

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA.1/2019**

**NOME COMPLETO DO ALUNO ALAN SCARCELA**

**INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DO COMBUSTÍVEL NA**  
**MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO**  
**INTERNA**

**RIO DE JANEIRO**

**2019**

**NOME COMPLETO DO ALUNO ALAN DE SANTIAGO SCARCELA**

**INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DO COMBUSTÍVEL NA MANUTENÇÃO E  
OPERAÇÃO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.  
Orientador:

**RIO DE JANEIRO**

**2019**

**NOME COMPLETO DO ALUNO ALAN DE SANTIAGO SCARCELA**

**INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DO COMBUSTÍVEL NA MANUTENÇÃO E  
OPERAÇÃO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Orientador: (nome completo com titulação)

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

---

Assinatura do Aluno

Dedico este trabalho inicialmente a Deus, pois sem ele não teria forças para essa longa jornada. A minha família, Monique e Luan, por me apoiar, suportar minhas ausências e sempre acreditar no meu sucesso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, antes de tudo, a Deus pela oportunidade de estar produzindo este trabalho, concluindo mais uma etapa, e por toda benção e fé concedida a mim em toda a minha vida. Agradeço imensamente a minha mãe, Jane, meu pai, Antônio, meu irmão, Rodrigo, minhas tias, Ana, Beta, Nene e, especialmente, minha esposa, Monique, e ao meu filho, Luan, por todo amor, carinho, apoio e confiança depositada em mim. Por estarem incondicionalmente ao meu lado, sendo os pilares da minha vida e minha motivação para vencer. Agradeço a todos os meus professores por todos os ensinamentos passados.

A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,  
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre  
aquilo que todo mundo vê.

(Arthur Schopenhauer)

Você não pode mudar o vento, mas pode ajustar  
as velas do barco para chegar aonde quer.

(confúcio)

## RESUMO

A qualidade do óleo combustível que uma característica importantíssima para a operação e manutenção dos motores de combustão interna. A crescente preocupação com custos, economia, emissão de gases poluentes na atmosfera, tem nos levados a necessidade dos motores trabalharem com a melhor qualidade de combustível levando em consideração o custo ligado a isso, buscando o melhor custo-benefício. Nesse trabalho, será discutido a respeito das consequências na operação de um motor funcionando com combustível de baixa qualidade, óleo pesado com resíduos da catalisação (Cat Fines). Além disso, será discutido a respeito das manutenções realizadas devido a baixa qualidade de tal fluido. Será discutido os sistemas de purificação que temos a bordo a fim de melhorar a qualidade do combustível para ser utilizado do motor principal e motores auxiliares.

Palavras-chave: Óleo combustível. Sistema de Purificação. Manutenção. Operação. Cat Fines

## **ABSTRACT**

The quality of fuel oil is a very important feature for the operation and maintenance of internal combustion engines. The growing concern with costs, savings, emission of polluting gases in the atmosphere, has led us to the need for the engines to work with the best quality of fuel taking into account the cost associated with this, seeking the best cost-benefit. In this work, we will discuss the consequences of operating an engine running on poor fuel, heavy fuel oil with Cat Fines. In addition, it will be discussed with respect to the maintenance performed due to the poor quality of such fluid. We will discuss the purification systems we have on board in order to improve the quality of the fuel to be used from the main engine and auxiliary engines.

**Keywords:** Fuel Oil. Purification System. Maintenance. Operation. Cat Fines



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Visão geral dos danos em motores de 2 tempos e 4 tempos	15
<b>Figura 2:</b>	Preço estimado dos principais componentes da câmara de combustão	16
<b>Figura 3:</b>	Tipos de desgaste abrasivo	17
<b>Figura 4:</b>	Desgaste adesivo	18
<b>Figura 5:</b>	Desgaste corrosivo	19
<b>Figura 6:</b>	“Cat fines” entre anel e camisa	20
<b>Figura 7:</b>	Esquema do sistema de combustível	21
<b>Figura 8:</b>	“Cat fines” na norma ISSO 8217	22
<b>Figura 9:</b>	Quantidade de “cat fines” nas amostras VPS em 2016	22
<b>Figura 10:</b>	Quantidade máxima de “cat fines” na entrada do motor	23
<b>Figura 11:</b>	Esquema dos pontos de retirada de amostra de combustível	24
<b>Figura 12:</b>	Esquema das redes do tanque de serviço	27
<b>Figura 13:</b>	Operação do separador em diferentes parâmetros	29
<b>Figura 14:</b>	Partícula nos pratos do purificador	30
<b>Figura 15:</b>	Variação da eficiência	31
<b>Figura 16:</b>	Relação da vazão e da temperatura para manter eficiência	33
<b>Figura 17:</b>	Esquema de monitoramento de “cat fines” pelo CatGuard	35
<b>Figura 18:</b>	Quantidade de “cat fines” medidas durante 6 meses na entrada do separador e entrada do motor principal	35
<b>Figura 19:</b>	Esquema de lubrificação na câmara de combustão	36
<b>Figura 20:</b>	Esquema de desgaste linear e com presença de “cat fines”	38

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	“Cat fines” x Desgaste	13
1.2	Custo extra devido ao desgaste de “cat fines”	15
<b>2</b>	<b>PROCESSO DE DESGASTE NA CAMARA DE COMBUSTÃO</b>	<b>17</b>
2.1	Desgaste abrasivo	17
2.2	Desgaste adesivo	18
2.3	Desgaste corrosivo	19
2.4	Desgaste abrasivo por “cat fines”	19
<b>3</b>	<b>LIMITE MÁXIMO PARA “CAT FINES” NO COMBUSTÍVEL MARÍTIMO</b>	<b>21</b>
3.1	“Cat fines” na ISO 8217	21
3.2	Limite máximo de “cat fines” do combustível que entra no motor	22
3.3	Amostra do óleo para checar a quantidade de “cat fines”	23
<b>4</b>	<b>SISTEMA DE LIMPEZA DO ÓLEO COMBUSTÍVEL</b>	<b>25</b>
4.1	Dimensionamento dos separadores	25
4.2	Limpeza do combustível no tanque de serviço	26
4.3	Filtros de óleo combustível na entrada do motor	27
4.4	Aquecedor de óleo combustível	28
<b>5</b>	<b>OPERAÇÃO</b>	<b>29</b>
5.1	Operação do separador	29
5.1.1	Fundamento da separação de partícula	29
5.1.2	Temperatura do separador	31
5.1.3	Vazão do separador	32
5.1.4.	Combinação vazão – temperatura do separador	32
5.2	Operação em mau tempo	33
<b>6</b>	<b>MONITORAMENTO A BORDO</b>	<b>34</b>
6.1	Combustível	34
6.2	Condição do cilindro	36
6.2.1	Análise do dreno do óleo de cilindro	36

<b>6.2.2</b>	<b>Inspeção das janelas de admissão</b>	<b>37</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Medição do desgaste</b>	<b>37</b>
<b>6.2.4</b>	<b>Inspeção da superfície da camisa</b>	<b>38</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>39</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>40</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 “Cat Fines” X Desgaste

A otimização bem-sucedida em relação à longa vida útil dos componentes nos modernos motores a diesel de dois tempos exige que o funcionamento seja acompanhado de perto e que os operadores atuem sobre as informações obtidas.

A experiência demonstrou que a boa pureza do combustível e a correta lubrificação, seguidas de inspeções, são as principais ferramentas para garantir boas condições do cilindro e longa vida útil dos componentes.

Partículas abrasivas que entram na câmara de combustão causam desgaste. Os “Cat Fines” (Catalytic Fines = Aluminium + Silicon) são pequenas partículas, muito duras, que se originam do processo de refinação, e assim, presentes no combustível marinho (HFO – Óleo Pesado). Alta quantidade, normalmente permitidas no combustível como bunker de acordo com ISO 8217:2012, é de 60ppm de “Aluminium” e “Silicon” a bordo dos navios.

Os resíduos da catalização podem entrar no motor com o combustível e causar desgaste. O nível máximo aceitável de “Cat Fines” que entram no motor deve ser sempre mínimo possível e máximo 15 ppm Al + Si por curtos períodos.

Algumas das melhores práticas para limpeza de combustível em relação à instalações e procedimentos de operação são dados abaixo:

### **Pontos importantes para obter combustível limpo - e maior confiabilidade e baixas taxas de desgaste:**

1. Instalar um sistema de limpeza de combustível usando as melhores práticas;
2. Fazer procedimentos operacionais de alto padrão;
3. Verificar os resultados da limpeza de combustível;
4. Atuar nos resultados obtidos

### **Pontos importantes sobre falhas relacionadas a “Cat Fines”:**

1. Os “Cat Fines” do combustível que entram no motor causam desgaste: quanto maior a quantidade deles, maior o desgaste;
2. Aceleram o desgaste corrosivo;
3. Se acumulam nos tanques de combustível (armazenamento, sedimentação e serviço);

4. A purificação do combustível é muito importante para diminuir a concentração;
5. São encontrados tanto no combustível pesado quanto no ULSFO;
7. Se encontrados nas camisas do cilindro, a purificação do OC não está aceitável;
8. Desaparecem rapidamente da superfície das camisas se o fornecimento de OC de baixa qualidade for interrompido;
9. Os danos do desgaste são encontrados, normalmente, em posições diferentes para motores dois tempos e quatro tempos.

O desgaste abrasivo dos “Cat Fines” em motores de dois tempos é encontrado dentro da câmara de combustão na camisa do cilindro, pistão, anéis de segmento e escartéis da coroa do pistão, resultando em altas taxas de desgaste e possíveis arranhões.

Enquanto o desgaste abrasivo dos “Cat Fines” nos pequenos motores de quatro tempos (grupo geradores, normalmente) são encontrados principalmente no sistema de combustível, nos orifícios do atomizador do injetor de combustível, resultando que tornam-se grandes demais para produzir uma atomização adequada do combustível, assim, prejudicando a combustão e, conseqüentemente, aumentando o depósitos no turbocompressor (diminuindo a eficiência), resultando ainda em pior combustão (lado ar desse equipamento fornece ar para a combustão), assim, levando a uma possível falha ou quebra do motor.

Uma visão geral dos danos encontrados em motores de dois tempos e pequenos grupos geradores de quatro tempos pode ser encontrada na figura 1.

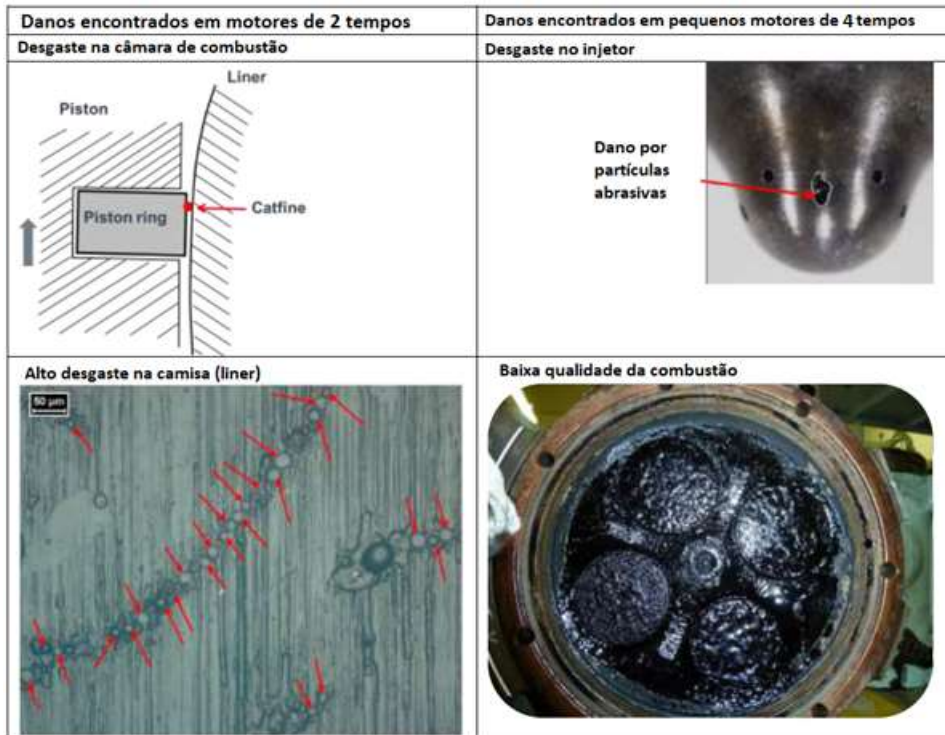


Figura 1 Visão geral dos danos em motores de 2 tempos e 4 tempos

É vital que as instalações do sistema de limpeza sejam realizadas de acordo com as melhores práticas. Além disso, a operação diária e as verificações regulares devem ser feitas com alto padrão.

## 1.2 Custo extra devido ao desgaste de “Cat Fines”

Com o desgaste prematuro dos componentes afetados pelos resíduos da catilização, haverá a necessidade de troca de peças antes do tempo, isso gera um alto custo para o navio. Por exemplo, se um motor 6S80ME-C ter um desgaste o dobro da taxa normal (metade do tempo de uso normal), o custo extra estará na faixa de:

- Camisas:  $0,5 \times 6 \times 40000 \text{ EUR} = 120000 \text{ EUR}$
- Anéis de Segmento:  $0,5 \times 6 \times 5000 \text{ EUR} = 15000 \text{ EUR}$
- Pistões:  $0,5 \times 6 \times 16000 \text{ EUR} = 48000 \text{ EUR}$
- Total: 183000 EUR

Esse custo extra para o desgaste de 183000 euros são relacionados apenas aos componentes. Além desse, temos o custo para o extra o tempo de inatividade e o custo da instalação, estes devem ser adicionados para se obter o valor total do custo extra.

Uma visão geral dos preços estimados para componentes na câmara de combustão para diferentes tamanhos podem ser vistos na Figura 2.

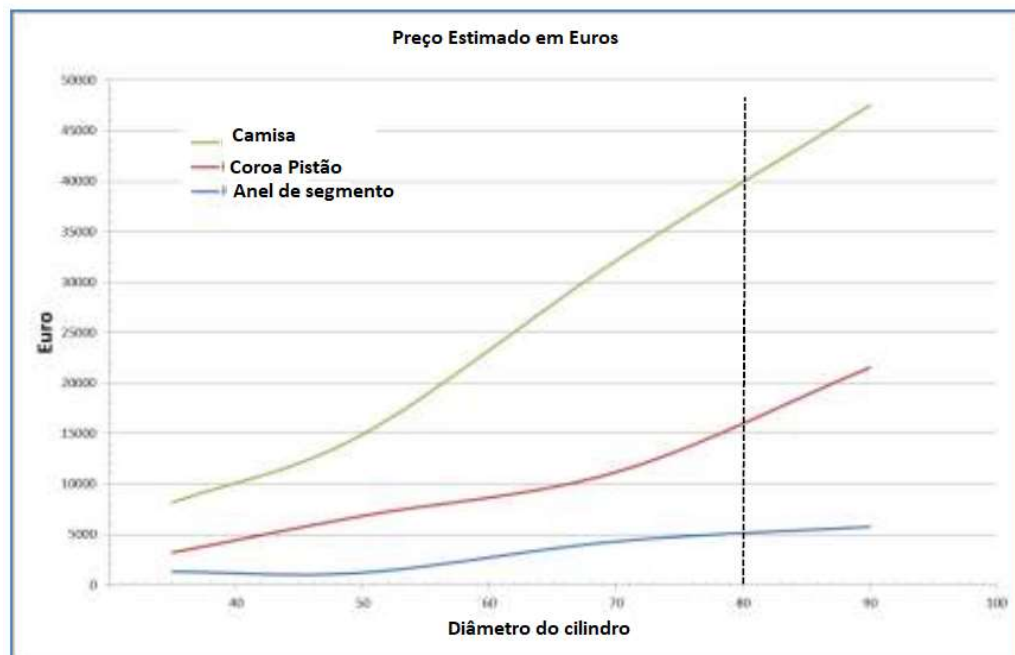


Figura 2 Preço estimado dos principais componentes da câmara de combustão

## 2. PROCESSO DE DESGASTE NA CAMARA DE COMBUSTÃO

Dependendo das condições, vários processos de desgaste podem ocorrer na câmara de combustão, são alguns eles:

- desgaste abrasivo
- Desgaste adesivo
- desgaste corrosivo

### 2.1 Desgaste abrasivo

O desgaste abrasivo é causado por deslocamento ou remoção de material causado por saliências ou partículas duras que são forçados uma contra a outra e se movendo ao longo de uma superfície sólida. Em caso de o desgaste ocorrer por cusa de uma saliência, é chamado de abrasão de dois corpo, enquanto é chamado de abrasão de três corpos no caso de haver partículas duras (por exemplo, “cat fines”).



Figura 3 Tipos de desgaste abrasivo

A quantidade de desgaste depende, principalmente, da dureza dos dois materiais em contato. Se uma superfície tiver uma dureza de mais da metade da partícula abrasiva ou da saliência, é normalmente considerado resistente ao desgaste.

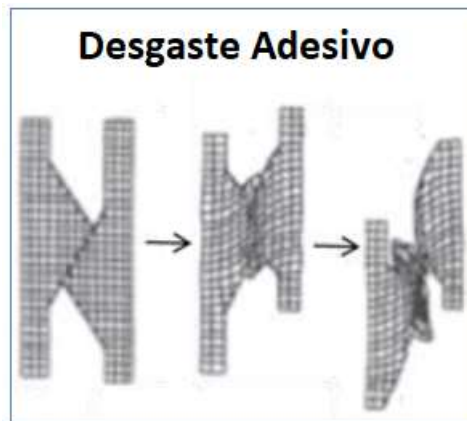


Nos contatos lubrificados, o desgaste abrasivo só ocorrerá quando o óleo lubrificante é insuficiente para separar os dois componentes entre si.

Polir, arranhar e moer são os resultados de desgaste abrasivo, ele é o tipo mais comum de desgaste nos equipamentos industriais.

## 2.2 Desgaste adesivo

O desgaste adesivo é o resultado de uma alta carga mecânica entre duas superfícies deslizando opostas, levando a um aumento duração do contato e/ou aumento da temperatura no contato. Isso pode levar à deformação plástica ou micro soldagem, que levará à transferência de material de uma superfície para outra.



*Figura 4 Desgaste Adesivo*

A força da carga, dureza do material, estrutura cristalina, afinidade dos materiais em contato e oxidação dos materiais são fatores importantes que influenciam o nível do desgaste adesivo. O desgaste adesivo típico começa no topo de uma saliência, onde a carga local é muito alta, conhecido como pontuação.

## 2.3 Desgaste corrosivo

O desgaste corrosivo é o resultado de corrosão química e desgaste mecânico atuando simultaneamente na mesma superfície. A corrosão química resultará em produtos de corrosão na superfície. Esses produtos, normalmente, protegem a superfície contra corrosão adicional,

mas, quando são removidos por um abrasivo (por exemplo, “cat fines”) ou um processo de desgaste do adesivo, a superfície é deixada desprotegida e o processo de corrosão química pode continuar. Isso leva a um alto aumento na taxa de perda de material (desgaste).

O desgaste corrosivo estará quase completamente ausente se o fator de corrosão ou o fator de desgaste for removido.

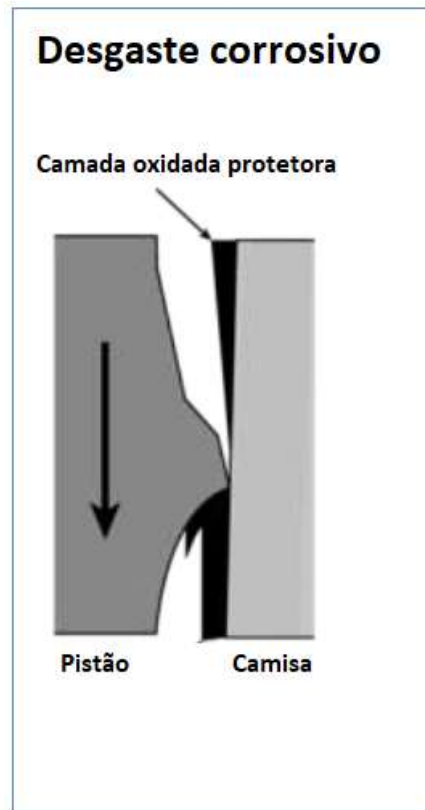
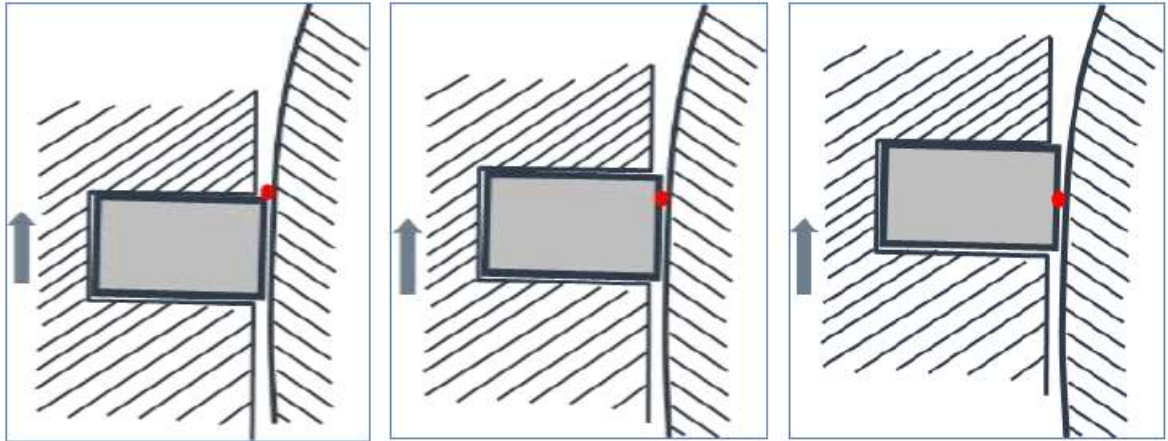


Figura 5 Desgaste corrosivo

## 2.4 Desgaste abrasivo por “Cat Fines”

Partículas abrasivas causam desgaste quando entram na câmara de combustão dos motores de dois tempos. As partículas finas de “Cat Fines” podem ficar presas entre as superfícies de deslizamento, como camisa, anel, coroa, saia pistão. As partículas podem ficar presas ou rolando livremente entre as superfícies de deslizamento ou parcialmente incorporado em uma das superfícies.



*Figura 6 "Cat Fines" entre anel e camisa*

O processo é o desgaste abrasivo de três corpos. Quanto mais e maiores forem as partículas, maior será o desgaste.

### 3. LIMITES MÁXIMOS PARA “CAT FINES” NO COMBUSTÍVEL MARÍTIMO

Durante o abastecimento, combustível é enviado para o navio e transferido para os tanques de armazenamento. Uma amostra do bunker (combustível) é retirada durante esse processo. Através de análise, a quantidade de “Cat Fines” (Al + Si) na amostra do bunker é encontrada. Os sistemas de limpeza de combustível a bordo devem reduzir esse valor a um número muito menor, pois, de outra forma, o motor se desgastaria muito rápido.

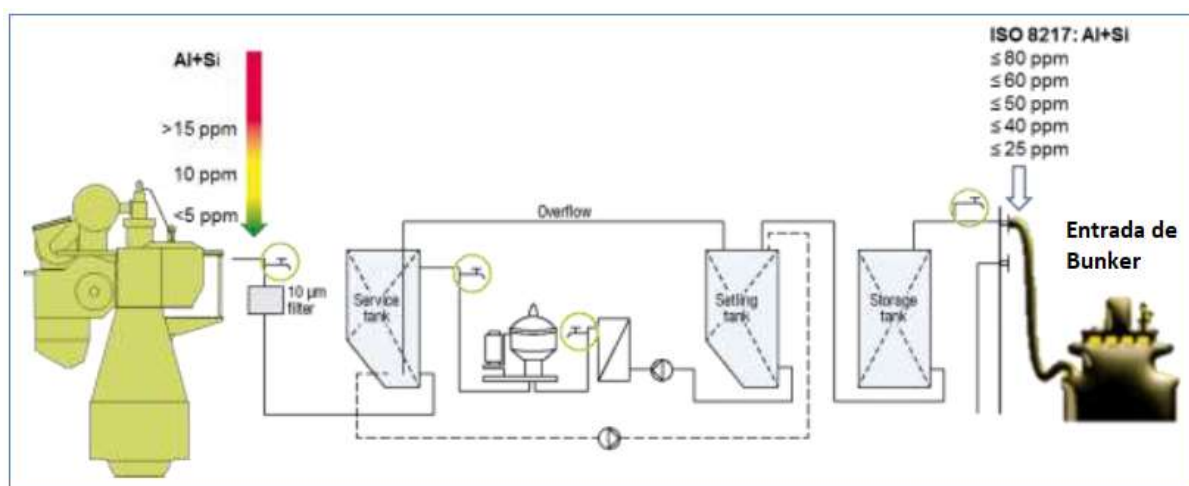


Figura 7 Esquema do sistema de combustível

#### 3.1 “Cat Fines” na ISO 8217

Os combustíveis marinhos são comprados de acordo com a norma internacional ISO 8217: Especificações de Combustíveis marinhos. As especificações desta norma, definem, entre outras, o limite para “Cat Fines” em óleos combustíveis entregue ao navio, expresso como Al + Si (Alumínio + Silício). A revisão mais usada da norma, ISO 8217: 2005, lista um limite máximo de 80 mg / kg Al + Si para os tipos de combustível pesado (heavy fuel oil).

Considerando que as revisões mais recentes, ISO 8217: 2010, 2012 e 2017, têm um requisito mais rigoroso de um máximo de 60 mg / kg Al + Si para as classes mais espessas e os mais finos estão limitados a 25, 40 ou 50 ppm Al + Si.

Year	Cat fines: Al+Si Max. [mg/kg = ppm]															
	DMC	RMA 10	RMA 30	RMB 30	RMD 80	RME 80	RME 180	RMF 180	RMG 180	RMG 380	RMH 380	RMK 380	RMG 500	RMK 500	RMH 700	RMK 700
2005	25	N/A	80	80	N/A	80	N/A	80	N/A	80	80	80	N/A	N/A	80	80
2010- 2017	N/A	25	N/A	40	40	N/A	50	N/A	60	60	N/A	60	60	60	N/A	60

Figura 8 "Cat Fines" na norma ISO 8217

O gráfico da figura abaixo mostra a distribuição da quantidade de "Cat Fines" encontrados nas amostras examinadas pelo VPS (Veritas Petroleum Services) em 2016. Isso mostra que a quantidade de "Cat Fines" identificada a partir de pequenas quantidades, a maioria das amostras encontra-se no intervalo entre 7-50 ppm Al + Si.

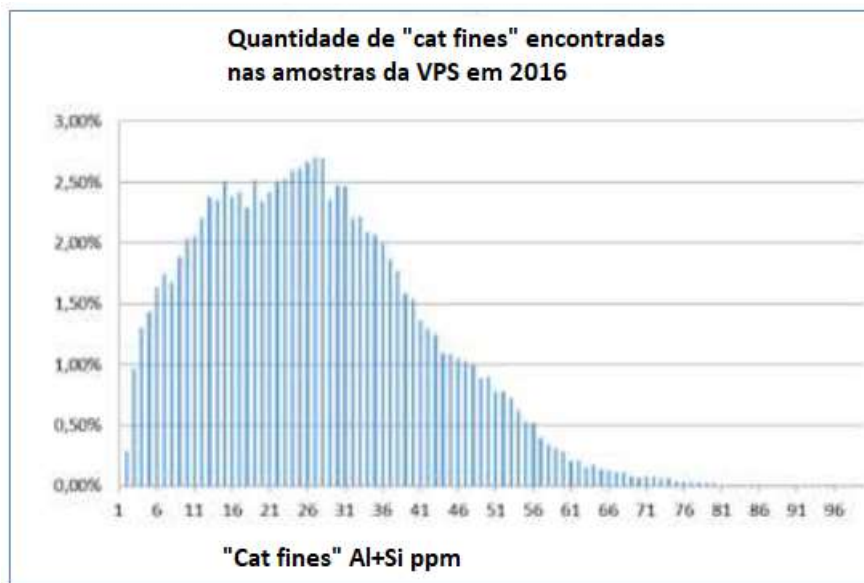


Figura 9 Quantidade "cat fines" das amostras VPS em 2016

### 3.2 Limite máximo de “Cat Fines” do combustível que entra no motor

Casos recentes mostraram que mesmo pequenas quantidades de “cat fines” podem ser prejudiciais para o motor. Devem ser tomadas medidas para reduzir o risco de introdução “cat fines” no motor. As recomendações e especificações são constantemente atualizadas, objetivando manter o menor nível de “cat fines” na entrada do motor. Um nível máximo de 15 ppm é aceitável por um curto período de tempo, mas o nível normal deve ser mantido mais baixo.

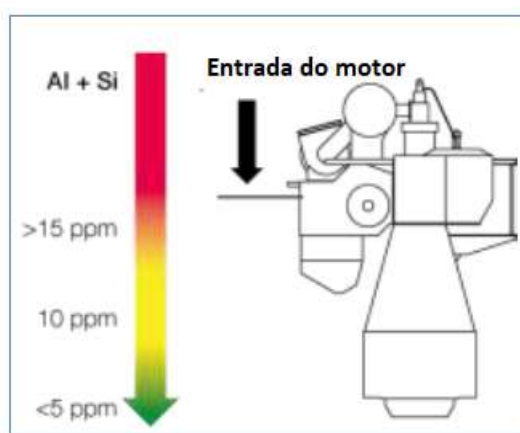


Figura 10 Quantidade máxima "cat fines" na entrada do motor

- máx. 15 ppm Al + Si na entrada do motor - por curtos períodos.

Uma baixa quantidade “cat fines” pode ser alcançada limpando o combustível com um alto padrão. A máxima quantidade de “cat fines” no combustível, de acordo com a norma ISO 8217-2005, é Al + Si: 80 ppm. O máximo recomendado antes do motor é de 15 ppm. Então, o sistema de limpeza de combustível do navio deve ser capaz de obter tal eficiência de limpeza:

Eficiência esperada na limpeza do sistema de combustível:

$$\frac{(80-15)\text{ppm}}{80\text{ppm}} * 100\% = 81\%$$

### 3.3 Amostra do óleo para checar a quantidade de “cat fines”

Sistemas de limpeza de combustível são complexos e normalmente eles não têm parâmetros claros informando se o combustível está limpo ou não. Por isso, é recomendado que se verifique a eficiência do sistema de limpeza de combustível através de um conjunto completo de amostras de combustível a cada quatro meses. Além disso, recomenda-se verificar a eficiência da centrífuga ao operar com combustível abastecido com mais de 25 ppm de “cat fines” (Al + Si). As posições das amostras são mostradas abaixo:

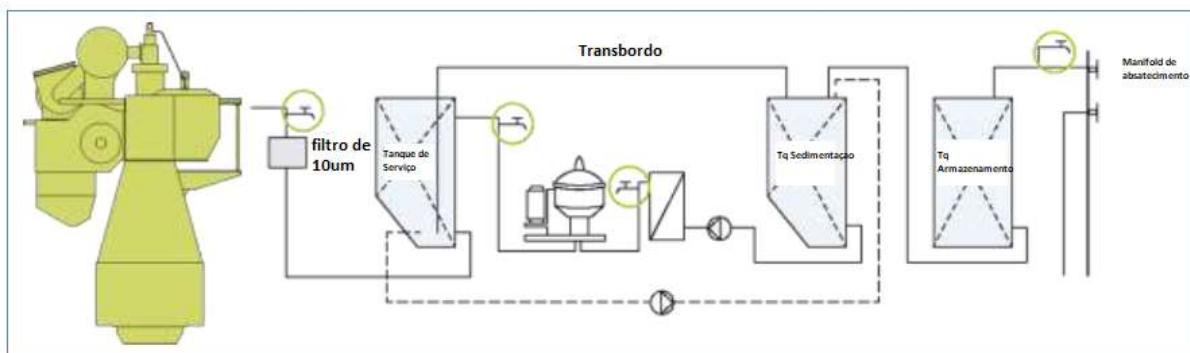


Figura 11 Esquema dos pontos de retirada de amostra do combustível

É necessário enviar as amostras para um instituto de análise de combustível que possa medir o teor de Al + Si de acordo com ISO 8217.

## 4. SISTEMAS DE LIMPEZA DO ÓLEO COMBUSTÍVEL

O combustível abastecido ao navio é transferido para os tanques de armazenamento, dos tanques de armazenamento, o combustível vai para os tanques de sedimentação, onde algumas das impurezas dos “cat fines” e outras impurezas irão se depositar no fundo dos tanques. Dos tanques de sedimentação, o combustível vai para os separadores centrífugos (purificadores), onde é executada a principal limpeza de combustível a bordo. A partir dos separadores, o combustível vai para os tanques de serviço, onde a retirada de “cat fines” e outras impurezas (e água) acontece. Do tanque de serviço, o combustível passa por um filtro de 10  $\mu\text{m}$ , que também atua como indicador de operação insuficiente dos separadores. Finalmente, o combustível chega ao motor. Agora o combustível deve estar limpo e pronto para uso, sem gerar maior desgaste nos componentes do motor.

Os sistemas de limpeza de combustível a bordo dos navios são complicados e requerem atenção minuciosa. É importante que eles sejam projetados e construídos para garantir limpeza e condicionamento aceitáveis do combustível. Em alguns casos, é visto que o purificador e o pré-aquecedor instalados são muito pequenos, que o fornecimento de vapor para o pré-aquecedor é limitado, ou que o controle de temperatura é muito lento. Esses são todos os fatores que reduzem a capacidade de limpar combustível de forma eficiente.

### 4.1 Dimensionamento dos separadores

Quanto menor o fluxo através do separador, mais tempo o combustível permanece no separador, e melhor será a limpeza do combustível. O dimensionamento dos purificadores de combustível é uma tarefa difícil, pois não há um padrão para medir a eficiência de limpeza. Espera-se que o desenvolvimento futuro do padrão CFR (Certified Flow Rate) para separadores, garantindo um padrão comum para o “benchmarking”, conduzindo o mercado a tornar-se mais transparente e tornar mais fácil para os clientes dimensionar o separador e obter a eficiência de limpeza correta.



## 4.2 Limpeza do combustível no tanque de serviço

A limpeza dos combustíveis dos tanques de sedimentação e serviço deve ser possível durante operação do navio. Em tempo calmo, “cat fines” instalam-se no fundo dos tanques, mas em tempos adversos, eles podem ser movimentados, em alta quantidade, para o sistema de óleo combustível. Nessa condição de tempo ruim, a partir do tanque de sedimentação, alta concentração de “cat fines” pode ser levada aos separadores, que serão incapazes de removê-los para um nível satisfatório. Assim, o tanque de serviço será contaminado com as quantidades elevadas de “cat fines”, que serão levados para o motor onde causarão aumento do desgaste.

Mesmo uma boa limpeza do combustível levará uma concentração de “cat fines” na parte inferior do tanque de serviço.

Algumas práticas recomendadas são:

- Use tanques de combustível com fundo inclinado - para concentrar o dreno;
- Drene os tanques de decantação e os tanques de serviço em intervalos regulares;
- Possibilitar a limpeza dos tanques em serviço recirculando o combustível de volta para os separadores. Isso pode ser feito por:

o Ter um tubo de transbordo no tanque de serviço que vai até o fundo do tanque e leva o excesso de combustível ao topo do tanque de sedimentação.

o Por meio de bomba aspirando no fundo do tanque de serviço e descarregando para o topo do tanque de sedimentação.

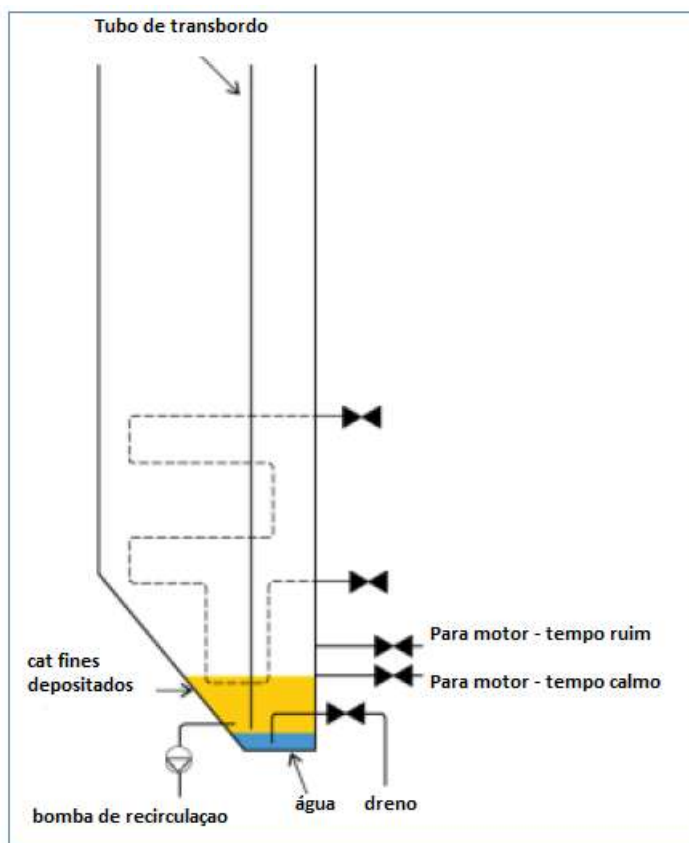


Figura 12 Esquema das redes do tanque de serviço

### 4.3 Filtros de óleo combustível na entrada do motor

A remoção de “cat fines” no combustível deve ser feita em separadores de combustível devido à quantidade substancial de sujeira presentes no combustível. No entanto, como mencionado anteriormente, vários fatores podem impactar a eficiência de separação. Após os separadores, existe um filtro automático de retrolavagem ou filtro duplex posicionado na entrada do motor (pode ser posicionado no sistema de alimentação também). Esse filtro não é para remover todos os “cat fines” do combustível, mas vai funcionar como um indicador de operação insuficiente dos separadores. Por exemplo, um aumento no número de ciclos de limpeza para o filtro automático indicará que a operação dos separadores deve ser otimizada.

Resumidamente, é visto maior confiabilidade e baixas taxas de desgaste quando:

1. filtro de 10  $\mu\text{m}$  é instalado antes do motor
2. ciclos de limpeza do filtro são registrados em uma base diária
3. são tomadas medidas para melhorar a limpeza do combustível se o número do ciclo de limpeza aumentar mais que o normal.

#### **4.4 Aquecedor de óleo combustível**

O sistema de limpeza de combustível deve ser projetado para operar em alto e baixo fluxo com altas temperaturas. A temperatura do óleo combustível no separador deve ser sempre mantida o mais alto possível. Quanto maior a temperatura, melhor a limpeza. Os pré-aquecedores de combustível devem elevar a temperatura do combustível até a temperatura correta de separação. Por razões operacionais, poderia ser definido um “set point” de temperatura muito baixo ou o aquecedor estar obstruído por depósitos, limitando a capacidade de aquecimento. Esses fatores levariam a uma temperatura de entrada do separador baixa e, portanto, uma separação ineficiente.

Para controlar a temperatura no nível correto e estável, um controlador proporcional integral integral (Controlador PID) deve ser instalado no pré-aquecedor no separador. Se apenas um controlador de função P for instalado, provavelmente causará variações excessivas de temperatura e, portanto, um combustível com temperatura de entrada muito baixa ou muito alta no separador. Se a temperatura de entrada for muito alta, poderá causar a ebulição da água de controle do separador e causar um alarme e possível desligamento do mesmo.

## 5. OPERAÇÃO

O sistema de limpeza deve ser projetado para operação ideal em fluxos altos e baixos com altas temperaturas. Temperatura muito baixa e/ou um fluxo muito alto através dos separadores, durante a limpeza do combustível, resultará em remoção insuficiente de água, “cat fines” e outros contaminantes.



Figura 13 Operação do separador em diferentes parâmetros

As recomendações de operação dos fabricantes dos separadores devem ser seguidas.

### 5.1 Operação dos Separador

Como dito, os separadores tem papel importante sistema de combustível, eles removem a maior parte das impurezas desse fluido em todo o sistema de limpeza de combustível, portanto, é necessário ter o máximo cuidado durante a operação e a manutenção.

#### 5.1.1 Fundamento da Separação de Partícula

A conhecida lei de Stokes é uma fórmula para determinar a taxa de partículas que são depositadas em um fluido. Ela afirma que uma partícula que se move através de um líquido viscoso atinge uma velocidade ou taxa de sedimentação constante. Essa taxa pode ser muito lenta para partículas cuja densidade é próxima da do líquido, para partículas muito

pequenas ou onde a viscosidade do fluido é alto. Substituindo a aceleração gravitacional pela aceleração gerada por uma rotação a centrífuga, resulta em uma sedimentação mais rápida. A aceleração centrífuga pode ser milhares de vezes maior que a de gravidade, logo, o assentamento centrífugo é milhares de vezes maior.

Equação de Stokes:

$$v_{\text{settling}} = \frac{d^2(\rho_p - \rho_l)}{18\mu} \alpha$$

onde  $d$  é o diâmetro da partícula,  $\rho_p$  e  $\rho_l$  são as densidades de partículas e líquidos e  $\mu$  é a viscosidade do líquido.

O fator  $\alpha$  é o gravitacional ou (em um separador) a aceleração centrífuga. O que um separador faz é aumentando  $\alpha$  de  $9,8 \text{ m/s}^2$ , como em sedimentação gravitacional, para muitos milhares de vezes isso.

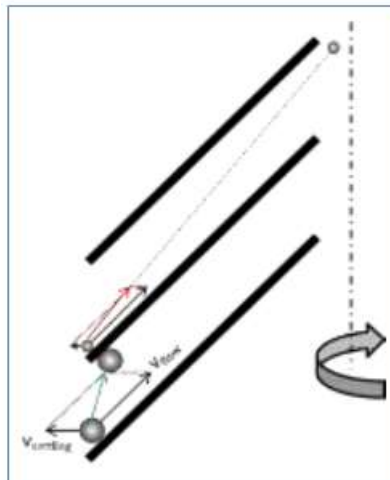


Figura 14 Partícula nos pratos do purificador

Uma partícula de “cat fines” está sujeita ao mesmo princípio ao ser separada em um disco separador.

A abaixo mostra a eficiência de separação em função do tamanho da partícula, da diferença de densidade e da viscosidade do óleo.

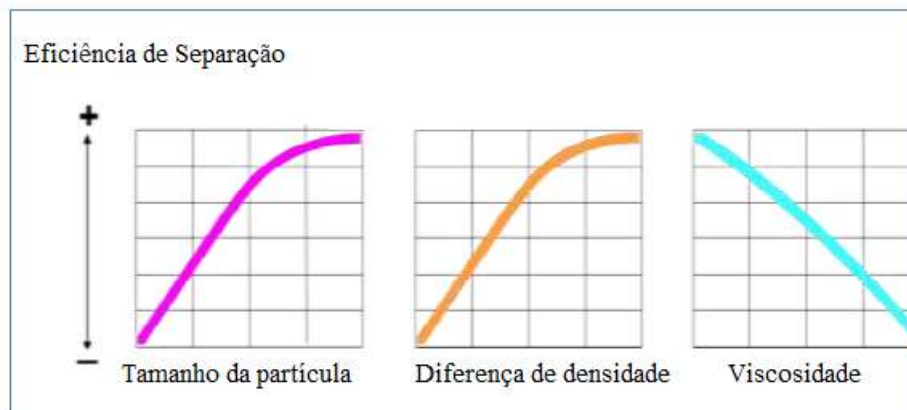


Figura 15 Variação da eficiência

O tamanho de partícula e a diferença de densidade são propriedades que não são possíveis mudar a bordo. Logo, a vazão e viscosidade do óleo são os parâmetros que podem ser alterados para afetar o desempenho da separação.

### 5.1.2 Temperatura do separador

A temperatura do combustível no separador é um parâmetro muito importante para melhorar a eficiência de limpeza de combustível, visto que a temperatura do combustível afeta a viscosidade do combustível. Como a temperatura do combustível aumenta, a viscosidade diminui. A temperatura do separador deve ser sempre mantida tão alta quanto possível. Quanto maior a temperatura, melhor a limpeza.

Cálculos usando a equação de Stokes mostram que ao reduzir a temperatura de 98 °C para 95 °C, a taxa de sedimentação diminui em 11% para um combustível tipo RMK, e ao reduzir ainda mais de 98 °C para 90 °C, a taxa de sedimentação diminui em 28%. Assim, uma pequena redução na temperatura tem um alto impacto na eficiência de limpeza de combustível, é muito importante manter a temperatura em 98 °C para combustível pesado.

### Temperatura do combustível superior a 98 °C

Existe um alto potencial para melhorar a eficiência de limpeza do combustível aumentando a temperatura acima de 98 °C. Os cálculos usando a equação de Stokes mostram

que, ao aumentar a temperatura de 98 °C para 110 °C, taxa de sedimentação aumenta em 54%.

O limite atual de 98 ° C é definido por razões de segurança. Alguns sistemas são capazes de operar com temperaturas acima de 98 °C. Antes de aumentar a temperatura acima de 98 ° C, o fabricante do sistema e do separador deve ser contatado, pois nem todos os sistemas são capazes de aumentar temperatura acima de 98 °C. Os motivos informados por fabricantes dizem respeito à resistência do material, durabilidade, questões relativas à evaporação da água de controle, e possivelmente, em relação à conformidade com códigos de segurança para o material usado no sistema.

### **5.1.3 Vazão do separador**

Quanto mais baixo for fluxo através do separador, mais tempo o combustível permanece no separador e melhor é a limpeza do combustível. Normalmente, um separador de combustível tem um projeto para fornecer 100% de consumo de combustível na carga máxima do motor mais valores constantes como margens de segurança. Como o motor raramente está funcionando a 100% da carga, há um grande potencial para aumentar a eficiência de limpeza do combustível diminuindo o fluxo através do separador. O fluxo deve ser mantido o mais baixo possível.

### **5.1.4 Combinação vazão - temperatura do separador**

A figura abaixo mostra como o fluxo no separador e a temperatura do combustível interagem para obter melhor eficiência de limpeza de combustível. O fluxo nominal é ajustado para 100% a 98 ° C. Se a temperatura é reduzidos a 90 ° C, o fluxo deve ser reduzido para 72% do fluxo nominal afim de manter a eficiência de separação no mesmo nível que a 98°C. Diminuindo mais, a 85 ° C, o fluxo deve ser reduzido pela metade.

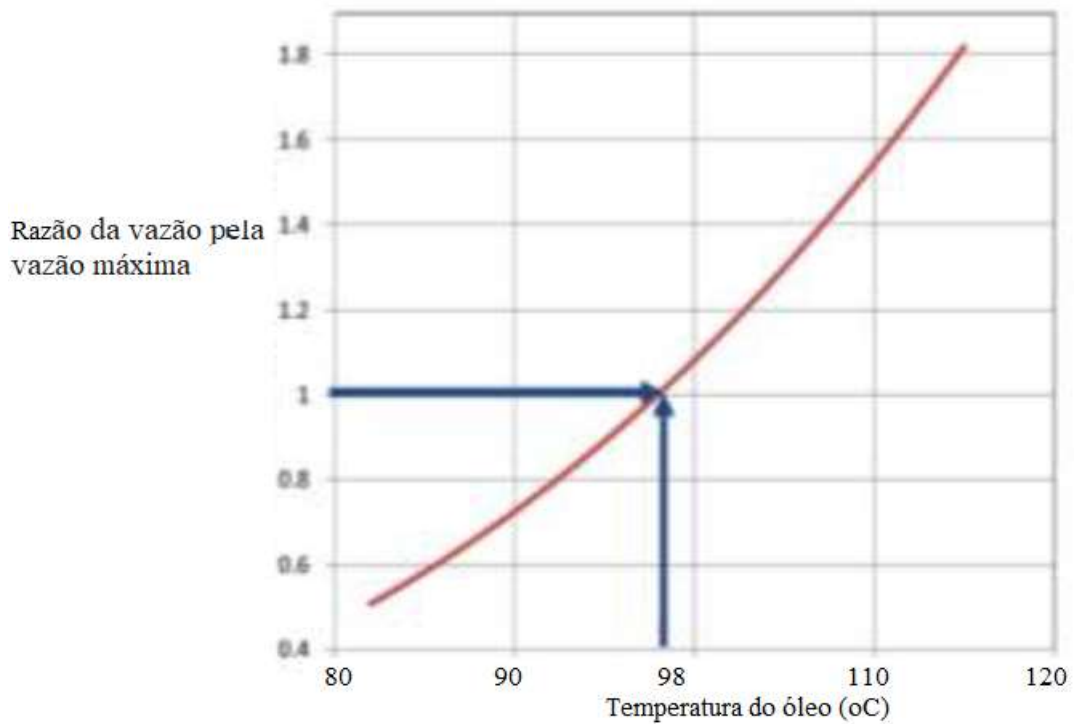


Figura 16 Relação da vazão e da temperatura para manter eficiência

## 5.2 Operação em mau tempo

Os “cat fines” se concentraram no fundo dos tanques durante a operação normal, em climas tranquilos. Para reduzir o risco de enviar “cat fines” para o motor em condições climáticas adversas, os seguinte procedimentos podem ser aplicados:

- Use o separador de “standby” simultaneamente com o separador em serviço e diminua o fluxo para aumentar a eficiência da limpeza;
- Use a linha de sucção alta para melhor proteção contra os “cat fines” depositados no fundo do tanque.



## 6. MONITORAMENTO A BORDO

A otimização bem-sucedida da limpeza do combustível e da condição do cilindro depende que os operadores chequem a condição de perto e aja sobre as informações obtidas. Recomenda-se verificar o combustível regularmente quanto presença de “cat fines”, é usado a análise do óleo de dreno do cilindro e é inspecionado o motor quanto a desgaste nas partes de câmara de combustao, isto é, anéis de pistão, pistões e camisas de cilindro.

### 6.1 Combustível

Existem equipamentos, como o equipamento on-line: CatGuard (NanoNord) desenvolvidos para monitorar a tendência do nível de “cat fines” no combustível. Baseado em tais conhecimento, cabe ao operador agir e proteger o motor contra o aumento do desgaste.

Resumo dos pontos importantes em relação ao monitoramento a bordo de falhas relacionadas a “cat fines”:

1. No caso de suspeita de um desgaste por “cat fines”, o primeiro passo deve ser melhorar a limpeza do combustível.
2. Verificar o combustível para “cat fines” em intervalos regulares (min a cada 4 meses), se o combustível abastecido contém mais de 25 ppm (Al + Si). Atuar nos resultados obtidos.
3. Usar as ferramentas de análise a bordo para verificar a condição do cilindro:
  - alta quantidade de ferro (Fe) no dreno do óleo de cilindro significa alto desgaste.
  - Inspeções nas janelas de admissao e medições de desgaste mostrarão se o motor está sujeito ao desgaste.
  - Exame da superfície da camisa.

O CatGuard da NanoNord é um sistema online para monitorar a quantidade de “cat fines” no combustível. Dependendo do tipo de sistema, pode ser conectado em uma ou mais posições do sistema de combustível. Por exemplo, antes do motor, antes e depois do separador, etc.

A figura abaixo mostra um esquema do sistema de combustível a bordo sendo monitorado pelo CatGuard com quatro pontos de amostragem automáticos e um manual. Com tal instalação, é possível descobrir a fonte de um problema de alta concentração de “cat fines” realizando comparações de medições em diferentes locais de amostragem.

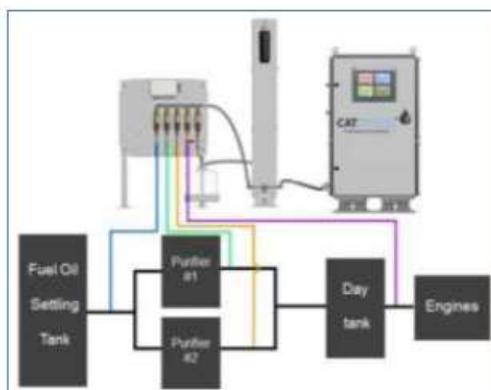


Figura 17 Esquema de monitoramento de "cat fines" pelo CatGuard

Desde 2012, vários sistemas CatGuard foram envolvidos em extensivos testes e têm, continuamente, fornecido medições confiáveis de “cat fines”. Como o CatGuard oferece leituras on-line de níveis de “cat fines”, os tripulantes possuem a ferramenta necessária para gerenciá-los.

A figura abaixo mostra 6 meses de dados coletados pelo CatGuard de uma instalação em operação na entrada do separador e na entrada do motor principal. A concentração de “cat fines” do óleo pesado abastecido era na faixa de 30 mg / kg.

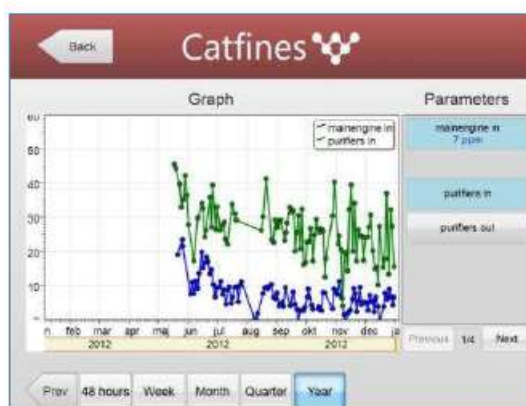


Figura 18 Quantidade de "cat fines" medidas durante 6 meses na entrada do separador e entrada do motor principal

Nesse caso, a tripulação usou o CatGuard para melhorar a eficiência do separador e implementar melhorias no sistema de limpeza de combustível. Assim, o conteúdo de “cat fines” no motor principal foi reduzido, com sucesso, de cerca de 15 mg / kg em Junho a cerca de 5 mg / kg em média após agosto.

## 6.2 Condição do cilindro

A otimização da lubrificação e melhoria da condição do cilindro depende os operadores monitorem e atuem de acordo com as informações obtidas.

As principais ferramentas de análise para verificar a condição do cilindro são:

- análise do dreno óleo lubrificante do cilindro;
- inspeções nas janelas de admissão,
- Examinar e medir a superfície da camisa.

### 6.2.1 Análise do dreno do óleo de cilindro

Durante a operação normal, o óleo lubrificante do cilindro é injetado no mesmo (através das piteiras) e o óleo usado, é drenado para a parte inferior da camisa e descarregada para um tanque de resíduo.

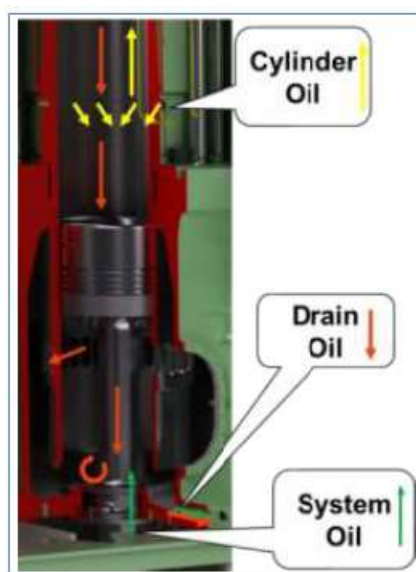


Figura 19 Esquema de lubrificação na câmara de combustão

O óleo lubrificante usado do cilindro pode ser coletado a partir do dreno das janelas de inspeção. A análise desse óleo mostra se o cilindro está dentro das condições normais de operação, se não estiver, ações devem ser tomadas. Tais ações podem ser: baixa a vazão de óleo lubrificante de cilindro, baixar ou aumentar o BN (base number) do óleo de cilindro, remover “cat fines” do combustível, etc.

A análise do dreno do óleo de cilindro indicará a condição do cilindro principalmente pelo seu valor BN (base number) e o teor de ferro (Fe). A avaliação deve basear-se na combinação de ambos, BN e Fe, a fim de determinar ações adequadas.

### **Avaliação do nível corrosivo**

O BN na amostra do dreno do óleo de cilindro é uma indicação da capacidade remanescente para neutralizar os ácidos. Um valor baixo de BN indica que o óleo está perto da oxidação e, portanto, não pode proteger o motor do ácido. Um alto valor pode indicar que a taxa de alimentação do óleo lubrificante do cilindro está muito alta ou o BN no óleo aplicado é muito alta e o risco de acúmulo de depósitos pode aumentar.

### **6.2.2 Inspeção das janelas de admissão**

Esta inspeção visual através das janelas de admissão fornece informações úteis sobre a condição dos cilindros, pistões e anéis de pistão. Inspeções regulares podem detectar se há mudanças na condição do cilindro. Essas inspeções, geralmente, são realizadas duas vezes por mês.

Quando as condições de serviço boas e estáveis forem alcançadas, as superfícies de trabalho dos pistões, das camisas não apresentarão arranhões, os anéis se moverão livremente nos escartéis e estarão lubrificados, intactos e não desgastados.

### **6.2.3 Medição do desgaste**

Como parte das inspeções regulares do motor, a tripulação deve medir o desgaste da camisa, dos anéis do pistão e dos escartéis. As medições de desgaste devem ser armazenadas no sistema de manutenção da embarcação. Recomenda-se analisar o desgaste para avaliar se os processos de lubrificação e purificação de combustível são adequados. Além disso, com base em várias medições a vida útil dos componentes pode ser avaliada e a revisão ser planejada.

O desgaste por “cat fines” tem um aumento súbito nas taxas de desgaste do revestimento, dos anéis do pistão e dos escartéis. Na figura abaixo, temos um esquema de desgaste linear e em casos na presença de “cat fines”.

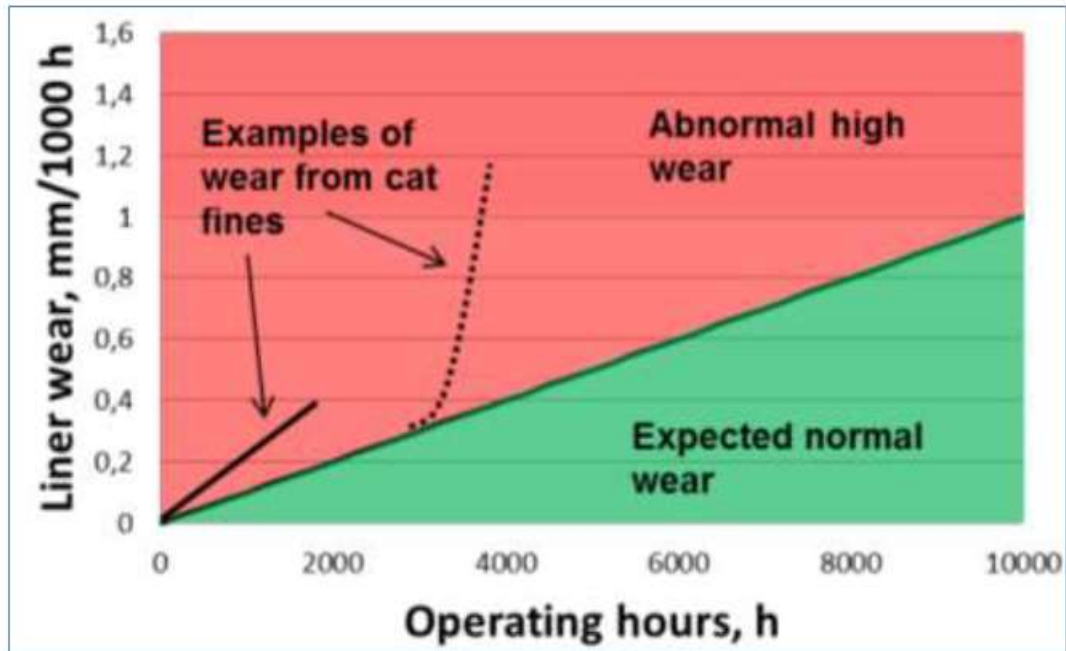


Figura 20 Esquema de desgaste linear e com presença de "cat fines"

#### 6.2.4 Inspeção da superfície da camisa

Recomenda-se avaliar a condição da superfície da camisa durante a revisão do cilindro. Uma superfície de revestimento saudável aparece visualmente sem brilho com ligeiras marcas de desgaste. Superfícies de revestimento sujeitas a desgaste de "cat fines" terão arranhões, e quando examinados sob microscópio, os "cat fines" aparecerão nas lamelas de grafite.

A experiência demonstrou que as camisas dos cilindros que exibem desgaste normal/ baixo, apresentam um número limitado de "cat fines" nas lamelas de grafite (menos de 200 finos de gato / cm<sup>2</sup>), enquanto as camisas sujeitas a alto desgaste de "cat fines", mostram um alto número nas lamelas de grafite.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O assunto abordado no trabalho é de grande importância para o trabalho a bordo, visto que, com tais conhecimentos, é possível evitar problemas futuros. Foi amplamente abordado o que são os “cat fines” (partículas abrasivas que aceleram grandemente o processo de desgaste do motor) e como podemos eliminar essas partículas presentes no óleo combustível pesado.

Foi vista a influência que tais partículas na operação e na manutenção dos motores e dos sistemas de limpeza de combustível. Analisamos e discutimos os parâmetros a serem analisados e observados para termos uma alta eficiência de purificação, como vazão, temperatura do óleo, diferença de densidade, etc. Além disso, foi abordado as inspeções que podemos fazer no motor a fim de avaliar a influência da presença de “cat fines” no desgaste.

Dito isso, ficou claro a importância do alinhamento do conhecimento teórico e prático a bordo, a fim de solucionar e prever problemas, até mesmo antes deles aparecerem. Espero que esse trabalho sirva de referência para estudos futuros, tanto de iniciantes como veteranos de profissão, principalmente aqueles que irão trabalhar com motor de dois tempos que consome óleo combustível pesado.

## REFERÊNCIAS

[https://iumi.com/images/documents/JHC\\_Catfines\\_Pack.pdf](https://iumi.com/images/documents/JHC_Catfines_Pack.pdf) - Acessado em 12/06/2019

ISO 8217: Petroleum products – Fuels (class F) – Specifications of marine fuels. Latest edition:2017 Acessado em 12/06/2019

MAN Diesel & Turbo Service Letter: SL2016-615 Fuel Oil Backflushing Filter Acessado em 12/06/2019

MAN Diesel & Turbo Service Letter: SL2017-640 Fuel Oil Cleaning – Removal of Abrasive Particles Acessado em 14/06/2019

CIMAC Recommendation 25: Recommendations concerning the design of heavy fuel treatment plants for diesel engines Acessado em 14/06/2019

CIMAC Guideline: Filter treatment of residual fuel oils. 2015 Acessado em 16/06/2019

IACS Recommendation 151, July 2017: Recommendation for petroleum fuel treatment systems for marine diesel engines Acessado em 17/06/2019

MAN Diesel & Turbo Service Letter: SL2017-638: Cleaning of Heavy Fuel Oil and Maximum 0.10% Sulphur Fuels – How to remove cat fines Acessado em 17/06/2019

Marine diesel engines, catalytic fines and a new standard to ensure safe operation. Separation Performance Standard. Alfa Laval, BP Marine and MAN B&W Diesel Acessado em 17/06/2019

Onboard Fuel Oil Cleaning, the ever neglected process How to restrain increasing Cat-fine damages in two-stroke Marine Engines. Henrik Rolsted, MAN Diesel and Turbo, Denmark.

Charlotte Rojgaard, DNV Petroleum Services, Singapore. Ole Jensen, NanoNord, Denmark.  
Mats Englund, Alfa Laval, Tumba AB, Sweden. CIMAC congress 2013, Shanghai Acessado  
em 18/06/2019

[https://marine.man-es.com/docs/librariesprovider6/marketing-publications/catfines-  
paper/catfines-paper-5510-0207-00-web.pdf?sfvrsn=1c10fda2\\_4](https://marine.man-es.com/docs/librariesprovider6/marketing-publications/catfines-paper/catfines-paper-5510-0207-00-web.pdf?sfvrsn=1c10fda2_4) – Acessado em 10/06/2019

<http://www.nanonord.dk/media/1134/onboard-fuel-oil-journal.pdf> - Acessado em 07/06/2019