.com/normativa-tecnologias-y-modificaciones-para-reducir-las-emisiones-de-sox-y-nox-a-la-atmosfera/#1-Codigo_Tecnico_sobre_los_NOx_Relativo_al_Control_de_las_Emisiones_de_Nitrogeno_de_los_Motores_Diesel_Marinos)
- López, F. (2015). *Evaluación de las consecuencias de la nueva regulación de la OMI sobre combustibles marinos*. (Tesis Doctoral) Escuela Técnica Superior de Ingenierías Navales, Madrid - España. Recuperado de: [http://oa.upm.es/38680/1/FRANCISCO\\_DE\\_MANUEL\\_LOPEZ.pdf](http://oa.upm.es/38680/1/FRANCISCO_DE_MANUEL_LOPEZ.pdf)
- MARPOL 73/78 (2002). *Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques 1973, Modificado por el Protocolo de 1978*. Londres: Organización Marítima Internacional.

## Referencias bibliográficas:

- Méndez, S. (2017). *Estudio de los sistemas de reducción de NOx y análisis del comportamiento del sistema de reducción catalítica selectiva en el simulador MC90-V*. (Tesis de grado) Universidad del País Vasco, Lejona, España. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/132350896.pdf>
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019a). *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL)*. Recuperado de: [http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019b). *Óxidos de nitrógeno (NOx) – Regla 13*. Recuperado de: [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx)
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019c). *Óxidos de azufre (SOx) – Regla 14*. Recuperado de: [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx)
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019e). *Prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques*. Recuperado de: <http://www.imo.org/es/ourwork/environment/pollutionprevention/airpollution/paginas/air-pollution.aspx>
- Organización Marítima Internacional (OMI, 2019g). *Zonas especiales en virtud del Convenio MARPOL*. Recuperado de: <http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/SpecialAreasUnderMARPOL/Paginas/Default.aspx>
- Peña, H. (2016). *Ingeniería Marina: medidas para la reducción de gases contaminantes en motores marinos*. (Tesis de grado) Universidad de La Coruña, La Coruña – España. Recuperado de: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/17745/PenaAleman\\_Humberto\\_TFG\\_2016.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/17745/PenaAleman_Humberto_TFG_2016.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Pérez, A. (2014). *Análisis de la aplicación del Anexo VI del Convenio MARPOL en la flota española*. (Tesis para optar al grado de Diplomatura Navegación Marítima) Barcelona, España. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2099.1/23359>
- Romeo, G (2018). *MARPOL VI: Análisis de las Medidas de Implantación e Intervención en los Puertos de la Comunidad Valenciana*. (Tesis de maestría) Universidad Pontificia Comillas, Facultad de Empresariales (ICADE). España. Recuperado de: <https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/37725/1/TFM001242.pdf>
- Sendín, M. (2019). *Soluciones para combatir la contaminación producida por los gases de escape en un buque RO/PAX*. (Tesis de Maestría) Escuela Técnica Superior de Náutica, Universidad de Cantabria, España. Recuperado de: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/16128/Send%C3%ADn%20Guerra%2C%20Mar%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>