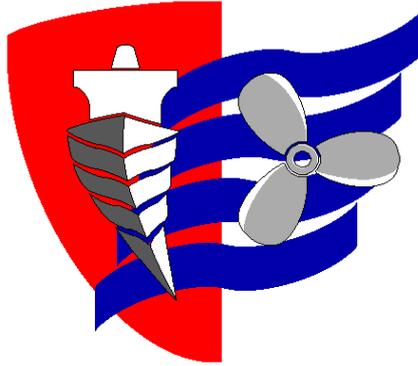


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

**APLICACIÓN DEL LÍMITE DE 0.5%
DE AZUFRE EN LOS
COMBUSTIBLES**

Application of the limit of 0.5% sulfur in fuels

Para acceder al Título de Máster Universitario en

INGENIERÍA MARINA

Autor: Antonio Cordero Sánchez

Director: Manuel A. Girón Portilla

Septiembre- 2021

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Máster

**APLICACIÓN DEL LÍMITE DE 0.5%
DE AZUFRE EN LOS
COMBUSTIBLES**

Application of the limit 0.5% sulfur in fuels

Para acceder al Título de Máster Universitario en

INGENIERÍA MARINA

Septiembre-2021

PALABRAS CLAVE:

- Bunker: Se conoce con el nombre de bunker a la operación de aprovisionamiento de combustible en el mar.
- Azufre: Es un no metal que está presente en el petróleo de forma natural.
- Viscosidad: Es la resistencia a las deformaciones existente entre diferentes capas de moléculas. Sólo se manifiesta en fluidos en movimiento.
- Punto de escurrimiento (pour point): Es la temperatura por debajo de la cual un líquido pierde la capacidad de fluir. Un valor alto de punto de escurrimiento se asocia con un alto contenido de ceras de parafinas.
- Ceras de parafinas (paraffin wax): Son derivados del petróleo que comienzan a solidificar por debajo de los 40°C.
- Finos de catalizador (cat fines): Son los residuos de los catalizadores del combustible. Son sustancias abrasivas que pueden llegar a dañar el motor.

RESUMEN:

En el presente proyecto se expondrá el procedimiento para realizar el cambio a un combustible de menor contenido en azufre.

El uso de este fuel de bajo contenido en azufre de menos de 0.5% de masa es obligatorio desde el día 1 de Enero de 2020, anteriormente a esta fecha el límite de azufre estaba en un 3.5%.

Este cambio ha sido todo un reto desde el punto de vista del suministro del nuevo fuel, lo que ha resultado en muchos casos en un fuel con unas propiedades subóptimas. Tal es así que muchos buques han optado por consumir diesel oil directamente.

Se hablará acerca de la normativa actual, y de las principales propiedades a tener en cuenta al operar con combustibles.

Por último se presentará como ejemplo el procedimiento realizado para el cambio de combustible en un buque LNG, el Rioja Knutsen, y los resultados que están dando los nuevos combustibles de bajo contenido de azufre.

KEYWORDS:

- Bunker: It is known as the refueling operation at sea.
- Sulfur: It is a non metal that is present in oils naturally.
- Viscosity: It is the resistance to deformations between layers of molecules. Viscosity is only present in moving fluids.
- Pour point: It is the temperature below which a liquid loses the ability to flow. A high pour point value is associated with high paraffin wax content.
- Paraffin waxes: They are derived from petroleum that begins to solidify below 40°C.
- Cat fines: These are the residues of the fuel catalyst process. They are abrasive substances that can damage the engine.

SUMMARY:

In this project will be exposed the procedure carried out to use a fuel with low sulfur content.

The use of this fuel, with sulfur content less than 0.5%, is mandatory since January 1 of 2020, prior to this date the sulfur limit was 3.5%. This change has been quite a challenge from supply point of view, which in many cases has resulted in a fuel with less than optimal properties. So much so that many ships have chosen to consume diesel oil directly.

We will talk about the current regulations, and the main properties to consider when operating with fuels.

Finally, the procedure carried out for the change of fuel in a LNG ship, the Rioja Knutsen, will be exposed. And will be show how the change has been prepared and the results that the new fuel is giving.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Antecedentes.....	10
1.2. Naturaleza del trabajo.....	14
1.3. Contexto técnico	14
1.4. Justificación y relevancia	15
1.4.1. Convenio MARPOL.....	16
1.4.2. Anexo VI.....	18
1.5. Objetivos.....	22
2. MEMORIA DESCRIPTIVA	23
2.1. Planteamiento del problema	23
2.1.1. Estabilidad del combustible	24
2.1.2. Incompatibilidades.....	25
2.1.3. Viscosidad.....	26
2.1.4. Densidad	27
2.1.5. Propiedades a baja temperatura	27
2.1.6. Polvo catalítico	28
2.2. Herramientas de resolución	29
2.3. Metodología	30
2.3.1. Limpieza de los tanques.....	30
2.3.2. Sedimentos en los tanques	30
2.3.3. Desgastes del motor	32
3. APLICACIÓN PRÁCTICA.....	33
3.1. Características del sistema de combustible.....	33
3.2. Cambio de combustible	34

3.2.1. Precauciones en los módulos de combustible.	42
3.2.2. Precauciones con los aceites.....	43
4. CONCLUSIONES.....	47
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
6. ANEXOS	49

INDICE DE FIGURAS

Tabla 1: Fechas de aplicación de los límites de azufre.....	11
Tabla 2: Límites emisiones NOx	18
Tabla 3: Tabla de características de VLSFO de distintos proveedores	24
Tabla 4: Recomendación del BN en función del combustible utilizado	44
Ilustración 1: Área de control de emisiones	10
Ilustración 2: Evolución de los límites de azufre	12
Ilustración 3: Buque LNG Rioja Knutsen.....	14
Ilustración 4: Análisis a la entrada y salida de la depuradora	31
Ilustración 5: Marcas de desgaste en el eje de un inyector	32
Ilustración 6: Capacidad de los tanques de fuel.....	34
Ilustración 7: Proceso del cambio de combustible 1	35
Ilustración 8: Proceso del cambio de combustible 2	36
Ilustración 9: Proceso del cambio de combustible 3	37
Ilustración 10: Proceso del cambio de combustible 4	37
Ilustración 11: Proceso del cambio de combustible 5	38
Ilustración 12: Proceso del cambio de combustible 6	39
Ilustración 13: Proceso del cambio de combustible 7	39
Ilustración 14: Proceso del cambio de combustible 8	40
Ilustración 15: Proceso del cambio de combustible 9	41
Ilustración 16: Proceso del cambio de combustible 10	41
Ilustración 17: Purificadora de fuel.....	42
Ilustración 18: Tabla de análisis de contenido de hierro	44
Ilustración 19: Factor ACC	45
Ilustración 20: Depósitos en aros del pistón.	46

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

A partir del 1 de Enero de 2020 todos los buques a nivel mundial deben de quemar combustibles con un contenido máximo de azufre de 0.50%. Este límite ha sido fijado por la OMI con el fin de reducir la cantidad de óxido de azufre procedente de los buques, lo que tendrá grandes beneficios sanitarios y ambientales en todo el mundo.

Este cambio de normativa conlleva un gran cambio en el abastecimiento de miles de buques en todo el mundo. Se cree que la mayoría de buques y operadores se decantarán por combustibles destilados y basados en destilados, los proveedores deberán de adaptarse y poder ofrecer combustibles que cumplan con la normativa de forma fiable.

El actual límite de contenido de azufre del 0.1% en las zonas de control ECA no variarán. Además de otras restricciones que puedan existir de manera local.

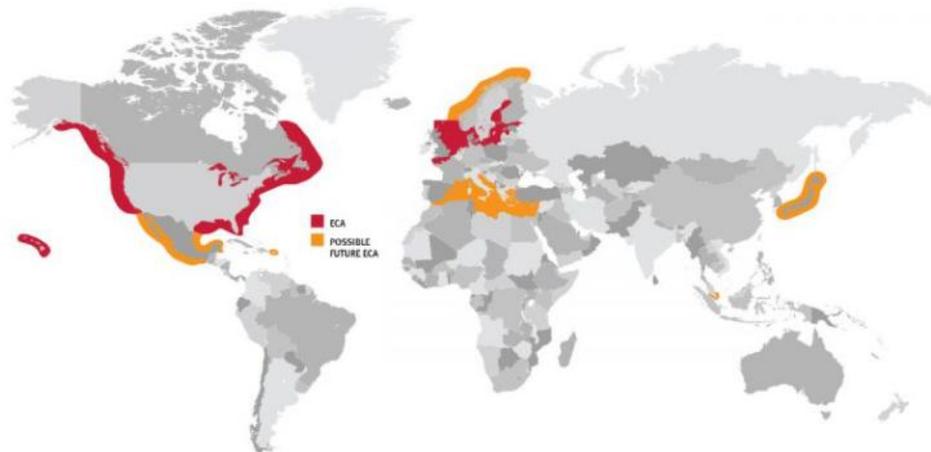


Ilustración 1: Área de control de emisiones. Fuente: Seatrade-Maritime

La OMI lleva años regulando para reducir la contaminación procedente de los buques a través del MARPOL 73/78. Pero no fue hasta el año 2005 cuando entró en vigor el “Anexo VI”, que limitó por primera vez los niveles de óxido de azufre (SOx) y óxido de nitrógeno (NOx) en las emisiones de los buques. En términos de SOx, el primer límite global establecido fue del 4.5% de masa de azufre en el combustible. Además, el Anexo VI también estableció áreas de control de emisiones (ECA), un pequeño número de zonas limitadas alrededor de varios centros de población importantes, donde el límite de azufre se estableció mucho más bajo.

En 2012, el límite global se redujo a 3.5%. Posteriormente, en 2015 el límite en la zona ECA se redujo al 0.1%. Hasta el año 2020 que se redujo al 0.5% el límite global.

Año de aplicación	Límite azufre mundial	Límite azufre ECA
2005	4.5%	1.5%
2010	-	1%
2012	3.5%	-
2015	-	0.1%
2020	0.5%	-

Tabla 1: Fechas de aplicación de los límites de azufre. Fuente: OMI

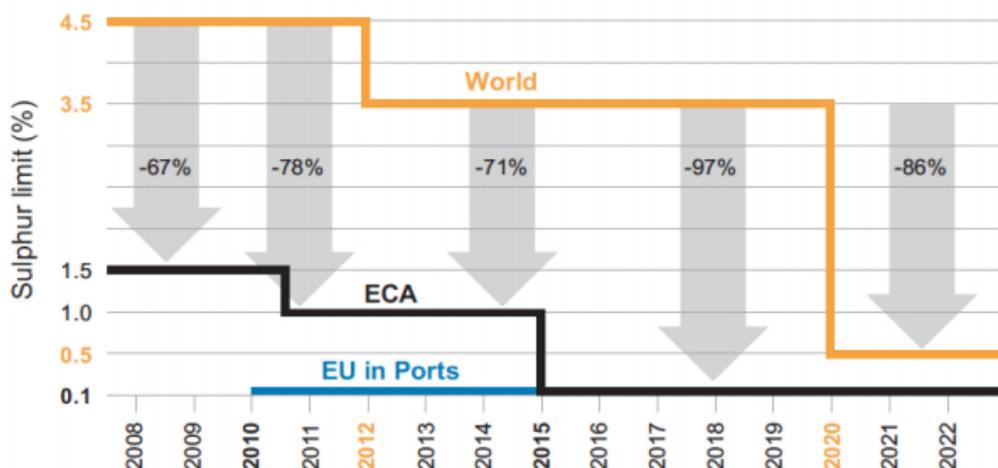


Ilustración 2: Evolución de los límites de azufre. Fuente: Wartsila

A partir de ahora los combustibles utilizados en los buques se van a poder dividir en cinco grandes categorías principales en función del contenido de azufre:

- Fueloil de muy bajo contenido en azufre (ULSFO): Se trata de una gama de nuevos combustibles introducidos para cumplir con los requisitos de SECA del 0.1%. Estos tipos de combustibles son en su mayoría destilados limpios, pero sin embargo también pueden ser mezclas con residuales. En general estos combustibles funcionan bien en configuraciones estándar de los motores, aunque pueden requerir cambios operativos o aplicar algunas precauciones. Por ejemplo, los destilados tienen niveles de viscosidad relativamente bajos, lo que significa que hay que tener cuidado con las bombas de inyección.
- Fueloil de bajo contenido en azufre (VLSFO): Este combustible ligero está constituido a partir de destilados combinados con combustible residual. Esto es así debido a la necesidad de las refinerías de aprovechar sus residuos. Estas mezclas pueden

llegar contener hasta un 40% de residuos, pero aún así deben mantenerse por debajo del límite de azufre del 0.5%.

- Fueloil pesado (IFO): Aunque las regulaciones de la OMI se expresan en términos de niveles de azufre en el combustible, los buques se consideran conformes si tienen la tecnología de reducción adecuada para “depurar” al azufre de sus gases de escape. Las depuradoras de gases de escape que ya están en funcionamiento han demostrado ser capaces de manejar altos niveles de azufre en el combustible. Esto permite a los operadores seguir utilizando los combustibles residuales baratos y abundantes que ya se conocen.
- GNL (Gas Natural Licuado): El contenido de azufre del GNL está muy por debajo del límite reglamentario, y sus propiedades de combustión limpia lo convierten en una opción muy atractiva. El GNL es principalmente metano, un potente gas de efecto invernadero, por lo que las fugas son una preocupación medioambiental importante.
- Otros: En esta gama de combustibles podemos incluir a las biocombustibles, también conocidos como FAME (éter metílico de ácidos grasos), combustibles extraídos de residuos plásticos, metanol y otros. Algunos de estos combustibles presentan propiedades que son un problema ahora el uso marítimo, como un alto riesgo de crecimiento microbiano. Sin embargo, el biodiesel no contiene azufre y tiene una lubricidad relativamente alta. Estos tipos de combustibles siguen siendo demasiado caros para ser una opción atractiva por sí misma, pero son útiles para mezclarlos con otros combustibles y reducir el contenido de azufre.

1.2. Naturaleza del trabajo

La idea de realizar este proyecto es dar a conocer cuál ha sido el proceso para adecuarse a la nueva normativa medioambiental, y cómo está resultando. El mayor desafío se ha dado en la utilización de fueles pesados con el porcentaje tan bajo de azufre, que es donde se centrará el grueso de la información. Respecto a los combustibles diesel oíl ya había experiencias previas en su utilización en las zonas ECA.

1.3. Contexto técnico

En este proyecto se expondrá como ha sido el proceso de cambio y los resultados en un buque LNG.

El buque Rioja Knutsen es un LNG con una capacidad de 176000 m³ de gas licuado repartido en cuatro tanques de carga GTT Mark III de membrana. Tiene una eslora de 289.9m, una manga de 46.4m y un calado de 11.65m.



Ilustración 3: Buque LNG Rioja Knutsen. Fuente: Knutsen OAS

La propulsión se realiza mediante dos hélices de tres palas de paso fijo movidas por dos motores de dos tiempos HYUNDAI-MAN B&W, 7G70ME-C9.2, con una potencia cada uno de 18827kW a 75.6rpm. En cada uno de los ejes de cola hay un generador eléctrico de 2200kW cada uno.

También se dispone de 4 generadores Himsen de cuatro tiempos. Dos de ellos son el modelo 6H35DF con una potencia de 2880kW cada uno a 720rpm, y los otros dos son el modelo 7H35DF con una potencia cada uno de 3468kW a 720rpm.

1.4. Justificación y relevancia

La Organización Marítima Internacional (OMI) es un organismo especializado de las Naciones Unidas responsable de la seguridad y la protección de la navegación y de prevenir la contaminación del mar por los buques.

La OMI lleva luchando contra los efectos perjudiciales en el medio ambiente desde la década de 1960. La contaminación atmosférica se comenzó a abordar a partir del convenio MARPOL de 1997, anexo VI, "Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques", en el tratan las emisiones de SOx y NOx, las sustancias dañinas para la capa de ozono y la incineración a bordo de compuestos orgánicos volátiles.

Mediante la reducción de emisiones de óxidos de azufre (SOx) se intenta alcanzar dos objetivos: Por un lado mejorar el medio ambiente a nivel mundial, y por otro lado obtener mejoras en la salud humana, especialmente en las poblaciones que habitan en territorios cerca de las costas.

Como consecuencia de la adopción de esta medida se espera mejorar la calidad del aire, y reducir la lluvia ácida y la acidificación de los océanos, produciendo un beneficio para los cultivos y los ecosistemas, especialmente acuáticos. También se reducirán las enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Según la OMI, el nuevo límite “permitirá una reducción del 77% en las emisiones totales producidas por los buques, equivalente a una reducción anual de aproximadamente 8,5 millones de toneladas de óxidos de azufre. También se espera una reducción de las partículas sólidas procedentes de la combustión.

1.4.1. Convenio MARPOL

El convenio MARPOL 73/78 fue desarrollado por la OMI (Organización Marítima Internacional). Se aprobó en el año 1973, sin llegar a entrar en vigor, y posteriormente fue absorbido por el protocolo del año 1978. Finalmente entró en vigor en 2 de Octubre de 1983.

En el convenio se presentan las reglas creadas para prevenir y reducir la contaminación ocasionada por los buques tanto de forma accidental como operativa, está dividido en seis anexos:

- Anexo I: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos (entrada en vigor el 2 de Octubre de 1983). Aborda la prevención de la contaminación por hidrocarburos como consecuencia de actividades operacionales, así como de derrames accidentales.

- Anexo II: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel (entrada en vigor el 2 de Octubre de 1983). Aborda los criterios relativos a las descargas y las medidas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel.
- Anexo III: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos (entrada en vigor el 1 de Julio de 1992). Establece la promulgación de las normas detalladas sobre empaquetado, marcado, etiquetado, documentación, estiba, limitaciones cuantitativas, excepciones y notificaciones.
- Anexo IV: Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques (entrada en vigor el 27 de Septiembre de 2003). Establece las normas para realizar descargas de aguas sucias al mar y como deben ser las instalaciones de tratamiento de las aguas.
- Anexo V: Reglas para prevenir la contaminación ocasionada por las basuras de los buques (entrada en vigor el 31 de Diciembre de 1988). Aborda los diferentes tipos de basura y especifica las distancias desde tierra y la manera de evacuarlas.
- Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques (entrada en vigor el 19 de Mayo de 2005).

1.4.2. Anexo VI

El anexo VI consta de una serie de reglas y apéndices de entre los que mencionaremos los siguientes:

- Regla 4: Equivalentes: En esta regla se abordan la aprobación de equipo, tipos de fueloil o métodos de cumplimiento alternativos mediante los que se logren reducciones de las emisiones tan eficaces como los prescritos en el Anexo.
- Regla 13: Óxidos de nitrógeno (NOx): El control en relación a los NOx están incluidos en la presente regla. Se disponen de tres niveles distintos de control que se aplican en función de la fecha de construcción del buque.

Tipo de motor	Tier 1 (nivel 1) Entre el 1/1/2000 y el 1/1/2011	Tier 2 (nivel 2) A partir del 1/1/2011	Tier 3 (nivel 3) A partir del 1/1/2016
Menos de 130 rpm	17 g/kWh	14.4 g/kWh	3.4 g/kWh
Entre 130 y 2000 rpm	$45 \times \text{rpm}^{-0.2}$ g/kWh	$44 \times \text{rpm}^{-0.2}$ g/kWh	$9 \times \text{rpm}^{-0.2}$ g/kWh
Más de 2000 rpm	9.8 g/kWh	7.7 g/kWh	2 g/kWh

Tabla 2: Límites emisiones NOx. Fuente: MARPOL

- Regla 14: Óxidos de azufre (SO_x) y partículas. En esta regla se establecen las medidas que gobiernan el control de las emisiones de óxidos de azufre y partículas. Existe la posibilidad de que los países establezcan zonas de control de emisiones (ECA) con los límites de emisiones de SO_x y partículas más estrictos que los límites de la regla. También se incluyen las prescripciones para que los buques dispongan de procedimientos para el cambio de combustible y para que estos cambios queden inscritos en un libro de registro.

- Regla 15: Compuestos orgánicos volátiles (COV): Esta regla es aplicable principalmente a buques tanques y establece las prescripciones para el control de los compuestos orgánicos volátiles (COV) de los buques tanques. En aquellos puertos y terminales que se realicen controles de emisiones de vapores los sistemas utilizados para las mediciones deben haber sido aprobados teniendo en cuenta las normas elaboradas por la OMI. Cabe destacar que las operaciones de control de emisiones se llevarán a cabo de modo que ningún buque sufra demoras innecesarias.

- Regla 18: Disponibilidad y calidad del fueloil:
El fueloil que se entregue y utilice a bordo de los buques se ajustará a las siguientes prescripciones:
 - a. Estará compuesto por mezclas de hidrocarburos derivados del refinado del petróleo. Esto no excluye la posibilidad de incorporar pequeñas cantidades de aditivos con el objeto de mejorar algunos aspectos del rendimiento.
 - b. No contendrá ningún ácido inorgánico.

- c. No contendrá ninguna sustancia añadida ni desecho químico que comprometa la seguridad de los buques, afecte de forma negativa al rendimiento de los motores, sea perjudicial para el personal o contribuya a aumentar la contaminación atmosférica.

El fueloil obtenido por métodos distintos del refinado no deberá:

- a. Tener un contenido de azufre superior al estipulado.
- b. Ser causa de que el motor supere los límites de emisión de NOx.
- c. Contener ningún ácido inorgánico.

Mediante esta regla se impone la obligación de que todos los proveedores de bunker cumplan con la jurisdicción a través de las autoridades competentes del Estado. También obliga a que se adopten las medidas contra los buques que no utilicen el fuel reglamentario.

Se entregará una nota de entrega de combustible que se conservará a bordo en un lugar que permita inspeccionarla fácilmente en cualquier momento. Se conservarán durante un período de tres años a partir de la fecha en que se efectúe la entrega de combustible a bordo.

La nota de entrega de combustible irá acompañada de una muestra representativa del fueloil entregado. La muestra será sellada y firmada por el representante del promovedor y el oficial encargado de la operación de toma de combustible. La muestra se conservará a bordo hasta que el fueloil se haya consumido, en cualquier caso nunca por un periodo inferior a doce meses contados desde la fecha de entrega.

- Apéndice III: Criterios y procedimientos para la designación de zonas de control de emisiones de SOx

- Apéndice V: Información que debe incluirse en la nota de entrega de combustible. En la nota de entrega de debe incluir la siguiente información:
 - a. Nombre y número IMO del buque receptor
 - b. Puerto
 - c. Fecha de comienzo de la entrega
 - d. Nombre, dirección y número de teléfono del proveedor de fueloil para usos marinos.
 - e. Denominación del producto o de los productos
 - f. Cantidad en toneladas métricas
 - g. Densidad a 15°C (en kg/m³)
 - h. Contenido de azufre (%masa/masa)
 - i. Una declaración firmada por el representante del proveedor del fueloil de que se ajusta a lo dispuesto en las condiciones.

- Apéndice VI: Procedimiento de verificación del combustible a partir de las muestras de fueloil estipuladas en el Anexo VI del MARPOL.

1.5. Objetivos

El objetivo es dar a conocer los resultados obtenidos y recopilados que servirán como referencia para conocer cómo se comportan los sistemas de combustible y motores ante los nuevos combustibles de 0.5% de contenido de azufre.

Uno de los mayores problemas que se han planteado no ha sido tanto el proceso de cambio en sí o el almacenaje y mezclado de combustibles, sino el cómo está resultando su utilización en los motores, sobre todo en lo que respecta a los desgastes y corrosiones.

2. MEMORIA DESCRIPTIVA

Actualmente existen muchos tipos de fuel con contenido en azufre de hasta 0.5%, por lo que hay que tener en cuenta una serie de precauciones:

- La calidad entre un proveedor y otro pueden ser muy grandes, incluso más que antes.
- Es probable que distintos tipos de fuel sean incompatibles.
- Hay que tener muy en cuenta el parámetro de la viscosidad. Esta puede variar entre baja, del tipo combustible destilado, y alta, como el combustible residual. Esto afectará a la temperatura que hay que aplicar al combustible para que fluya con facilidad.

2.1. Planteamiento del problema

En el traslado a la era del 0.5%, el mayor desafío se está dando en la cadena de suministro, mientras que para los armadores el principal problema es adecuarse a los nuevos tipos de combustible y aprender a cómo combinarlos.

El nuevo límite de 0.5% de contenido de azufre engloba un amplio rango de combustibles destilados y residuales. Algunas de las características que definen al nuevo combustible son la viscosidad, la densidad, el punto de escurrimiento, y los sólidos disueltos (Al y Si). Todos estos parámetros tienen que ser considerados ya que pueden afectar a los sistemas de abordó.

En principio el VLSFO debe englobarse en la categoría ISO 8217, por lo tanto las características lo hacen adecuado para ser utilizado en los motores marinos.

Nos debemos asegurar de que las características del fuel y los requerimientos técnicos del buque sean compatibles. Actualmente las características de los VLSFO varían mucho dependiendo del proveedor, como se puede ver en la siguiente tabla:

VLSFO	Viscosidad cinemática (50°C), cst	Densidad (15°C), kg/m3	Punto de escurrimiento	Sólidos (Al+Si), ppm
Fuel 1	45	990	27	<15
Fuel 2	360	969	<24	55
Fuel 3	7.4	885	-24	28
Fuel 4	215	942	30	45
Fuel 5	60	985	<-3	33

Tabla 3: Tabla de características de VLSFO de distintos proveedores. Fuente: MAN Diesel&Turbo

La nueva mezcla de combustibles marinos ha aumentado la complejidad en otros aspectos del manejo y acondicionamiento del combustible. Algunos de estos aspectos son:

2.1.1. Estabilidad del combustible

Durante la utilización de los nuevos combustibles una de las más importantes características que hay que supervisar es la estabilidad. La estabilidad del combustible consiste en la tendencia a conservar sus propiedades materiales a lo largo del tiempo. Los combustibles inestables sufren cambios químicos a corto plazo y pueden causar problemas operativos graves.

A pesar de que dos o más combustibles sean estables por derecho propio, al mezclarlos se puede producir una mezcla inestable. Esto se denomina incompatibilidad. Debido a que hoy en día la variedad de combustibles en el mercado es más grande que nunca, la compatibilidad de combustibles puede ser un problema difícil de solucionar.

2.1.2. Incompatibilidades

La compatibilidad de un fuel es una medida de como de estable es un fuel cuando se mezcla con otro y la tendencia de la mezcla a formar lodos o depósitos de asfaltos. Este proceso puede ocurrir inmediatamente tras producirse la mezcla, o tiempo más tarde, dependiendo de la estabilidad de los fueles mezclados. El proceso final no es reversible.

La incompatibilidad da como resultado lodos en los tanques que pueden llegar a bloquear los filtros y separadores, produciendo problemas en los módulos de depuración del combustible.

Los problemas de compatibilidad siempre estarán presentes y se harán más frecuentes con el nuevo VLSFO. Por ello se deben de seguir las siguientes recomendaciones:

- Evitar mezclar diferentes combustibles: Vaciar los tanques tanto como sea posible antes de llenarlo con el nuevo combustible.
- Si no se puede evitar la mezcla: Hay que comprobar la compatibilidad ente ambos combustibles. Tener en cuenta que los fueles con viscosidad, densidad y punto de escurrimiento similares a menudo son compatibles entre sí.

- Durante la normal operación, una pequeña cantidad de combustible constantemente es drenada desde los circuitos de combustible de los motores. Es por ello importante comprobar los retornos cuando se utiliza más de un tipo de combustible.

No obstante, los problemas de compatibilidad y estabilidad han sido más acusados durante el año 2020, ya que los proveedores crean mezclas para agotar las existencias de los depósitos, o debido al combustible remante en los buques.

2.1.3. Viscosidad

La viscosidad del combustible recomendada para motores de dos tiempos es de entre 2 y 20 cSt. Es muy importante comprobar el correcto funcionamiento del viscosímetro y en el caso de que el buque no disponga de él equiparlo.

Si la viscosidad es menor de 2 cSt el sistema de inyección puede resultar dañado por falta de lubricación. Si por el contrario, la viscosidad es demasiado alta, se produce una disminución de la efectividad de la atomización pudiendo llegar a afectar a la combustión.

En el caso de los nuevos combustibles es importante conocer el grado de lubricación que proporcionan, y si es necesario, realizar los ajustes oportunos para proteger los motores.

Es muy importante revisar el estado de los calentadores y enfriadores de los módulos de combustible para asegurar el correcto funcionamiento tanto con fueles de alta y baja viscosidad.

2.1.4. Densidad

La densidad del fuel es importante de cara a la limpieza del mismo. En los separadores más antiguos es necesario cambiar el diámetro del disco de gravedad cuando se cambia de fuel, de otra manera el interfaz aceite-agua no será el correcto y el fuel no se limpiará.

Las depuradoras más modernas, que están instaladas en la mayoría de los buques, automáticamente ajustan la interfaz agua-aceite sin necesidad de cambiar los discos de gravedad.

Es muy importante asegurarse del correcto funcionamiento de las depuradoras ya que en caso contrario nos podemos encontrar con un problema de contaminación por agua: Algunos tipos de combustible atraen el agua más que otros, lo que puede reducir el ahorro de combustible y corroer los motores y otros componentes si no se elimina de manera efectiva.

2.1.5. Propiedades a baja temperatura

Los diferentes combustibles tienen diferentes viscosidades y puntos de inflamación. Por lo tanto, las temperaturas de funcionamiento se deben administrar con cuidado.

La capacidad de un fuel para fluir a baja temperatura se determina con el punto de fluidez. El fuel se debe calentar lo suficiente como para que sea capaz de fluir libremente y de forma homogénea sin bloquear los filtros. En los fueles marinos se recomienda mantener la temperatura en los tanques almacén de entre los 30 y 40°C para evitar la formación de ceras y para reducir el riesgo de que baje mucho la viscosidad. La temperatura en los

tanques y las líneas debe ser como mínimo 10°C por encima del punto de fluidez.

2.1.6. Polvo catalítico

La eliminación del azufre del combustible requiere catalizadores, que dejan partículas pequeñas y duras que pueden dañar los motores y otros equipos si no se separan de manera efectiva del combustible. Asimismo, los combustibles con bajo contenido en azufre suelen tener niveles más altos de polvo catalítico.

Estos elementos están formados por partículas de aluminio y silicio de muy reducido tamaño y que poseen gran dureza, pudiendo llegar a producir desgastes prematuros del motor. Estos sólidos deben ser extraídos del combustible mediante su limpieza a la mayor temperatura y menor flujo posible.

Los niveles de finos de catalizador deben mantenerse lo más bajo posible, se recomienda una cantidad máxima aceptable de 12ppm a la entrada del motor durante cortos períodos de tiempo.

2.2. Herramientas de resolución

Ante las nuevas normativas expuestas en los anteriores apartados, la compañía propietaria del buque se encontró con la disyuntiva de como adecuarse a la nueva situación. Para que el buque cumpliera con la normativa se podía recurrir a tres opciones, instalar un dispositivo de lavado de gases de escape, utilizar únicamente combustibles ligeros de menos de 0.5% de contenido de azufre, o comenzar a utilizar combustible pesado de menos de 0.5% de contenido de azufre.

Finalmente la empresa decidió comenzar a utilizar combustible pesado de menos de 0.5% de contenido de azufre, se optó por esta solución ya que es la más económica.

El siguiente paso consistió en ponerse en contacto con los proveedores de combustible para asegurarse el suministro con los nuevos requerimientos. Por otro lado también se iniciaron contactos con el fabricante de los motores, MAN-B&W, para ajustar la basicidad del aceite al nuevo combustible.

2.3. Metodología

La principal preocupación era asegurarse de que el nuevo combustible no fuera contaminado con el fuel remanente de los tanques, causando un incremento del contenido de azufre.

Los tanques del sistema de fuel contienen restos de los antiguos fueles que se han ido utilizando durante años. Estos restos pueden tener un alto contenido en azufre y de partículas, y el nuevo combustible puede llegar a disolver estos restos produciendo lodos y partículas que contaminarán el nuevo fuel. Además, es de vital importancia evitar que estos lodos y partículas no lleguen al motor, ya que podrían llegar a tener consecuencias catastróficas.

2.3.1. Limpieza de los tanques

La limpieza de los tanques se puede llevar a cabo vaciándolos y limpiándolos a mano, asegurándose de retirar todos los sedimentos. Otra opción consiste en disolver y diluir los sedimentos con el nuevo fuel, asegurándose posteriormente de purificarlo correctamente, este último procedimiento es el que se llevó a cabo en el buque.

2.3.2. Sedimentos en los tanques

Los sedimentos que se encuentran en el interior de los tanques pueden llegar a presentar una concentración mayor de 19000 mg/kg en los casos más desfavorables. No obstante, es de esperar que en situaciones normales la concentración de sólidos oscile entre 4000 y 19000 mg/kg.

Hay que tener en cuenta que los sedimentos no se mezclan de forma homogénea en el tanque. La concentración será mucho más alta en la parte baja del tanque, por lo que al realizar un trasiego la cantidad de sedimentos transportados el inicio será muy alta.

Es recomendable tomar frecuentemente muestras del fuel para analizarlo y comprobar si está lo suficientemente limpio. Las muestras se tomarán a la entrada y la salida del separador.

Parameter	HN23869	HN23870	Units	Spec Limit	Method
Flash Point	>70.0	>70.0	°C	60.0 min	ISO 2719
Acid Number	<0.20	<0.20	mg KOH/g		ASTM D664
Total Sediment	0.03	0.05	% mass	0.10 max	ISO 10307-2
Micro Carbon Residue	14.57	14.80	% mass	18.00 max	ISO 10370
Pour Point	0	-6	°C	30 max	ISO 3016
Water	0.10	<0.05	% vol	0.50 max	ISO 3733
Ash	0.067	0.012	% mass	0.150 max	ISO 6245
Vanadium	232	227	mg/kg	300 max	IP 501
Sodium	20	22	mg/kg		IP 501
Aluminium plus Silicon	56	13	mg/kg	80 max	IP 501
Net Specific Energy	40.60	40.68	MJ/kg		ISO 8217:A
Calcium	5	3	mg/kg		IP 501
Zinc	3	3	mg/kg		IP 501
Phosphorus	<1	<1	mg/kg		IP 501
Aluminium	32	6	mg/kg		IP 501
Silicon	24	7	mg/kg		IP 501
Iron	19	9	mg/kg		IP 501
Nickel	76	77	mg/kg		IP 501
Magnesium	1	<1	mg/kg		IP 501
Lead	1	1	mg/kg		IP 501
Compatibility	1	1	Spot #		ASTM D4740
Injection Temp @ 10 cSt	145	147	°C		
Injection Temp @ 12 cSt	138	139	°C		
Injection Temp @ 15 cSt	129	130	°C		
Injection Temp @ 17 cSt	125	126	°C		
Injection Temp @ 20 cSt	119	120	°C		
Injection Temp @ 22 cSt	116	117	°C		
Minimum Pumping Temp @1000 cSt	36	37	°C		
Chemical Contamination	Green	Green			

* result exceeds specification.

Ilustración 4: Análisis a la entrada y salida de la depuradora. Fuente: Intertek

En la ilustración 4 se presentan los resultados de unos análisis de fuel con muestras cogidas a la entrada y a la salida de la depuradora. La muestra HN23869 corresponde a la entrada a la depuradora, y la muestra HN23870 corresponde a la salida de la depuradora. Se puede apreciar como el contenido en agua se ve reducido, así como las cenizas, los metales y el silicio.

2.3.3. Desgastes del motor

Si los sólidos disueltos en el combustible no se reducen lo suficiente existe el riesgo de que se produzcan en el motor desgastes por abrasión. Estos desgastes prematuros se presentan normalmente en los aros del pistón, las camisas y en la corona; pueden producirse muy deprisa.



Ilustración 5: Marcas de desgaste en el eje de un inyector. Fuente: MAN Diesel&Turbo

La forma de controlar el desgaste es realizando análisis periódicos de contenido de hierro en el aceite de cilindros.

3. APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. Características del sistema de combustible

Tanto los motores principales como los auxiliares pueden funcionar con diésel oil, combustible pesado o gas.

En el caso de los generadores, para funcionar con gas es necesario que el módulo de combustible este funcionando con diésel, ya que es el combustible necesario para realizar la función de combustible piloto. Por esta razón nunca se utiliza fuel en los motores auxiliares, siempre funcionarán en modo diésel o gas.

Los motores principales pueden funcionar en modo gas utilizando fuel como combustible piloto, por lo que el módulo de combustible estará la mayor parte del tiempo con fuel, es decir casi siempre funcionará en modo fuel o gas. Tan sólo se utilizará diésel en los motores principales cuando se entre en zonas SECA.

Consecuentemente el cambio de combustible tan sólo afectará a los motores principales.

En cuanto al sistema de almacén de fuel, este está distribuido de la siguiente manera. A proa hay dos tanques almacén de fuel de 1479m³ y de 2467m³ respectivamente. En popa hay un tanque de almacén, un tanque de decantación y otro tanque uso diario a cada banda. En todos estos tanques se ha estado utilizando IFO 380 con un contenido en azufre de hasta un 3.5%.

Heavy Fuel Oil Tanks							S.G.=0.99
Compartment (Cargo Tank)	Location		Capacities		Centre of gravity		
	Frame No. (from)	Frame No. (to)	Volume 98% Full	Weight	L.C.G. From M/S	V.C.G Above B.L.	T.C.G. Off C.L.
			(m ³)		(t)	(m)	(m)
No.1 FWD HFO bunker TK(C)	137.0	149.0	1479.7	1435.6	117.451	12.815	0.000
No.2 FWD HFO bunker TK(C)	125.0	137.0	2467.7	2394.1	108.119	12.815	-0.010
HFO bunker tank(P)	59.0	71.0	359.0	348.3	-91.246	19.330	-19.029
LS HFO bunker tank (S)	59.0	71.0	359.0	348.3	-91.246	19.330	19.029
HFO settling tank(P)	63.0	67.0	137.9	133.8	-89.954	19.704	-17.708
LS HFO service tank(S)	63.0	67.0	137.9	133.8	-89.954	19.704	17.708
HFO settling tank(P)	67.0	71.0	146.4	142.1	-86.800	19.359	-17.710
LS HFO service tank(S)	67.0	71.0	146.4	142.1	-89.800	19.359	17.710
Total			5234.0	5078.1			

Ilustración 6: Capacidad de los tanques de fuel. Fuente: Hyundai Heavy Ind.

3.2. Cambio de combustible

En el buque Rioja Knutsen hasta el cambio a la nueva normativa se han estado utilizando combustibles de hasta un máximo de 3.5% de azufre. Esto quiere decir que para la fecha señalada no debía de quedar ningún resto con un contenido de azufre mayor del 0.5% en el buque, y ya se debería de estar quemando el nuevo tipo de combustible.

Meses antes de la fecha límite, a medida que se iba consumiendo el combustible de alto contenido en azufre había que ir limpiando los tanques para eliminar los depósitos y restos de fuel. En el buque Rioja Knutsen se optó por limpiarlos con diésel oil de menos de 0.1% de azufre. Se tomó esta decisión debido a que el buque apenas tenía dos años de antigüedad, tiempo durante el cual no se han hecho demasiados bunker de fuel, por lo que los tanques no deberían de tener demasiados residuos. No obstante antes se procedió a inspeccionar uno de los tanques almacén de fuel de la

sala de máquinas, en esta inspección se corroboró que no existían demasiados residuos, siendo estos en su mayoría virutas metálicas.

El proceso de cambio de combustible se realizó de la siguiente manera:

- Una vez vaciados los dos tanques almacén de proa, a cada uno de ellos se le trasiegan 10 m^3 de DO de 0.1% de azufre. Las bombas de trasiego fueron capaces de achicar los tanques de proa hasta quedar 10 m^3 en el número uno y 12 m^3 en el número dos. La idea es que con la ayuda del balance del buque el DO disuelva, en la medida de lo posible, los restos del fondo del tanque.



Ilustración 7: Proceso del cambio de combustible 1

- Al cabo de unos días se trasiega el DO de proa mezclado con los sedimentos hacia uno de los tanques almacén de la máquina.



Ilustración 8: Proceso del cambio de combustible 2

- En este momento los tanques de proa ya estaban listos para recibir el nuevo fuel de bajo contenido de azufre. Tras haber sido re achicados, en los tanques uno y dos quedaban $10 m^3$ y $12 m^3$ respectivamente de fuel mezclado con diesel. El tanque 1 se llenó con $1000 m^3$ y el tanque 2 con $1800 m^3$, por lo que el remanente del fondo no presentaría ningún problema para preservar la calidad del nuevo fuel.

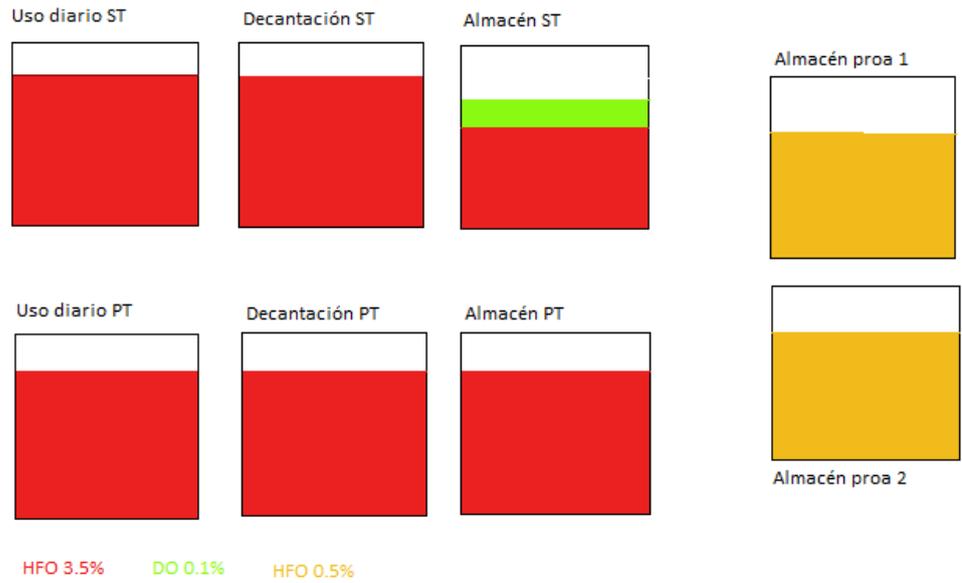


Ilustración 9: Proceso del cambio de combustible 3

- Mientras tanto se continúa consumiendo el fueloil de alto contenido de azufre de los tanques de la máquina, los dos tanques almacén de la maquina se achican hasta dejar $5 m^3$ en cada uno de ellos. Posteriormente se trasiegan $10 m^3$ de DO a cada uno de los tanques para limpiarlos de la misma manera que se procedió en los tanques de proa.



Ilustración 10: Proceso del cambio de combustible 4

- Al tiempo que se va consumiendo el fueloil del tanque de uso diario de la banda de estribor se va trasegando desde el tanque de decantación mediante la depuradora hasta descebar la bomba, consiguiendo vaciar el tanque hasta dejar $2 m^3$ de fuel de alto contenido de azufre.

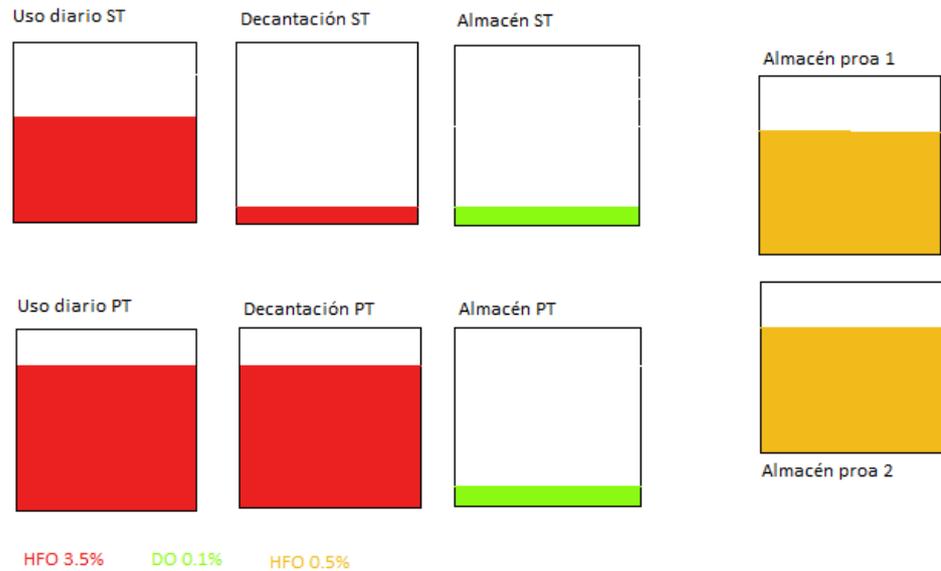


Ilustración 11: Proceso del cambio de combustible 5

- Mientras tanto se trasiega el DO con los sedimentos de los tanques almacén de la máquina hacia el tanque de decantación de babor.

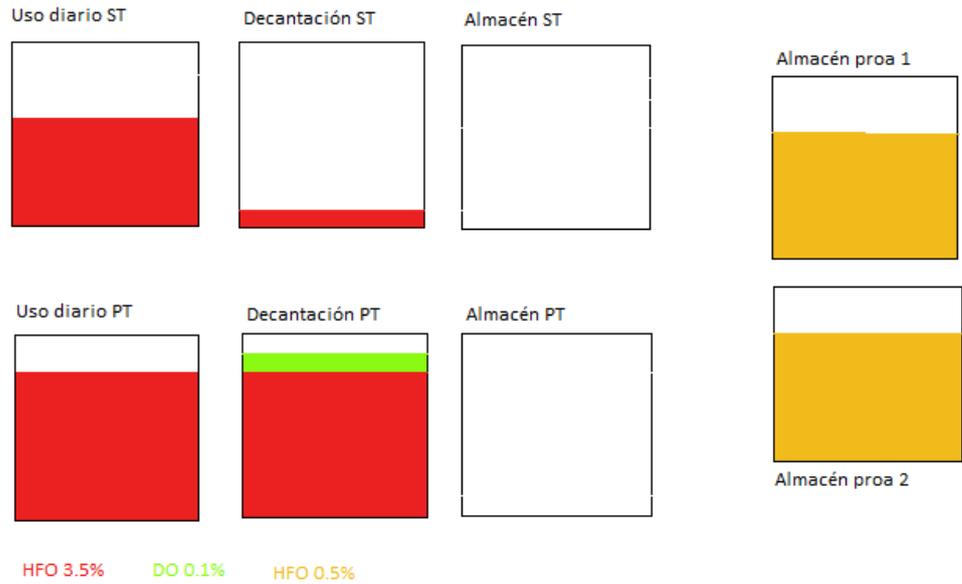


Ilustración 12: Proceso del cambio de combustible 6

- A continuación los tanques almacén de la máquina se llenan con el nuevo combustible desde los tanques de proa. Se trasegaron 290 m^3 de fuel de bajo contenido de azufre a cada uno de ellos procedentes del tanque número uno de proa.

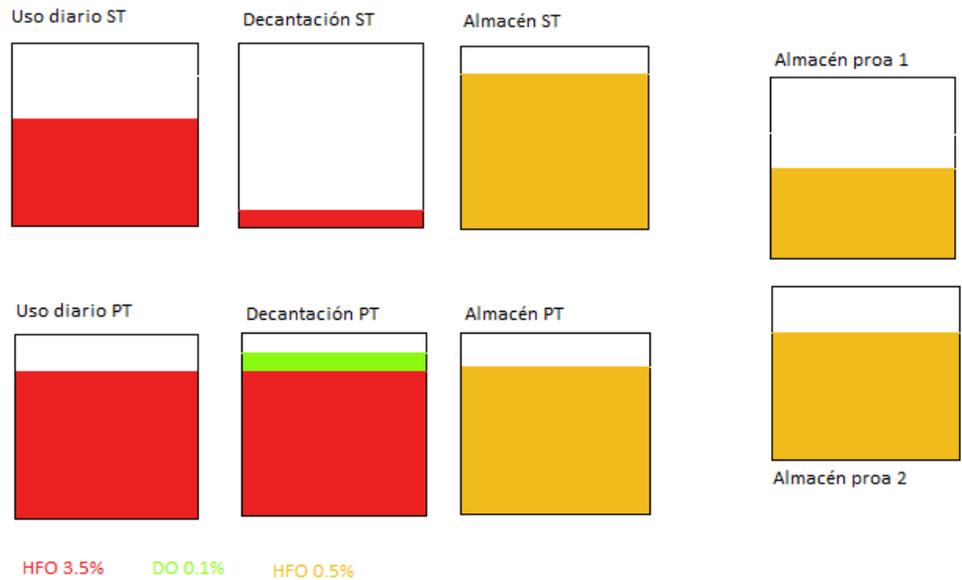


Ilustración 13: Proceso del cambio de combustible 7

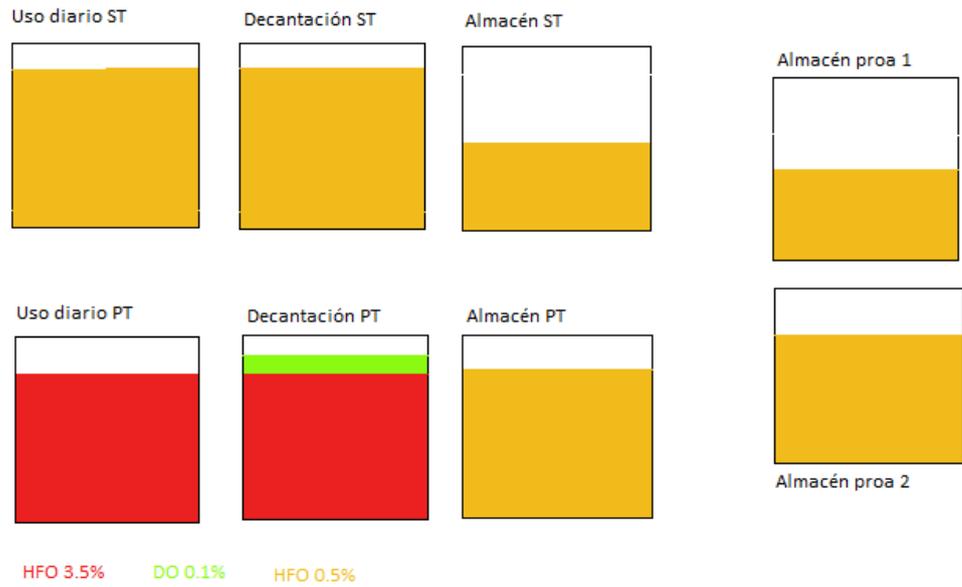


Ilustración 15: Proceso del cambio de combustible 9

- Una vez el tanque de uso diario de la banda de babor está próximo a vaciarse cambiamos el consumo a la banda de estribor. En este momento empezamos a consumir el nuevo combustible.

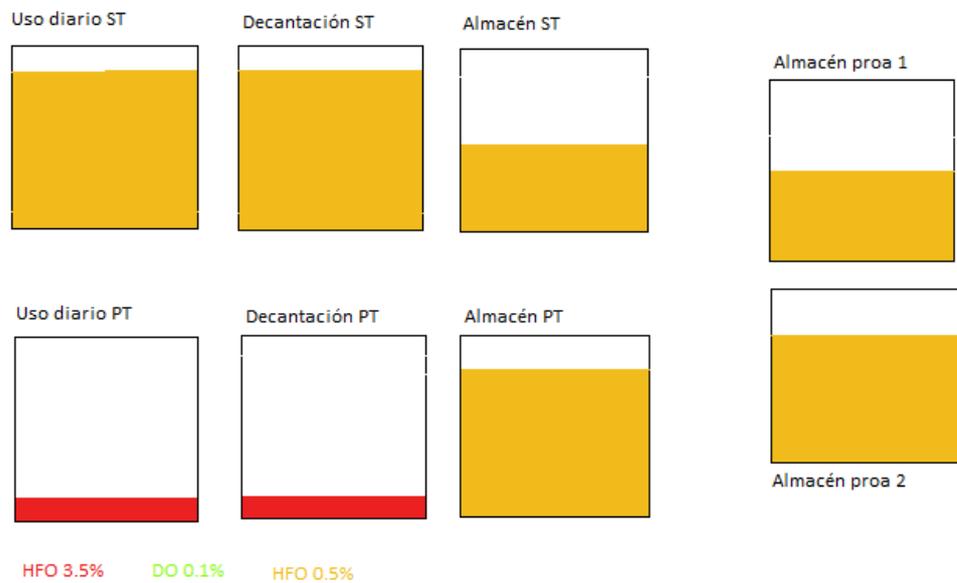


Ilustración 16: Proceso del cambio de combustible 10

3.2.1. Precauciones en los módulos de combustible.

Durante el cambio de combustible una de las mayores preocupaciones era que a la hora de mezclar los dos tipos de fuel se formaran lodos y asfaltos. Para evitar problemas mayores, antes de suministrar a los motores con el nuevo combustible, se estuvo re circulando el fueloil de bajo contenido en azufre entre los tanques de uso diario y de decantación mediante la depuradora. Para asegurar una buena depuración la temperatura en la depuradora se mantuvo la temperatura a 95°C y el caudal bajo (3000 L/h).

En la práctica se pudo constatar que efectivamente durante los primeros meses la presencia de lodos y residuos en el fuel era mayor que antes. Esto se vio reflejado en el comportamiento de la depuradora, eran comunes alarmas de baja presión de descarga debido a que se acumulaba mucha suciedad en los discos entre disparos. Había que ir bajando los tiempos entre disparos, hasta que llegaba un momento que era necesario abrirla para efectuar una limpieza.



Ilustración 17: Purificadora de fuel. Fuente: El autor.

En el transcurso de este tiempo en algún barco de la compañía tuvieron problemas más graves con los módulos de combustible, llegando a pararse las depuradoras por la presencia de lodos, siendo necesaria su limpieza cada 12 horas para poder mantener la operatividad del buque.

Las diferencias acerca del comportamiento de los módulos de combustible en el cambio al nuevo tipo de fuel son debidas a los diferentes combustibles que habían venido utilizando cada buque. Ya que algunos generan más lodos que otros.

3.2.2. Precauciones con los aceites

Uno de los aspectos más importantes es la capacidad de lubricación del aceite de cilindros en combinación con el uso del fuel de bajo contenido de azufre. Hasta ahora se han estado utilizando dos tipos diferentes de aceite de camisas, que se diferenciaban por su basicidad (BN). Cuando el motor utiliza gas o diesel como combustible principal se usa un aceite con un BN de 25, y cuando se utiliza combustible pesado se usa un aceite con un BN de 100.

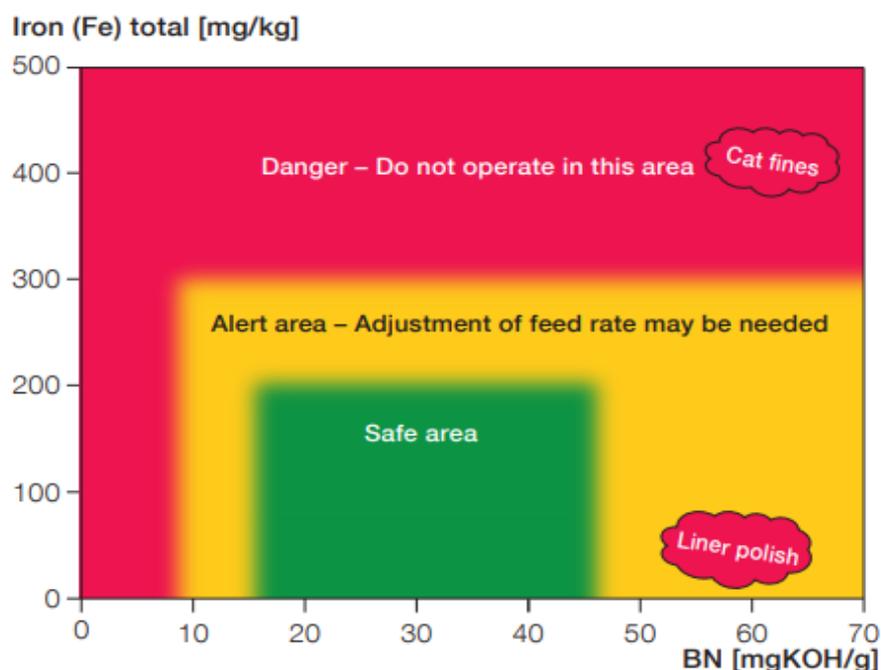


Ilustración 18: Tabla de análisis de contenido de hierro: Fuente MAN Diesel&Turbo

Desde la llegada del nuevo fuel de bajo contenido de azufre se ha estado monitorizando el comportamiento para poder introducir un solo tipo de aceite de cilindros que sirva para todos los modos de funcionamiento de los motores. De acuerdo con la recomendación del fabricante se optará por un BN40, que debería de ser adecuado para todos los modos de funcionamiento del motor.

Aplicación	BN
Combustible destilado y LNG	≤ 40
Fuel de bajo contenido de azufre ($\leq 1.5\%$ de azufre)	40-60
Fuel de muy bajo contenido de azufre ($\geq 1.5\%$ de azufre)	70-100

Tabla 4: Recomendación del BN en función del combustible utilizado. Fuente: MAN Diesel&Turbo

Para la correcta elección del aceite de cilindros es de primordial importancia llevar a cabo una inspección periódica de los aros y camisas del motor. Para ayudarnos con el proceso de optimización de la lubricación se

utiliza el factor ACC (Adaptive Cylinder oil Control) que nos permitirá aplicar la correcta lubricación mediante la ecuación siguiente:

$$Tasa\ de\ combustible\ \left(\frac{g}{kWh}\right) = factorACC \times \%S$$

Este factor tan sólo permite obtener los valores de lubricación para altos contenido de azufre en combustible. Para bajos niveles de azufre, menos del 0.5%; se aplica el mínimo recomendado de lubricación de 0.6g/kwh.

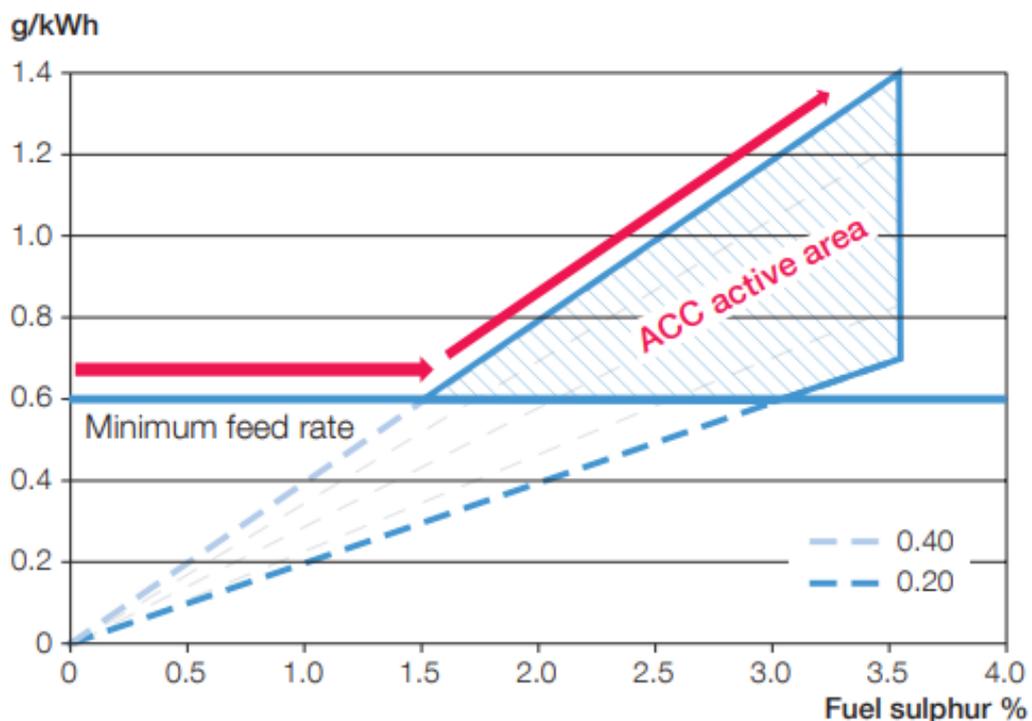


Ilustración 19: Factor ACC. Fuente: MAN Diesel&Turbo

Hasta el momento el funcionamiento de los motores con el nuevo cambio en la lubricación no ha tenido efectos adversos no en desgastes excesivos ni en corrosiones. No obstante se continúan realizando inspecciones periódicas de los aros y camisas cada vez que se presenta la posibilidad.



Ilustración 20: Depósitos en aros del pistón. Fuente: El autor.

4. CONCLUSIONES

Antes de la entrada en vigor de la nueva norma de reducción de azufre en los combustibles pesados, existía la preocupación por parte del sector marítimo de no ser capaces de adaptarse al nuevo límite de 0,5% de azufre en los combustibles pesados.

Esta preocupación era palpable a bordo debido a que tanto el armador como el fabricante de los motores no sabían si la calidad del nuevo combustible sería la adecuada para el correcto funcionamiento de los motores. Afortunadamente los resultados en estos meses han sido satisfactorios.

Además, se han despejado las dudas sobre la disponibilidad de suministro de fuel con bajo contenido de azufre, ya que las empresas suministradoras de bunker han demostrado ser capaces de adaptarse a la demanda.

Finalmente, tras lo expuesto, se puede hablar de un éxito medioambiental por la disminución de los SO_x a nivel mundial.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfa Laval Corporate AB
- Intertek Group
- MAN Diesel&Turbo
- Repsol
- Knutsen OAS Shipping
- Organización Marítima Internacional. OMI
- MARPOL. Consolidated edition 2011
- European Maritime Safety Agency. EMSA
- Hyundai Heavy Ind.
- <https://www.seatrade-maritime.com/>
- <https://ingenieromarino.com/>
- Knutsen OAS Shipping (2004). *Machinery system operating manual*. Knutsen OAS Shipping
- Kalli J., Karvonen T., Makkonen T., *Sulphur content in ships bunker fuel in 2015*.
- Draffin, Nigel (2008). *An introduction to bunkering = Guía de abastecimiento del combustible marino*. Adderbury.

6. ANEXOS

Apéndice III: Criterios y procedimientos para la designación de zonas de control de emisiones de SO_x

Apéndice III

Criterios y procedimientos para la designación de zonas de control de las emisiones de SO_x (Regla 14)

1 *Objetivos*

1.1 El presente apéndice tiene por objeto proporcionar los criterios y procedimientos para la designación de zonas de control de las emisiones de SO_x. La finalidad de las zonas de control de las emisiones de SO_x es prevenir, reducir y controlar la contaminación atmosférica ocasionada por las emisiones de SO_x de los buques y sus consiguientes efectos negativos en zonas marítimas y terrestres.

1.2 La Organización considerará el establecimiento de una zona especial de control de las emisiones de SO_x cuando se demuestre que es necesario para prevenir, reducir y controlar la contaminación atmosférica ocasionada por las emisiones de SO_x de los buques.

2 *Criterios aplicables a las propuestas de designación de zonas de control de las emisiones de SO_x*

2.1 Sólo los Estados Contratantes del Protocolo de 1997 podrán proponer a la Organización la designación de una zona de control de las emisiones de SO_x. Cuando dos o más Estados Contratantes compartan el interés por una zona particular deberían formular una propuesta conjunta.

2.2 Toda propuesta incluirá lo siguiente:

- .1 una clara delimitación de la zona propuesta para la aplicación de las medidas de control de las emisiones de SO_x, junto con una carta de referencia en donde se indique dicha zona;
- .2 una descripción de las zonas marítimas y terrestres en las que las emisiones de SO_x de los buques pueden tener efectos negativos;
- .3 una evaluación que demuestre que las emisiones de SO_x de los buques que operan en la zona propuesta para la aplicación de las medidas de control de las emisiones de SO_x contribuyen a la contaminación atmosférica por SO_x, incluida la deposición de SO_x, y a los consiguientes efectos negativos en las zonas marinas y terrestres de que se trata. Tal evaluación incluirá una descripción de los efectos de las emisiones de SO_x en los ecosistemas acuáticos y terrestres, las zonas de productividad natural, los hábitat críticos, la calidad del agua, la salud del

Apéndices del Anexo VI

hombre y, cuando proceda, las zonas de importancia cultural y científica. Se indicarán las fuentes de los datos pertinentes así como las metodologías utilizadas;

- .4 información pertinente acerca de las condiciones meteorológicas de la zona propuesta para la aplicación de las medidas de control de las emisiones de SO_x y de las zonas marinas y terrestres que pueden ser afectadas, en particular los vientos dominantes, o las condiciones topográficas, geológicas, oceanográficas, morfológicas u otras condiciones que puedan favorecer el aumento de la contaminación atmosférica local o de los niveles de acidificación;
- .5 la naturaleza del tráfico marítimo en la zona de control de las emisiones de SO_x propuesta, incluidas las características y densidad de dicho tráfico; y
- .6 una descripción de las medidas de control adoptadas por el Estado Contratante o los Estados Contratantes que formulan la propuesta para hacer frente a las emisiones de SO_x procedentes de fuentes terrestres que afectan a la zona en peligro, y que están en vigor y se aplican, junto con las que se estén examinando con miras a su adopción en relación con lo dispuesto en la [regla 14](#) del Anexo VI del presente Convenio.

2.3 Los límites geográficos de la zona de control de las emisiones de SO_x se basarán en los criterios pertinentes antes mencionados, incluidas las emisiones y deposiciones de SO_x procedentes de los buques que naveguen en la zona propuesta, las características y densidad del tráfico y el régimen de vientos.

2.4 La propuesta para designar una zona determinada como zona de control de las emisiones de SO_x se presentará a la Organización de conformidad con las reglas y procedimientos establecidos por ésta.

3 *Procedimientos para la evaluación y adopción de zonas de control de las emisiones de SO_x por la Organización*

3.1 La Organización examinará toda propuesta que le presenten uno o varios Estados Contratantes.

3.2 La designación de una zona de control de las emisiones de SO_x se realizará por medio de una enmienda del presente anexo, que se examinará y adoptará y que entrará en vigor de conformidad con el artículo 16 del presente Convenio.

3.3 Al evaluar la propuesta, la Organización tendrá en cuenta tanto los criterios que se han de incluir en cada propuesta que se presente para su aprobación, según se indican en la sección 2 *supra*, como los costos relativos de la reducción de las deposiciones de azufre procedentes de los buques por

comparación con las medidas de control en tierra. También se tendrán en cuenta los efectos económicos en el transporte marítimo internacional.

4 *Funcionamiento de las zonas de control de las emisiones de SO_x*

4.1 Se insta a las Partes cuyos buques navegan en la zona que tengan a bien comunicar a la Organización todo asunto de interés relativo al funcionamiento de la zona.

Procedimiento de verificación del combustible a partir de las muestras de fueloil estipuladas en el Anexo VI del MARPOL.

9: Directrices para la vigilancia del contenido de azufre del fueloil residual

Anexo

Directrices para la vigilancia del contenido medio de azufre a escala mundial del fueloil residual suministrado para uso a bordo de los buques

Prefacio

1 El objetivo principal de las directrices es establecer un método convenido para vigilar el contenido medio de azufre del fueloil residual suministrado para uso a bordo de los buques. Otro objetivo de las directrices es hacer que se reanude el debate en el seno del CPMM sobre las medidas para reducir las emisiones de SOx procedentes de los buques, en el caso de que el nivel medio de azufre de los combustibles, calculado con arreglo a las presentes directrices, muestre un aumento sostenido.

Introducción

2 Las presentes directrices obedecen a la regla 14 2) del Anexo VI del MARPOL 73/78 y a la resolución 4 de la Conferencia (MP/CONF.3/35), sobre la vigilancia del contenido medio de azufre a escala mundial del fueloil residual suministrado para uso a bordo de los buques. Entre las emisiones de las que trata el Anexo VI se encuentran las causadas por la combustión de combustibles que contienen azufre. Se estableció un límite máximo para el contenido de azufre de los combustibles y, además, se decidió vigilar el contenido medio de azufre del fueloil.

Se calcula que las instituciones de análisis independientes llevan a cabo unos 50 000 análisis anuales, lo que representa entre el 25% y el 35% de todas las entregas. De los datos recogidos por esas instituciones puede calcularse el contenido medio actual de azufre del fueloil residual. Estas cifras se publican regularmente y en la actualidad son del orden del 3% en masa.

Definiciones

3 A los efectos de las presentes directrices regirán las siguientes definiciones:

- 1) *Fueloil residual:*
Fueloil destinado a la combustión, con una viscosidad cinemática a 100°C igual o superior a 10,0 centistokes*, entregado a los buques y utilizado a bordo de éstos.

- 2) *Proveedor de servicios de muestreo y análisis:*
Toda institución que a título comercial, suministre servicios de análisis y muestreo de combustibles líquidos entregados a buques, con objeto de evaluar los parámetros de calidad de dichos combustibles, entre ellos el contenido de azufre.
- 3) *Valor de referencia A_w :*
El valor del contenido medio de azufre a escala mundial del fueloil residual suministrado para uso a bordo de los buques, calculado a partir de los datos acopiados en los tres primeros años de aplicación de las presentes directrices con arreglo a lo indicado en los párrafos 4 y 5.

4 Vigilancia y cálculo del promedio anual y del promedio móvil trienal

4.1 Vigilancia

La vigilancia se basará en el cálculo del contenido medio de azufre del fueloil residual a partir de muestras recogidas y analizadas por servicios de análisis independientes. El contenido medio de azufre del fueloil residual se calculará todos los años. A los tres años se establecerá el valor de referencia para la labor de vigilancia en la forma descrita en el párrafo 5.

4.2 Cálculo del promedio anual

El cálculo anual del contenido medio de azufre del fueloil residual constituye la base de la labor de vigilancia.

El contenido medio de azufre se calcula del siguiente modo:

Se registra, para un año civil determinado, el contenido de azufre de las muestras analizadas (una muestra por cada entrega, en la que el contenido de azufre se determina mediante el análisis del fueloil). El contenido de azufre de las muestras analizadas se suma y el resultado de esa suma se divide por el número de muestras. El resultado de esa división es el contenido medio de azufre del fueloil residual correspondiente a ese año.

Con objeto de poder adoptar medidas con conocimiento de causa, al 31 de enero de cada año se ofrecerá una representación gráfica de la distribución del contenido de azufre a escala mundial del fueloil residual, expresado como porcentaje mediante incrementos del 0,5%, con indicación de la cantidad de fueloil correspondiente a cada uno de esos incrementos del contenido de azufre.

La fórmula matemática del método de cálculo descrito figura en el apéndice 1 de las presentes directrices.

4.3 Promedio móvil trienal

Se calculará un promedio móvil trienal del modo siguiente:

$$A_{cr} = (A_{c1} + A_{c2} + A_{c3})/3$$

donde:

A_{cr} = contenido medio (media móvil) de azufre de todas las entregas analizadas durante un periodo de tres años

A_{c1}, A_{c2}, A_{c3} = contenido medio de azufre de todas las entregas analizadas durante cada uno de los años considerados

A_{cr} se volverá a calcular cada año añadiendo la cifra más reciente correspondiente a A_c y suprimiendo la más antigua.

Establecimiento del valor de referencia

5 El valor de referencia aplicable al contenido medio de azufre a escala mundial del fueloil residual suministrado para uso a bordo de los buques será A_w , siendo este valor igual al valor A_{cr} calculado en enero del año siguiente a los tres primeros años de los que se acopiaron datos aplicando las presentes directrices. A_w se expresará como porcentaje.

Establecimiento de un calendario para la adopción de medidas destinadas a reducir las emisiones de SO_x

6 En el caso de que, una vez establecido el valor de referencia, en un año cualquiera A_{cr} supere a A_w en un 0,2% o más, el Comité de Protección del Medio Marino examinará la necesidad de adoptar nuevas medidas destinadas a reducir las emisiones de SO_x procedentes de los buques, para determinar si esta cuestión ha de considerarse tema de alta prioridad. El CPMM revisará constantemente el valor de excedencia (actualmente: 0,2%), una vez que se haya establecido el valor de referencia.

Proveedores de servicios de muestreo y análisis

7 Para el periodo operativo inicial de cinco años, hay actualmente tres proveedores de servicios de muestreo y análisis a los efectos de las presentes directrices.

Cualquier otro proveedor de servicios de muestreo y análisis se ajustará a los siguientes criterios:

- 1 de preferencia, deberá ser miembro de la IACS aunque, en cualquier caso, habrá de recibir la aprobación del Comité de Protección del Medio Marino, que aplicará estos criterios,

Información adicional

- .2 dispondrá de personal técnico y directivo compuesto por profesionales competentes que ofrezcan una cobertura geográfica y una presencia local adecuadas para garantizar la prestación de servicios de calidad y rápidos;
- .3 ofrecerá sus servicios con arreglo a un código deontológico documentado;
- .4 será independiente con respecto a cualquier interés comercial en el resultado de la labor de vigilancia;
- .5 implantará y mantendrá un sistema de calidad reconocido internacionalmente, certificado por un auditor independiente, que garantice la posibilidad de reproducir y repetir unos servicios que son objeto de auditorías internas y se realizan de forma supervisada y en condiciones reguladas;
- .6 tomará un número importante de muestras todos los años con el fin de vigilar a escala mundial el contenido medio de azufre del fueloil residual.

Método normalizado de cálculo

8 Todos los proveedores de servicios de muestreo y análisis suministrarán la información necesaria para el cálculo del contenido medio de azufre del fueloil residual a la Secretaría de la OMI, o a otra tercera parte que se convenga, de la forma que se decida de común acuerdo y que apruebe el CPMM. Esa parte analizará la información recibida y presentará los resultados al CPMM de la forma que se convenga. Tal información se considerará importante desde el punto de vista de la competencia comercial y, por tanto, esa tercera parte la tratará como confidencial si así se lo indica cualquiera de las partes interesadas, sin que ello afecte a la información que requiera el Comité para la labor de vigilancia y la adopción de las decisiones correspondientes.

Disposiciones financieras

9 Los gastos de esta labor de vigilancia serán los derivados de la inversión inicial que realicen los proveedores citados en el párrafo 7 para establecer el sistema y la cantidad anual que se abonará a dichos proveedores para que faciliten los datos actualizados.

Los gastos que se realicen durante un periodo operativo de cinco años serán sufragados con carácter voluntario por los Estados Miembros que figuran en la lista del [apéndice 2 de las presentes directrices](#). Al final del cuarto año de funcionamiento se procederá a una evaluación de la experiencia adquirida. Sobre esta base, se pide al Comité de Protección del Medio Marino que, en consulta con el Secretario General de la OMI, considere posibles disposiciones financieras de carácter más permanente para cubrir los gastos del sistema de vigilancia acumulado.

Apéndice 1

Cálculo del contenido medio de azufre

Nota: Siempre que aparezca la expresión “todas las entregas” se entenderá que se trata de todas las entregas de las que se analicen muestras para determinar el contenido de azufre y que se tengan en cuenta a efectos de la labor de vigilancia.

Cálculo no ponderado con la cantidad

$$A_{cj} = \frac{\sum_{i=1,2,3,\dots,N} a_i}{N_j}$$

siendo:

A_{cj} = contenido medio de azufre de todas las entregas analizadas en todo el mundo en el año j

a_i = contenido de azufre de una muestra de la entrega i

N_j = número de muestras tomadas en el año j