

Carlos Losada, Neyda Om Tapanes, Lucrecio Pérez
Influencias de las impurezas en los combustibles residuales
Ciencia Ergo Sum, vol. 9, núm. 2, julio, 2002
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10402409>



Ciencia Ergo Sum,
ISSN (Versión impresa): 1405-0269
ciencia.ergosum@yahoo.com.mx
Universidad Autónoma del Estado de México
México

¿Cómo citar?

Fascículo completo

Más información del artículo

Página de la revista

www.redalyc.org

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Influencias de las impurezas en los combustibles residuales

Carlos Losada*, Neyda Om* y Lucrecio Pérez*

Recepción: marzo 18 de 2002
Aceptación: abril 26 de 2002

* Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET)
Washington 169, esq. Churruga, Cerro, La Habana,
Cuba.
Correo electrónico: carloselosada@yahoo.com,
neyda@ceinpet.inf.cu

Resumen. Las propiedades de los combustibles residuales que comúnmente se emplean en motores marinos, dependen del crudo que les dio origen, del grado y el método de refinación y purificación. Las impurezas (cenizas, agua, metales y otros sólidos) presentes en estos combustibles pueden ocasionar graves problemas durante la combustión, tales como: depósitos en la cámara de combustión, en orificios o pasos de las válvulas de escape y en los aros, dando como resultado un excesivo desgaste abrasivo, roturas en las válvulas de escape, corrosión en los elementos de la bomba de inyección, válvulas y tuberías.

En este trabajo se hace referencia a los métodos para la limpieza de estos combustibles, y tomando como campo experimental una planta generadora de electricidad que utiliza motores marinos MAN B&W L+V-28/32H, se demuestra cómo las impurezas formadas durante el proceso de fabricación, transportación, almacenamiento y consumo del combustible afectan la calidad de combustión y con ello los daños causados a los elementos del sistema.

Palabras clave: combustibles residuales, impureza.

The Effects of Impurities in Residual Fuel

Abstract. The properties of residual fuels commonly used in marine engines depend on the quality of the crude oil as well as refining and purifying methods. Impurities (ash, water, metals or other solids) present in these fuels can cause serious problems during combustion: deposits in the combustion chamber, escape and admission valves, piston rings, injectors and fuel pump. This paper refers to different residual fuel cleaning methods. Lastly, taking as an experimental field an electrical generating plant that uses the marine motors MAN B&W L+V-28/32H, it is shown how impurities formed during manufacturing, transportation, storage and fuel consumption effect the quality of combustion and cause damage to elements in the system.

Keywords: residual fuel oil, foulness

Introducción

Desde principios de los años cincuenta ha habido una marcada tendencia por el uso de combustibles de bajo costo, inicialmente en motores grandes de crucetas y recientemente el uso de combustibles similares en motores de combustión de pistón (de tronco) un poco más grandes.

Los combustibles residuales o destilados utilizados en motores marinos varían ampliamente de acuerdo con el origen del crudo utilizado, el grado y el método de refinación. Por ello sus propiedades influyen grandemente durante la combustión. Los de naturaleza parafínica tienen un mayor poder antidetonante que los de naturaleza nafténica, pero tienen como desventaja el hecho de que forman estructu-

ras duras y depósitos resinosos sobre los pares cinemáticos del motor. Por el contrario, los combustibles residuales nafténicos tienen una menor tendencia a formar deposiciones, pero su poder antidetonante es menor.

Es necesario tener en cuenta que el proceso de refinación puede provocar la introducción de metales indeseables al *fuel-oil*, como aluminio y silicio, los cuales tienen un límite máximo especificado por los fabricantes de motores marinos. Ahora bien, debemos señalar que para el caso de los combustibles residuales es importante la relación vanadio/sodio; aunque para el vanadio muchas veces se aceptan valores altos como 600 ppm, el valor del sodio no debe sobrepasar 30% del máximo valor del vanadio actual.

Igualmente la manipulación y almacenamiento de estos combustibles pueden introducir agua e impurezas mecánicas, que provocan afectaciones en sus propiedades físico-químicas, así como en el funcionamiento del motor.

Este trabajo tiene los siguientes objetivos:

a) Analizar brevemente los diferentes tratamientos que se utilizan a nivel mundial para eliminar las impurezas de los combustibles residuales.

b) Estudiar los efectos que producen la presencia de agua e impurezas mecánicas al generar incrustaciones, provocar corrosión y deteriorar los elementos mecánicos del sistema de un motor de combustión interna (MCI) utilizado para generar electricidad.

1. Tratamientos de los combustibles residuales

Otro aspecto fundamental en la utilización de los combustibles residuales es la limpieza ante el quemado. El tratamiento más sencillo aplicado a estos combustibles para mantener su grado de pureza durante su manipulación es el asentamiento: al aplicarlo se puede separar una cantidad considerable de impurezas mecánicas y agua. La efectividad de este procedimiento aumenta con el incremento en las diferencias de densidades de las partículas contaminantes y el tamaño de las mismas, y es utilizado previo a la filtración, pero en ocasiones puede ser suficiente para lograr la pureza exigida en un derivado del petróleo. Al utilizarlo se pueden separar partículas con dimensiones superiores a 2-5 μ . Es prácticamente imposible separar de los combustibles, en general, partículas menores a 1 μ debido a su configuración y a que las mismas se someten fácilmente al movimiento browniano, cambiando de posición dentro de una masa de combustible que, a su

Los principios teóricos de la filtración de derivados del petróleo se fundamentan en que las partículas sólidas presentes son retenidas por la superficie de filtrado y se introducen en sus poros.

vez, experimenta flujos de convección, cambios de temperatura, vibraciones, empujes, etc. Por tales razones, estas pequeñas partículas o se asientan muy lentamente, o nunca se orientan.

Es aceptado que ningún equipo de filtración sea completamente eficiente, pero con una buena operación el contenido de agua en el combustible puede ser reducido hasta alrededor de 0.1% máximo. El grado de pureza del producto filtrado depende mucho del es-

quema de filtrado empleado y del tipo de filtros utilizados.

En forma general, los principios teóricos de la filtración de derivados del petróleo se fundamentan en que las partículas sólidas presentes son retenidas por la superficie de filtrado y se introducen en sus poros. Este es un fenómeno muy característico de los derivados del petróleo, que son por naturaleza sistemas en suspensión en bajas concentraciones. Para la separación del agua se utilizan tabiques de contacto dentro de la carcasa de los filtros para propiciar el acercamiento de las gotas de agua al tejido del material filtrante de naturaleza liofóbica. En este momento, y en virtud de las fuerzas de gravitación, electrostáticas y la inercia, se propicia la coalescencia de las gotas de agua y su separación de la masa del combustible.

En algunos casos se requiere una simple centrifugación apoyándose en costo y simplicidad. Naturalmente se pueden obtener varios tipos de centrifugadores operados automáticamente, que se limpian a sí mismos (autolimpiables). La mejor separación se obtiene al centrifugar a altas temperaturas, con un límite máximo de alrededor de 98 °C (200 °F), debido a que la formación de vapores ocasionan bloqueo en el sistema, a no ser que se presurice.

Hasta la fecha el método más favorable es el uso de un purificador y clarificador en serie, para obtener la máxima separación de agua y sólidos del combustible. En un combustible intermedio, para cuya obtención un residual viscoso es 'rebajado' con un destilado ligero, es esencial que ambos componentes sean compatibles. En el caso contrario ocurrirá la separación en los equipos de tratamientos y pueden ser separados durante el centrifugado grandes cantidades de asfaltenos quemables, desperdiciando valiosos componentes combustibles.

Otro punto importante en la limpieza del *fuel-oil* es su contenido en cenizas. Según experiencias de la firma B&MAN, un combustible típico (*fuel-oil*) con un contenido inicial de cenizas de 0.6%, después de ser *purificado* se puede reducir a 0.04% y después de *clarificado* disminuirlo hasta 0.03%.

Esto no significa que la centrifugación no sea eficiente, ya que se separan el hollín, la suciedad y los materiales extraños; sin embargo en el seno del *fuel-oil* quedan aún constituyentes formadores de cenizas. Éstos no pueden ser separados, ya que son compuestos solubles de origen metálico que forman parte de la estructura del combustible. Estos materiales no se queman y en forma de residuos sólidos (óxidos metálicos) salen en los gases de escape o se depositan en la cámara de combustión, orificios o pasos de las válvulas de escape, o pasan a los aros. Tales depósitos dan como resultado un excesivo desgaste abrasivo y roturas en las válvulas de escape. Debido a esto los fabricantes establecen un límite máximo de cenizas en el *fuel-oil*, en el tanque y a la entrada del motor, especificando el contenido de calcio, magnesio, plomo y zinc limitado para un contenido de cenizas de 0.2% m/m.

Expresado como porcentaje, por ejemplo la ceniza (0.03%) parece una cantidad pequeña, pero traducida en el peso real de los materiales abrasivos incombustibles que entran en los cilindros del motor es diferente; o sea que si se queman 72,575 kg (72.5 ton) de combustible residual al día, 0.03% de cenizas representa unos 22.7 kg (50.1 lbs) de sólidos abrasivos.

2. Procedimiento experimental

a) Se realizó un análisis multilateral de los registros históricos de las muestras enviadas durante un año a una planta generadora de electricidad que utiliza motores marinos (MAN B&W V-28/32, cuatro tiempos, 16 cilindros). Para el estudio se tomaron 12 muestras a la salida del separador (M-1 a la M-12) y 6 muestras en la paila o carga del combustible (M-13 a la M-18).

b) Se realizó una inspección técnica a la planta generadora de electricidad, donde se comprobaron diferentes procedimientos en operaciones.

c) Se examinaron distintas bombas de combustible, válvulas, inyectores y otros accesorios, tomándose muestras de diferentes puntos por donde fluye el combustible.

d) Las muestras de *fuel-oil* y las piezas accesorios del sistema de alimentación de los motores fueron sometidas a ensayos y análisis especializados en laboratorios acreditados.

3. Resultados

Para poder apreciar las características y la influencia del *fuel-oil* estudiado es necesario observar las especificaciones establecidas por el fabricante del motor (véase tablas 1 y 2 y figura 1).

Tabla 1. Especificaciones para *fuel-oil* de la MAN B&W S/A Holeyby (Motor).

Propiedades	Unidad	Valor
Densidad a 15 °C	kg/m ³	≤ 991
Viscosidad cinemática a 100 °C	cSt	≤ 55
Viscosidad cinemática a 50 °C	cSt	≤ 700
Punto de inflamación	°C	> 60
Punto de fluidez	°C	≤ 30
Carbón residual	% m/m	≤ 22
Cenizas	% m/m	≤ 0.15
Sedimentos totales después de separación	% m/m	≤ 0.10
Contenido de agua	% v/v	≤ 1.0
Contenido de azufre	% m/m	≤ 5.0
Contenido de vanadio	ppm	≤ 600
Contenido de aluminio + silicio	ppm	≤ 80
Contenido de sodio	ppm	≤ 30%
		del total del vanadio

Tabla 2. Especificaciones del *fuel-oil* para entrar al motor (por el fabricante).

Propiedades	Unidad	Valor
Contenido de agua	% v/v	0.2
Partículas sólidas	ppm (mg/g)	20
Tamaño de partículas	micrones	5
	cSt	Rango 12-18

Figura 1. Diagrama de precalentamiento según especificaciones del fabricante para aceite combustible.

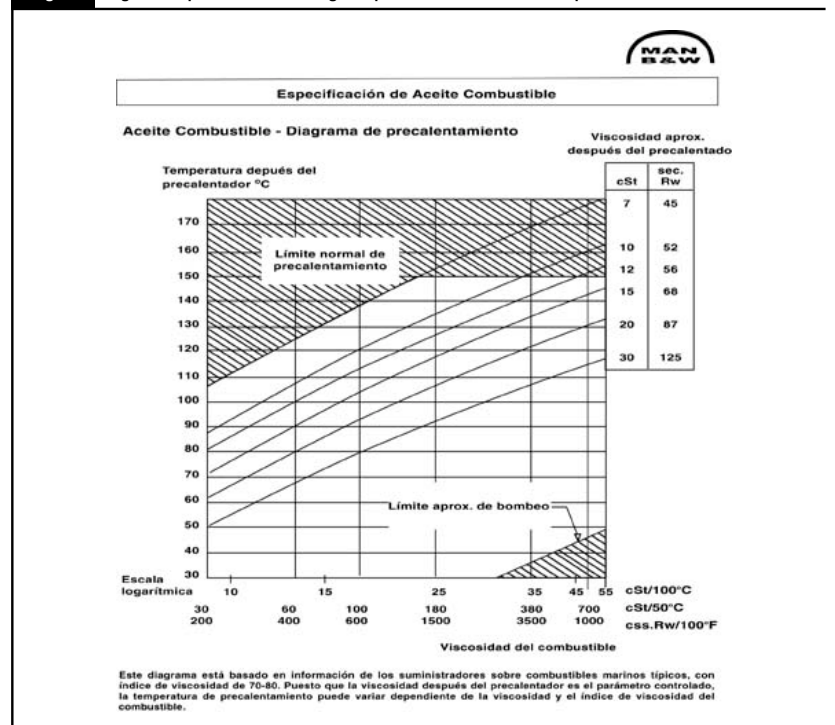


Tabla 3. Principales índices físico-químicos de las muestras tomadas a la salida del separador.

Índices	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12
Viscosidad a 50 °C, cSt	63.22	299	316.22	330.80	441.65	411.72	-	437.10	406.96	312.54	493.75	371.51
Densidad a 15 °C, g/cm ³	0.9760	0.9791	0.9818	0.9789	0.9828	0.9756	1.007	0.9816	0.9851	0.9711	0.9857	0.9730
Agua por destilación, % v	1.4	1.1	1.2	0.5	0.8	0.6	1.7	0.8	0.7	0.6	1.5	1.4
Cenizas totales, % m/m	0.03	0.17	0.16	0.16	0.50	0.02	0.63	0.12	0.07	0.65	0.07	0.07
Azufre, % m/m	2.56	2.5	2.66	2.8	3.09	3.10	3.07	3.01	3.14	2.41	2.50	2.43
Metales												
Vanadio ppm	184.95	-	86.18	-	200	664	92.33	121.26	92	-	-	-
Sodio ppm	80	-	56	-	42	57.8	14.1	81	60	-	-	-
Aluminio + silicio ppm	58	-	-	-	-	87.61	50.38	26.2	-	-	-	-

Como se puede ver en los registros históricos de las muestras estudiadas, la cantidad de agua en el combustible en las pailas de entrega y después de la salida del separador está por arriba del máximo permisible especificado por el fabricante (tablas 2, 3 y 4). Existen otros parámetros fuera de especificaciones de forma puntual, como la relación de vanadio-sodio en

las muestras M-1, M-3, M-8, M-13, y en la muestra M-6 el contenido de vanadio. En cuanto al contenido de aluminio más silicio, las muestras M-1 y M-6 están fuera del límite especificado por el fabricante (tablas 1 y 3).

Como se observa en las tablas 3 y 4, existe un exceso de agua en el combustible, lo que provoca la corrosión en los elementos de la bomba de inyección (ver fotos 1 y 2). Además el exceso de agua afecta la viscosidad del *fuel-oil* en la punta del inyector, por lo que la penetración del chorro del combustible será distorsionada y por ende la combustión dentro del cilindro será incompleta, ocasionando otras afectaciones mecánicas adicionales en la aguja y en las toberas del inyector. Esta situación se agrava debido a que el agua contenida en el combustible posee un elevado contenido de sales (ver fotos 3 y 4 y resultados de FTIR y difracción de rayos X, compuestos de NaCl).

El agua empeora la calidad del combustible, condiciona la corrosión electroquímica y es el medio ideal para el desarrollo de muchos tipos de microorganismos. Igualmente los productos de la corrosión (óxidos e hidróxidos) son catalizadores activos de los procesos de oxidación en los combustibles y dan lugar a la formación de deposiciones.

El agua es una de las sustancias más activas en relación con la coagulación de partículas sólidas de las impurezas y la formación de agregados que inclu-

Tabla 4. Principales índices físico-químicos de las muestras tomadas en la paila (carga de combustible antes de suministrar al tanque el depósito de la planta).

Índices	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18
Viscosidad, cSt a 50 °C	504.98	384.91	376.53	291.33	360.0	433.23
Densidad a 15°C, g/cm ³	0.9882	0.9807	0.9807	0.9784	0.9839	0.9767
Agua por destilación, % v/v	5.2	5.4	6.2	1.0	1.1	1.3
Cenizas totales, % m/m	0.19	0.19	0.17	0.09	0.17	0.06
Sedimentos	0.095	0.07	0.075	0.04	0.08	0.095
Azufre, % m/m	0.20	2.19	2.28	2.48	2.43	2.43
Índice de viscosidad	-	-	-	48	49	50

yen compuestos resinosos y partículas de origen inorgánico, y al ser un magnífico solvente, acumula en su seno ácidos, aditivos, sales, hidróxidos y otras sustancias.

Por otro lado, el registro de muestras históricas resaltan que la cantidad de cenizas en el combustible a la salida del

Foto 1. Émbolo buzo de la bomba.



Foto 2. Cubierta del émbolo buzo.



Foto 3. Aguja del inyector.



Foto 4. Inyector.



Figura 2. Espectro FTIR.

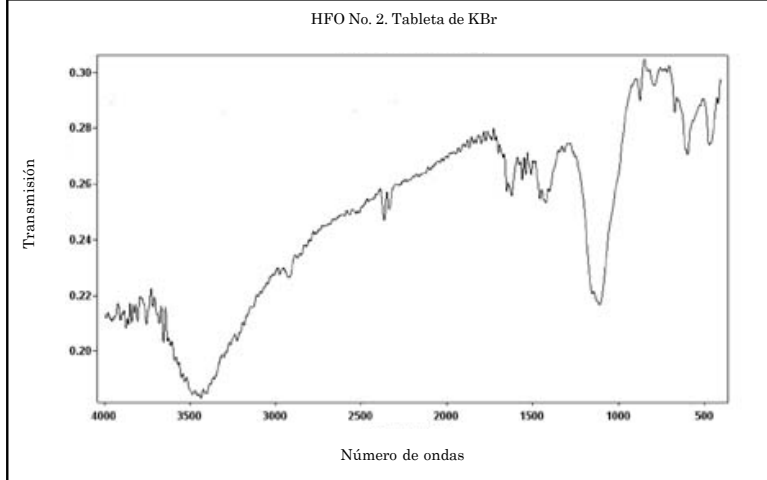


Foto 5. Válvula de escape 1.



Foto 6. Válvula de escape 2.



separador sobrepasa los límites especificados por el fabricante. Esto ocasiona averías en las válvulas de escape; cuando se está operando con un combustible pesado y un lubricante altamente alcalino –y si la temperatura de trabajo de las válvulas en las áreas de contacto está por debajo de los 500 °C (932 °F)–, en este punto se forman depósitos finos, duros y suaves con apariencia de cristal, lo cual consiste principalmente en sulfato de bario o calcio que se origina a partir de azufre y cenizas de la combustión incompleta, más las cenizas de los residuos no quemados del lubricante (ver resultados del FTIR). Esta capa de cristales de calcio o bario se fracciona al encontrarse material abrasivo extraño, la válvula se estanca y durante la combustión los gases, a temperaturas de hasta 1,927 °C (3,500 °F), pasan a través de las fisuras o brechas, creando un efecto de estirado, con excesivo sobre calentamiento local, que conduce a rápida erosión o grietas (fotos 5 y 6).

3.1. FTIR y difracción de rayos X

Para el estudio por FTIR y difracción de rayos X se seleccionó la muestra M-18, observándose un contenido de calcio muy alto. Después de ser sometida a un proceso de extracción con diclorometano el patrón de difracción de la muestra tomada se reporta en la tabla 5. El difractograma presenta complejas características de este tipo de incrustaciones. Las fases cristalinas mayoritarias son el carbón y el sulfato de calcio, y presenta además como fases secundarias el carbonato de calcio, con una presencia de cloruro de sodio.

El poder de difracción en los datos obtenidos son:

CaSO ₄ Sulfato de calcio (anhídrido)	37–1496
CaSO ₄ Sulfato de calcio	2– 166
CaSO ₃ Carbonato de calcio (Calcita)	5– 586
C (Carbón)	26–1079

El espectro infrarrojo de la muestra corrobora los resultados obtenidos por difracción de rayos X, el cual presenta una banda de absorción en 1,110 cm⁻¹ característica del grupo sulfato (SO₄)²⁻ y las bandas de absorción en 1,430, 879 y 794 cm⁻¹ que son propias de la calcita.

Uno de los aspectos más importantes y no siempre apreciado es la viscosidad. El combustible debe tener una viscosidad adecuada cuando es inyectado dentro de la densa masa de aire en el cilindro. Se sugiere que la viscosidad debería ser reducida hasta alrededor de 65 a 75 Redwood/segs (13-17 cst) en el inyector; este valor se alcanza cuando la temperatura de entrada al motor es de aproximadamente 137 °C, para un *fuel-oil* de índice de viscosidad de entre 70-80 (según las especificaciones establecidas por el fabricante de motor MAN B&W L+V-28/32H).

Tabla 5. Resultados de la difracción de rayos X a la muestra de depósitos raspados sobre la válvula de admisión.

Nº	d (Å)	I/I ₀	Identificación
1	3.48	100	CaSO ₄
2	3.33	100	Carbón
3	3.10	10	CaSO ₄
4	3.03	90	CaSO ₃
5	2.48	5	CaSO ₄
6	2.82	80	CaSO ₄ + NaCl
7	2.71	80	No identificado
8	2.52	20	CaSO ₃
9	2.33	<5	CaSO ₄
10	2.28	20	CaSO ₃
11	2.20	20	CaSO ₄
12	1.99	50	NaCl
13	1.87	<5	CaSO ₄ y CaSO ₃
14	1.75	<5	CaSO ₄
15	1.70	<5	No identificado
16	1.65	<5	NaCl

d = distancia interplanar (Å)
I/I₀ = Intensidad relativa

Foto 7. Válvula No. 3 trancada.



Foto 8. Depósitos en válvulas.



Foto 9. Depósitos raspados.



Analizando los resultados del laboratorio y tomando como ejemplo la muestra M-18, la viscosidad a 50 °C es de 433 cSt aproximadamente, y el índice de viscosidad de 50, encontrándose éste por debajo del límite señalado (70-80). El *fuel-oil* es calentado en la planta hasta 137 °C para entrar al motor. Esta temperatura resulta muy alta para el combustible que se está utilizando, por lo que pudiera verse afectada la combustión, creándose lacas y resinas inquemables por la combustión incompleta; estos depósitos se incrustan en las válvulas trancándolas en la guía y disminuyendo el rendimiento del motor (foto 7).

3.2. Destilación fraccionada

Las muestras de *fuel-oil* del buque-tanque y de los tanques en tierra contenían diesel y querosina, lo que actúa negati-

vamente sobre los asfaltenos y el abundante contenido de agua emulsionada, originando incompatibilidad por su naturaleza, efectos negativos durante la combustión y la separación del combustible (ver tablas 6, 7, 8 y 9).

Durante la inspección técnica realizada a la planta de generación de electricidad se constató que varios puntos de contacto del combustible con elementos mecánicos estaban afectados, dentro y fuera del motor, tales como: los manómetros de presión del combustible se encontraban trancados y se ubican en el área exterior de la planta; los turbo-alimentadores de los motores, con exceso de depósitos acumulados; las bombas de inyección, válvulas de admisión y escape, trancadas en las guías y con acumulación de depósitos en las áreas de contacto, grietas y cavernas (fotos 8 y 9).

Tabla 6. Destilación fraccionada del compuesto del buque-tanque que suministró el *fuel-oil*.

No. de corte	Temperatura °C	Rend. % m	Σ % m
Agua*	< 70 °C	0.78	0.78
1**	70 – 190 °C	3.11	3.89
2	190 – 235 °C	7.90	11.79
3	235 – 280 °C	7.44	19.23
4	280 – 343 °C	9.55	28.78
Σ Dest., %	–	–	28.78

* No se pudo determinar el punto inicial de ebullición (PIE) debido a que la muestra tenía agua, la cual fue necesario sacarla por calentamiento.

** Esta fracción contiene agua emulsionada.

Tabla 7. Destilación fraccionada del compuesto de los tanques en tierra antes de la descarga del buque.

No. de corte	Temperatura °C	Rend. % m	Σ % m
Agua*	< 70	0.44	0.44
1**	70 – 150	0.77	1.21
2	150 – 235	5.60	6.81
3	235 – 280	6.70	13.51
4	280 – 343	10.22	23.93
5	343 – 502	18.68	42.41
Σ Dest., %	–	–	42.41
Residuo, %	–	–	56.81
Perdida, %	–	–	0.58

* No se pudo determinar el punto inicial de ebullición (PIE) debido a que la muestra tenía agua, la cual fue necesario sacarla por calentamiento.

** Esta fracción contiene agua emulsionada.

Tabla 8. Destilación fraccionada compuesto de los tanques después de la descarga del buque que suministra el *fuel-oil*.

No. de corte	Temperatura °C	Rend. % m	Σ % m
PIE	40	–	–
1*	40 – 100	1.35	1.35
2	100 – 150	0.25	1.60
3	150 – 190	2.71	4.31
4	190 – 235	7.64	11.95
5	235 – 280	10.71	22.66
6	280 – 343	14.16	36.82
7	343 – 501	7.51	44.33
Σ Dest., %	–	–	44.33
Residuo, %	–	–	54.76
Perdida, %	–	–	0.91

*Este corte contiene 0.49% m/m de agua emulsionada, y la mayoría de la fracción hidrocarbonada está entre 70-100 °C.

Tabla 9. Destilación de la muestra-testigo del tanque 1.

No. de corte	Temperatura °C	Rend. % m	Σ % m
1*	PIE – 180	3.94	3.94
2	180 – 235	3.05	6.99
3	235 – 280	5.98	12.97
4	280 – 343	8.78	21.75
5	343 – 502	18.80	40.55
Σ Dest., %	–	–	40.75
Residuo, %	–	–	58.38
Perdida, %	–	–	0.87

*Este corte contiene 0.89% m/m de agua emulsionada.

Conclusiones

El agua y las impurezas mecánicas son frecuentemente los factores externos que afectan las propiedades de los combustibles residuales (*fuel-oil*) que se utilizan en los motores de combustión interna (MCI).

Estas impurezas pueden formarse en el proceso de fabricación del combustible, durante la transportación, el almacenamiento e incluso durante el consumo de los

mismos, deteriorando los diferentes elementos mecánicos del sistema del combustible utilizados en los MCI para generar electricidad. Es por ello que se hace necesario una rigurosa selección del proceso de purificación a utilizar.

Se recomienda entonces llevar a cabo un análisis sobre las actividades en la manipulación y el suministro de estos combustibles en toda la cadena de distribución desde la refinería hasta el propio sistema de suministro.

obje

Bibliografía

- Benito, F. (1991). "Fuel Oil: almacenamiento, combustión y contaminación atmosférica". Pueblo y Revolución. Cuba.
- Clark, C. (1986). "Motores marinos Diesel", parte VI (A), *Eng. M.I. Mar. E.*
- Fernández, E. (1989). *Influencia de los combustibles en el funcionamiento de los motores de combustión interna*. Editorial Pueblo y Educación. Cuba.
- Guibet, J. C. (1987). *Carburants et moteurs*, Vol 2. Ediciones Technip. Instituto Francés del Petróleo. París, Francia.
- Jóvaj, M. S. (1987). *Motores de automóviles*. Editorial MIR. Moscú.
- MAN B&W. (1982). "Service Background and Component Desing", *Symposium East Asia*.
- Marine Engines (1989). "Powered by Wartsila Diesel".
- Maritime and Costguard Agency (1990). *Fishing Vessel Engine Types*. Publications. The Motor Ship
- _____ (1982). Suplemento. Febrero.
- _____ (1984). Febrero.
- _____ (1985). "The Diesel MAN B&W". Febrero.
- _____ (1989). "Powered by Wartsila Diesel". Agosto.