

MARINHA DO BRASIL

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA – CIAGA

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA

Renato Nogueira Cavalcante

**A CONTAMINAÇÃO DE SISTEMAS DE ÓLEO COMBUSTÍVEL
EM EMBARCAÇÕES OFFSHORE:**

Causas, efeitos, tratamento, purificação e filtragem do óleo diesel.

RIO DE JANEIRO

2020/1

Renato Nogueira Cavalcante

**A CONTAMINAÇÃO DE SISTEMAS DE ÓLEO COMBUSTÍVEL
EM EMBARCAÇÕES OFFSHORE:**

Causas, efeitos, tratamento, purificação e filtragem do óleo diesel.

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 necessários à obtenção do
Certificado de Competência Regra III/2
de acordo com a Convenção STCW 78
emendada.

Orientador: **Elizabeth Fátima Lourenço
Borges**

RIO DE JANEIRO

2020

Renato Nogueira Cavalcante

**A CONTAMINAÇÃO DE SISTEMAS DE ÓLEO COMBUSTÍVEL
EM EMBARCAÇÕES OFFSHORE:**

Causas, efeitos, tratamento, purificação e filtragem do óleo diesel

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 necessários à obtenção
do Certificado de Competência Regra III/2 de
acordo com a Convenção STCW 78
emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador:

Assinatura do Orientador

Assinatura do Aluno

Dedico esse trabalho à minha família
que foi minha base para que eu
atravessasse os momentos difíceis e
chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me proporcionou todas as oportunidades para que eu chegasse até aqui e a todos os profissionais que de alguma forma contribuíram na formação do meu conhecimento e experiência.

RESUMO

Este estudo aborda a contaminação dos sistemas de óleo combustível (diesel) em embarcações offshore, analisando suas causas e abordando os efeitos decorrentes dessa contaminação nos diesel geradores necessários para a alimentação dos quadros elétricos de bordo. Além de tratar das possíveis soluções para eliminar a contaminação do óleo diesel através dos sistemas de sedimentação, drenagem, filtragem e purificação, abordando também boas práticas de praça de máquinas para o gerenciamento adequado do sistema de combustível, com o propósito de otimizar a operação e reduzir os custos.

Palavras-chave: Causas. Efeitos. Purificação. Filtragem. Óleo diesel.

ABSTRACT

This study addresses the contamination of fuel oil (diesel) systems in offshore vessels, analyzing its causes and addressing the effects resulting from this contamination in the diesel generators needed to supply the on-board electrical panels. In addition to addressing possible solutions to eliminate contamination of diesel oil through sedimentation, drainage, filtration and purification systems, it also addresses good engine room practices for the proper management of the fuel system, in order to optimize the operation and reduce costs.

Key-words: Causes. Effects. Purifying. Filtering. Diesel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS

- Figura 1:** Corrosão microbiologicamente influenciada.
- Figura 2:** Navio Tanque.
- Figura 3:** Resíduos de carbonização.
- Figura 4:** *Amerstat 25 da Wilhemsen.*
- Figura 5:** *Diesel power biocontrol da Unitor.*
- Figura 6:** *Laval turbine, 19th century.*
- Figura 7:** Purificador.
- Figura 8:** Engrenagem de dentes retos.
- Figura 9:** *Centrifugal Separation.*
- Figura 10:** Excesso de borra acumulada.
- Figura 11:** *A felt-type fine filter.*
- Figura 12:** *Duplex Filter.*
- Figura 13:** *Duplex with butterfly valve switching.*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.	10
Objetivo Geral.	11
Objetivo Específico.	11
Justificativa.	11
Metodologia Do Trabalho.	11
1. Propriedades do óleo diesel.	12
2. A contaminação do óleo diesel.	16
3. Problemas decorrentes da contaminação.	18
5. A purificação do óleo diesel.	22
6. A filtragem do óleo diesel.	31
7. Bibliografia.	34

INTRODUÇÃO

A qualidade do combustível é um fator determinante para conservar a saúde do sistema de combustível. Um combustível de baixa qualidade entrando e saindo dos tanques de armazenamento e serviço podem levar ao desgaste prematuro dos componentes do sistema de injeção.

Dessa forma, é de fundamental importância prestar atenção e cuidado com os tanques de armazenamento e serviço, desde o abastecimento da embarcação onde se começam os cuidados com o sistema, até o consumo do combustível pelos diesel geradores de bordo. Estudos revelam que a contaminação do sistema de combustível tem três origens mais comuns, que são a contaminação pela água, por micropartículas suspensas no combustível e o uso de combustível misturado. Abordaremos neste estudo, as propriedades do óleo diesel, a contaminação por água e micropartículas, apenas, sendo essas as partes mais relevantes para o óleo diesel marítimo voltado para embarcações offshore no Brasil, além disso, também serão abordados os impactos provenientes dessa contaminação, bem como as possíveis soluções que possam trazer maior confiabilidade à operação, maior disponibilidade dos equipamentos e menor custo com reparos devido a desgastes prematuros e trocas de filtros por saturação prematura que são muito comuns em sistemas contaminados. Será explicado também o processo de purificação do óleo diesel, desde as partes da centrífuga até o funcionamento do processo e por fim será abordado a filtragem do óleo diesel, métodos de filtragem e sua importância.

OBJETIVO GERAL

Produzir material científico que auxilie oficiais de máquinas no gerenciamento de sistemas de combustível.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Compilar os conhecimentos sobre o gerenciamento de combustível a bordo, buscando maiores intervalos de manutenção e redução de custos.

JUSTIFICATIVA

A contaminação do diesel gera o desgaste prematuro dos componentes do sistema de combustível e a saturação prematura dos filtros provocando sua deterioração e o desenvolvimento de colônias de bactérias, trazendo uma redução na confiabilidade da operação, gerando aumento dos custos, com menores intervalos de manutenção. O tratamento, purificação e filtragem do combustível visam trazer confiabilidade para a operação e intervalos maiores de manutenção, gerando redução de custos.

METODOLOGIA DO TRABALHO

Os dados serão coletados através da leitura, interpretação e análise da bibliografia citada.

Será realizado pesquisa por meio da construção descritiva baseada em referências bibliográficas.

1. Propriedades do óleo diesel.

1.1. O número de cetano.

O número de cetano mede o retardo de ignição de um combustível diesel. Quanto mais curto o intervalo entre o tempo em que o combustível é injetado e o tempo em que ele começa a queimar, obtemos um número de cetano mais alto. Esse número mede a facilidade com que o combustível pode ser queimado e é mais significativo na partida à baixa temperatura, aquecimento, ponto morto e lento, e na combustão uniforme. As exigências do número de cetano dependem do desenho e do tamanho do motor, da natureza da velocidade, das variações de carga, das condições da partida e da atmosfera (EASTLACK, 2011). O número de cetano é medido em um motor de teste de cilindro único, com uma taxa de compressão variável. Os combustíveis de referência usados são misturas de cetano, que tem um retardo de ignição muito curto, e alfa metil naftaleno, que tem um retardo de ignição longo. A importância do número de cetano é bastante evidente, uma vez que o número de cetano usualmente causa um retardo na ignição no motor. Este retardo causa dificuldades na partida e trava do motor. O retardo da ignição também causa pouca economia de combustível, perda de força e às vezes danos ao motor. Um combustível com número de cetano baixo pode causar fumaça branca e odor na partida, nos dias mais frios. A fumaça de exaustão branca, que é composta por vapores de combustível e aldeídos criados pela combustão incompleta do motor. O retardo da ignição sob clima frio é frequentemente a causa. Não há calor suficiente na câmara de combustão para queimar o combustível e, sendo assim, este não queima completamente (EASTLACK, 2011).

Os motores a diesel cujas velocidades são abaixo de 500 rpm são classificados como motores de velocidade lenta; de 500 a 1200 rpm como motores médios e de mais de 1200 rpm como de alta velocidade. Os combustíveis diesel típicos têm números de cetano de 40 na faixa de baixo a médio. Estes são geralmente satisfatórios para motores de alta velocidade enquanto que os motores de velocidade baixa e média usam combustíveis com

número de cetano mais baixos. Algumas refinarias têm usado aditivos tais como o hexilnitrato ou amilnitrato, para aumentar os números de cetano (EASTLACK, 2011).

1.2. Volatilidade.

A característica de destilação do combustível descreve sua volatilidade. Um combustível perfeitamente projetado tem a proporção ótima de componentes de baixa ebulição para fácil partida fria e rápido aquecimento e componentes mais pesados que proporcionam economia de força e combustível quando o motor atinge a temperatura de operação. Tanto a volatilidade alta demais quanto a baixa demais podem causar o aparecimento de fumaça, depósitos de carbono e diluição de óleo devido ao efeito na injeção e vaporização do combustível na câmara de combustão. Os pontos 10, 50 e 90% são os principais controles de volatilidade. O Padrão Geral Canadense 2-3.6M81 permite um ponto 90% de 360°C para o combustível diesel tipo B e ponto máximo de 90% de 290° para o combustível diesel tipo A.

As exigências de volatilidade do combustível também dependem do desenho e tamanho do motor, da natureza das variações de velocidade e carga, e das condições de partida e atmosféricas. Para um motor em serviços que envolvam cargas e velocidades flutuando rapidamente, os combustíveis mais voláteis proporcionam um desempenho melhor, particularmente com respeito à fumaça e odor. Entretanto, uma melhor economia de combustível é geralmente obtida a partir dos tipos mais pesados de combustível devido a seu teor mais elevado de energia (EASTLACK, 2011).

1.3. Viscosidade.

Viscosidade é uma medida da resistência de um fluido ao escoamento. Uma viscosidade elevada significa que o combustível é espesso e não escoa com facilidade. Um combustível com viscosidade impróprio (muito alta ou baixa demais) pode causar danos ao motor e ao sistema de combustão. O combustível com alta viscosidade aumenta o desgaste do trem de engrenagens do eixo de comando de válvulas e da placa de pressão no conjunto da bomba de combustível devido à pressão de injeção mais elevada. O combustível atomiza

com menos eficiência e o motor fica mais difícil de dar a partida (EASTLACK, 2011).

O combustível de baixa viscosidade não proporciona a lubrificação adequada dos êmbolos, cachimbos e injetores, e seu uso deve ser avaliado cuidadosamente. A viscosidade do combustível afeta a atomização e a taxa de distribuição do combustível. A viscosidade do combustível diesel é normalmente especificada a 40°C. Os combustíveis com viscosidades acima de 5,5 centistokes a 40° são limitados ao uso em motores de baixa velocidade, e podem exigir preaquecimento para injeção. O CGSB tem uma faixa de viscosidade de 1,30-3,60 para o combustível Tipo A, enquanto que a faixa é de 1,70-4,10 para o combustível Tipo B. Para alguns motores, é vantajoso especificar uma viscosidade mínima, devido à perda de força devido à bomba de injeção e vazamento do injetor. A viscosidade máxima, por outro lado, é limitada por considerações envolvidas no desenho e tamanho do motor, à temperatura do combustível e às características do sistema de injeção (EASTLACK, 2011).

1.4. Lubricidade do combustível.

Alguns processos usados para dessulfurizar o combustível diesel, se forem severos o bastante, podem também reduzir as qualidades de lubrificação naturais do combustível diesel. Como os motores exigem que o combustível diesel aja como um lubrificante para seus sistemas de injeção, o combustível diesel deve ter lubricidade suficiente para dar a proteção adequada contra o desgaste excessivo do sistema de injeção. Aham-se disponíveis aditivos que podem melhorar a lubricidade do combustível diesel, entretanto esses aditivos podem ter efeitos colaterais indesejáveis quando usados em concentrações excessivas ou em combinação com outros aditivos (EASTLACK, 2011).

1.5. Ponto de Inflamação (*Flash Point*).

O ponto de inflamação é determinado aquecendo-se o combustível em uma pequena câmara hermética até os vapores entrarem em ignição quando uma pequena chama é passada sobre a superfície do líquido. A temperatura do combustível nesse ponto é o ponto de inflamação, ou ponto de fulgor. O ponto de inflamação de um combustível diesel não tem relação com seu desempenho em um motor, nem em suas qualidades de auto-ignição. Ele tão somente

proporciona uma checagem útil sobre os contaminantes suspeitados tais como gasolina, pois uma pequena proporção de gasolina, digamos, de 0,5%, pode diminuir muito marcadamente o ponto de inflamação do combustível. Os regulamentos de transporte por navio, armazenagem e manejo estabelecem um ponto de inflamação mínimo de 40°C. Este é um aspecto muito importante relacionado às exigências legais (tais como os regulamentos de Transporte de Mercadorias Perigosas (TDG) e às precauções de segurança envolvidas no manejo e armazenagem, sendo exigido cumprir as normas de segurança e incêndio (EASTLACK, 2011).

1.6. Teor de enxofre.

O enxofre presente no combustível diesel pode causar a formação de depósitos na câmara de combustão, corrosão do sistema de exaustão e desgaste dos pistões, anéis e cilindros, particularmente às temperaturas da camisa de água. A tolerância ao enxofre por um motor depende do tipo do mesmo, do tipo de serviço e do óleo lubrificante utilizado (EASTLACK, 2011).

1.7. Resíduos de carbono.

O resíduo de carbono dá uma medida das tendências de deposição de carbono de um combustível diesel após a evaporação e a pirólise sob as condições prescritas. Embora não se correlacionem diretamente aos depósitos nos motores, esta propriedade deve ser considerada como um guia (EASTLACK, 2011).

1.8. Cinza.

O material formador de cinzas pode estar presente no combustível diesel de duas formas: (1) sólidos abrasivos e (2) sabões metálicos solúveis. Os sólidos abrasivos contribuem para o desgaste do injetor, bomba de combustível, pistão e anel, e também para os depósitos do motor. Os sabões metálicos solúveis têm pouco efeito no desgaste, mas podem contribuir para os depósitos no motor (EASTLACK, 2011).

1.9. Acidez.

A acidez do combustível diesel, se não for controlada, pode causar má estabilidade do combustível, corrosão do aço doce, e formação de depósito em alguns tipos de equipamento de injeção de combustível (EASTLACK, 2011).

1.10. Condutividade elétrica.

A capacidade de um combustível dissipar a carga elétrica que tenha sido gerada durante as operações de bombeamento e filtragem é controlada por sua condutividade. Se a condutividade de um combustível for suficientemente alta, a carga eletrostática se dissipa rápido o bastante para evitar seu acúmulo e potenciais elétricos perigosamente elevados serão evitados (EASTLACK, 2011).

1.11. Estabilidade térmica.

A transferência de calor é uma função do projeto de combustíveis diesel em muitos motores diesel modernos. Somente uma parte do combustível que é circulado e pressurizado pelo sistema de injeção de combustível é realmente queimada. O restante do combustível é reciclado voltando ao tanque de combustível. A temperatura bruta do combustível pode estar bem acima dos níveis do ambiente. A estabilidade da alta temperatura de um combustível diesel pode resultar na formação de produtos de degradação insolúvel que podem causar obstrução dos filtros (EASTLACK, 2011).

Sob temperaturas mais frias, a reciclagem de combustível aquecido de volta para um tanque de combustível mais frio, pode causar problemas de condensação, que podem levar ao aumento da mistura livre no combustível. Este problema pode levar à obstrução dos filtros e precisar da manutenção de frequência mais alta do filtro separador ou dos drenos (EASTLACK, 2011).

2. A contaminação do óleo diesel.

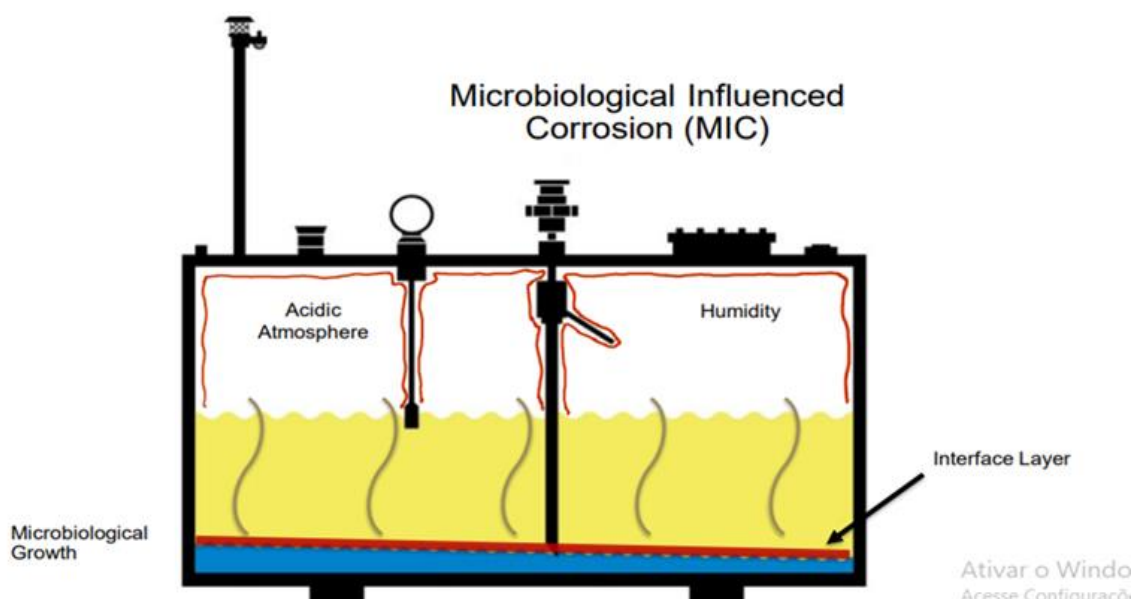
A principal forma de contaminação se dá pela água proveniente da condensação que ocorre dentro dos tanques de armazenamento que são expostos a variação de temperatura durante o dia, sendo expostos a temperaturas altas durante o dia e baixas durante a noite. Outra forma de contaminação é quando o combustível fornecido não é de qualidade reconhecida

e pode estar potencialmente contaminado por água. A presença de água também pode ocorrer da limpeza inadequada dos tanques, não removendo toda a água de seu interior ao final da limpeza.

O acúmulo de água dentro do tanque, por qualquer dos motivos descritos, gera um ambiente propício para a proliferação de colônias de bactérias, a chamada contaminação microbiana, que ocorre por leveduras, bactérias e bolores.

Uma colônia de bactérias pode se multiplicar rapidamente, levando em média 30 minutos para dobrar de tamanho, sendo que em 7 horas, uma célula pode se multiplicar em 2 milhões. No gerenciamento do sistema de combustível deve se estar atento ao drenar os tanques de armazenamento para a presença de mau cheiro, isso pode ser proveniente da proliferação de bactérias no sistema, que com o passar do tempo degradam a qualidade do combustível.

Figura 1: corrosão microbiologicamente influenciada.



Fonte: Internet.¹

A contaminação por micropartículas geralmente ocorre por meio de tampas mal vedadas ou esquecidas abertas como a tampa do tubo de sondagem do tanque ou pelos seus suspiros que podem estar com a tela de vedação danificada ou mesmo passando por processo de corrosão, o que é muito comum por estarem localizados no convés das embarcações sujeitos às intempéries

¹ Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 20/11/2020.

climáticas. A corrosão também pode estar ocorrendo dentro dos tanques de armazenamento se eles não tiverem passado pelo tratamento adequado ao armazenamento do óleo durante o comissionamento da embarcação.

Filtros inadequados também podem gerar partículas quando desgastados ficando incapazes de barrar a passagem de partículas abrasivas ou até mesmo rasgar devido a saturação, quando empregado material de baixa qualidade no processo de fabricação dos mesmos.

3. Problemas decorrentes da contaminação.

Existem diversos problemas que afetam os motores decorrentes da contaminação já descrita nesse estudo. Destacaremos a seguir os problemas mais relevantes.

O combustível contaminado ao chegar no sistema de combustível do motor primeiramente irá causar a saturação prematura dos filtros, tanto primários quanto secundários. Essa saturação leva a dificuldades no fluxo do combustível, e também reduz a capacidade de retenção de partículas dos filtros. Isso acarretará primeiramente um intervalo menor de troca desses filtros uma vez que a redução no fluxo de combustível irá reduzir a pressão de óleo diesel no motor e ao chegar na pressão mínima será necessária uma intervenção para substituição dos filtros e reestabelecer o fluxo correto.

Uma vez que devido a saturação os filtros já não executam seu trabalho com eficiência a contaminação se estende por todo o sistema gerando o desgaste de componentes como a bomba injetora, isso porque a água no óleo diesel é responsável pela criação de bactérias e fungos, como já mencionado e aos poucos provocam a corrosão e seu desgaste interno deixando a bomba desregulada. Isso acarreta no aumento do consumo de combustível e excesso de fumaça proveniente da combustão, que podem indicar a possibilidade de avaria no sistema.

Essa contaminação também afeta os bicos de injeção, uma vez que ela provoca a corrosão e entupimento dos bicos, afetando a potência média indicada do cilindro em questão o que fatalmente afetará a potência efetiva do motor. Isso começa a ser evidenciado à medida que a máquina passa a perder torque na

ponta do eixo com a consequente redução do seu desempenho e não havendo adequada intervenção, acarretará na falha do equipamento.

Figura 2: Bico Injetor.



Fonte: Internet.²

Passando dos bicos temos a queima do combustível contaminado, a fumaça proveniente dessa queima com micropartículas, ao se chocar com outros componentes do motor como válvulas de admissão, camisa do cilindro, anéis do pistão, e pistão, gerando o desgaste prematuro deles.

Após a combustão a queima do diesel contaminado acaba também por contaminar o óleo lubrificante em todo o carter, isso prejudicará todos os componentes que são lubrificados como vira-brequins, biela e tucho.

O óleo lubrificante contaminado por resíduos de carbonização prejudicará a lubrificação das partes móveis do motor causando avarias e também

² Disponível em: www.riceweightloss.com. Acesso em: 25/12/2020.

contribuirá com a perda das características físico-químicas do mesmo, necessitando dessa forma, de um processo de purificação e filtragem mais intenso, havendo a necessidade, muitas das vezes, da substituição prematura deste óleo o que é extremamente oneroso.

Desse modo, podemos concluir o quão prejudicial é, a queima de óleo diesel contaminado nos motores. Além de gerar a perda de produtividade, essa queima provoca aumento do consumo, bem como, gastos excessivos com a manutenção, com intervalos menores de troca de filtros e paradas não planejadas para substituição de componentes do sistema combustível tal como bomba injetora e bicos.

Figura 3: Resíduos de carbonização.



Fonte: Internet.³

4. O tratamento do combustível.

Os cuidados com o combustível devem ser tomados antes mesmo do abastecimento. Existem produtos na indústria que evitam o crescimento de colônias de bactérias nos tanques de óleo diesel, usualmente também são adotadas práticas para evitar o acúmulo de água em tanques de sedimentação e serviço. Dentre os produtos que realizam esse tratamento podemos destacar o Amerstat 25 da Wilhemsen e o Diesel power biocontrol da Unitor.

O tratamento do combustível é altamente eficaz para fornecer o controle total contra a biodegradação do combustível em tanques de armazenamento e linhas de combustível, reduzir a corrosão do sistema e entupimento resultante

³ Disponível em: < <https://www.canaldapecca.com.br/>>. Acesso em: 21/10/2020

da infestação. A principal diferença entre esses produtos é a dosagem, sendo a dosagem de manutenção do Amerstat 25 (Figura 4), 1 litro do produto para cada 25000 litros de óleo diesel adicionados ao tanque, já para o *Diesel power biocontrol* (Figura 5) a dosagem é 1 litro para cada 5000 litros de combustível adicionado ao tanque.

Figura 4: *Amerstat 25 da Wilhemsen.*



Fonte: Internet.⁴

Figura 5: *Diesel power biocontrol da Unitor.*

⁴ Disponível em: <
<file:///C:/Users/User/Downloads/DIESELPPOWER%20BIOCONTROL%2025%20LTR.pdf>>.
Acesso em: 19/11/2020.



Fonte: Internet.⁵

A recomendação é que o produto seja adicionado ao sistema antes do abastecimento respeitando as proporções, pois ao receber o diesel no tanque ocorrerá a mistura do produto ao diesel adicionado.

Há também práticas de praça de máquinas que colaboram para evitar o acúmulo de água e de resíduos no tanque, que é a drenagem periódica dos tanques de serviço e sedimentação removendo a água presente nele e a filtragem do óleo durante a transferência entre tanques utilizando um filtro de malha fina na aspiração da bomba de transferência.

5. A purificação do óleo diesel.

5.1. O processo.

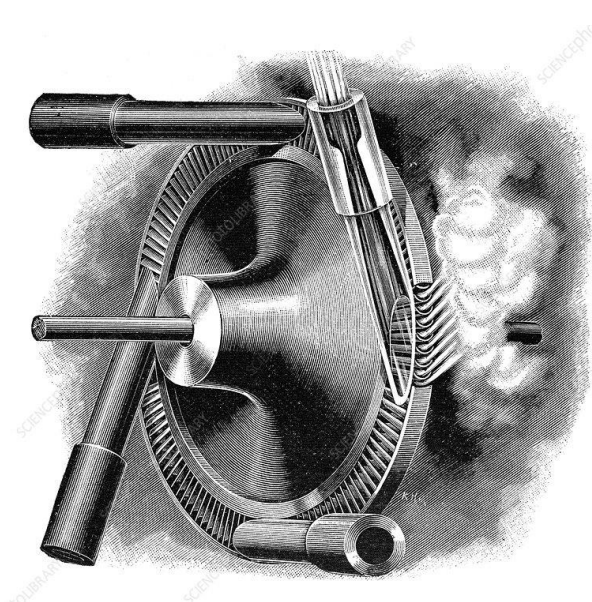
Esse processo é o tipo de separação líquido-líquido no qual o equipamento é usado para separar dois líquidos misturados e não solúveis, ou seja, líquidos não miscíveis e que possuam densidades diferentes através da força centrífuga. No caso da existência também de sólidos com peso específico superior, misturados com o líquido pode ocorrer a separação simultânea dos sólidos junto e líquidos. Esses equipamentos são chamados de purificadores ou separadores centrífugos.

5.2. História.

⁵ Disponível em: <https://extraden.ru/products/dieselpowermar71>. Acesso em: 19/11/2020.

A primeira aparição, de que se teve notícia de um equipamento que usasse o princípio de separação de sólidos em líquidos pela força centrífuga, data por volta de 1864, onde o sueco GUSTAF DELAVAL criou um dispositivo chamado de SPIN FLOWER, que era composto de três tubos de plástico rígido com uma defasagem de 120 graus de ângulo entre si por uma visão superior e de 45 graus em relação a uma visão horizontal. Esses tubos foram acoplados em um eixo de uma máquina rotativa com controle de velocidade e colocado um fluido (água) qualquer com uma partícula A de menor de menor densidade que a água e uma partícula B de maior densidade que a água. A partícula A, é mais leve que a água e a partícula B é mais pesada que a água. Esse equipamento quando está parado, tem somente a força da gravidade atuando sobre as partículas. A partícula A por ser mais leve que a água ficará em suspensão na superfície do líquido enquanto a B por ser mais pesada que a água, vai para o fundo dos tubos. Ao ser colocado o equipamento em funcionamento e o mesmo atingindo uma certa velocidade específica, a partícula B que antes estava no fundo do tubo, começará a se movimentar para as extremidades, enquanto a partícula A fará o caminho inverso. Após a observação desse experimento cujo as partículas com o equipamento em rotação fazem caminhos diferentes, o Sr DELAVAL, comprovou que a força centrífuga sobrepõe a força da gravidade, com isso, ele criou o dispositivo que ficou conhecido por DELAVAL, que usando a força centrífuga é possível fazer a retirada de partículas com densidades diferentes dos óleos combustíveis e lubrificantes que usamos a bordo.

Figura 6: *Laval turbine, 19th century.*



Fonte: Internet.⁶

5.3. Aplicações dos purificadores.

Os purificadores centrífugos são equipamentos rotativos, muito utilizados na indústria alimentícia, em laboratórios de exames e pesquisa, na indústria naval, seja em navios, de guerra ou mercante e em plataformas. Esses equipamentos tem uma importância vital no que diz respeito a purificação e clarificação de fluidos como: óleos minerais, óleos vegetais, óleos lubrificantes, sangue e leite. São equipamentos impulsionados por motores elétricos de alta rotação, acoplamento por correia e giram em rotações acima de 10 mil rpm. Eles são baseados no princípio físico da força centrífuga, onde os elementos que estão em suspensão em fluidos não solúveis e por uma diferença de densidade, a força centrífuga, tende a deslocar os corpos em suspensão para as extremidades do *BOWL*.

A principal função desses equipamentos a bordo é de purificar ou separar as impurezas, água e borras encontradas nos óleos combustíveis. Para que isso seja feito de forma eficiente, o óleo a ser tratado, tem que passar pelo processo de estocagem, sedimentação com pré-aquecimento em ambos os casos,

⁶ Disponível em: <https://www.sciencephoto.com>. Acesso em: 28/11/2020.

reaquecimento durante o processo de purificação para ser descarregado em um tanque de serviço também com aquecimento constante.

Figura 7: Purificador.



Fonte: ⁷Internet.

5.4 Princípio de funcionamento

O princípio de separação da centrífuga de alta velocidade depende da diferença na gravidade específica de dois líquidos diferentes. Para entender, vamos pegar um tanque de decantação onde o combustível é armazenado e por causa da diferença na gravidade da água e do combustível (a água é mais pesada) a água é coletada na parte inferior do devido ao efeito da gravidade.

Matematicamente, esse processo pode ser representado por:

$$F_s = \frac{\pi}{6} \times D^3 (\rho_w - \rho_o) g$$

Onde F_s é a força de separação, ρ_w é a densidade da água, ρ_o é a densidade do óleo e “g” é a força gravitacional.

Agora, se convertermos o tanque em um objeto cônico em rotação, o fator gravitacional g será substituído pela força centrífuga $\omega^2 r$, onde ω^2 é a velocidade angular de rotação e r é o raio efetivo.

$$F_s = \frac{\pi}{6} \times D^3 (\rho_w - \rho_o) \omega^2 r$$

⁷ Disponível em: www.alfalaval.com. Acesso em: 28/11/2020.

Agora, a força de separação será muito maior na centrífuga em comparação com um tanque de sedimentação.

5.5 Construção da centrífuga de alta velocidade.

Os componentes básicos da centrífuga são os seguintes:

Estrutura externa:

A estrutura externa é normalmente feita de ferro fundido que suporta o *bowl* e as partes do disco e carrega as conexões da linha de água, linha de alimentação e linha de saída.

Bowl e discos:

Existe um *bowl* dentro da estrutura externa, que podem ser um conjunto sólido operando de forma descontínua e com espaço suficiente para reter a borra separada. Também pode haver um arranjo em que as partes superior e inferior são separadas para descarregar a borra acumulada por uma operação contínua. Essas peças são normalmente feitas de aço inoxidável de alta tensão.

Eixo vertical:

O eixo vertical é usado para transformar a saída do motor elétrico em movimento rotacional para girar o *bowl* em alta velocidade por meio de engrenagem dentada e eixo ou correia horizontal. O material usado para a construção do eixo vertical é uma liga de aço.

Bomba de engrenagem conectada:

Uma construção geral da centrífuga consiste em um eixo horizontal acionado por uma bomba de alimentação ou descarga acoplada.

Em alguns sistemas, uma bomba de alimentação externa pode ser instalada no lugar da bomba conectada.

O eixo horizontal ou acionamento por correia:

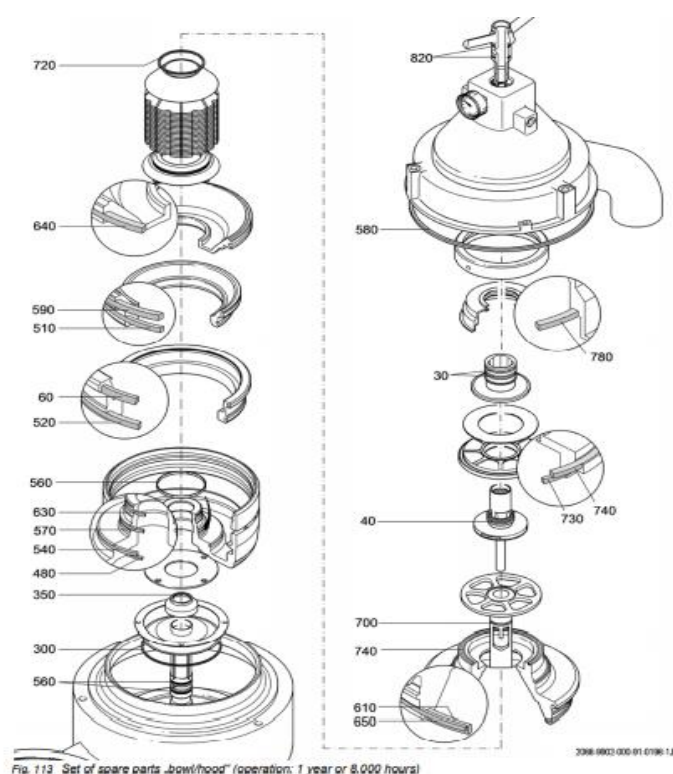
O motor elétrico aciona o eixo horizontal por meio de sapatas de embreagem e é usado para transmitir o movimento de rotação ao conjunto reservatório (*bowl*).

Um cinto especial com caráter elástico é usado em alguns modelos no lugar do eixo horizontal, eliminando assim o uso do conjunto de engrenagens. O material do eixo horizontal é uma liga especial de aço.

Engrenagem reta:

Uma engrenagem de dentes retos é colocada entre os eixos horizontal e vertical para a transferência do movimento rotacional. Essas engrenagens são fabricadas em material especial de bronze de alumínio.

Figura 8: Engrenagem de dentes retos.



Fonte:Internet⁸

Embreagem ou sapatas de fricção:

Um motor elétrico ficará sobrecarregado se for conectado diretamente ao conjunto do copo para a rotação do mesmo, pois o conjunto completo é muito mais pesado. Para evitar isso, sapatas de embreagem ou fricção e o conjunto do tambor são instalados no eixo horizontal. Normalmente, o número de sapatas varia de 2 a 4, dependendo do fornecimento de frequência ao motor.

⁸ Disponível em:< <http://brovertex.com/alfa-laval>>. Acesso em:21/11/2020.

Conforme o motor liga, as sapatas dentro do tambor se movem gradualmente devido à força centrífuga e causam atrito na parede interna do tambor, resultando na rotação do eixo e do *bowl* gradualmente sem sobrecarregar e danificar o motor e as engrenagens.

Automação:

Além das partes mecânicas, a centrífuga de última geração vem com circuito de automação completo envolvendo válvulas de três vias, detectores, monitores, transdutores, válvulas solenóides, válvulas pneumáticas etc., juntamente com um painel de controle, que garante que a centrífuga cumpra todos os critérios exigidos para o funcionamento em uma praça de máquinas não tripulada.

5.6. Tipos de centrífuga.

Normalmente existem dois tipos com base na aplicação:

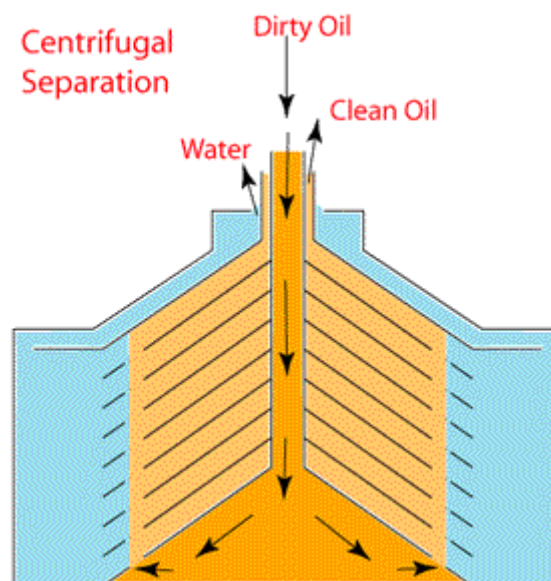
1) Purificador: quando uma centrífuga é preparada para separar dois líquidos de densidades diferentes, por exemplo, água do óleo, ela é conhecida como purificador. O principal componente do purificador é o disco de gravidade de tamanho correto ou anel de barragem, que é responsável por criar uma interface entre o óleo e a água.

2) Clarificador: quando uma centrífuga é preparada para remover apenas impurezas e uma pequena quantidade de água, é chamada de clarificador. Uma vez que é usado principalmente para aquele fluido onde a maioria das impurezas sólidas devem ser removidas, o disco de gravidade não é usado no clarificador; em vez disso, um anel de vedação é usado para manter as impurezas intactas, a menos que sejam removidas.

As operações básicas de clarificador e purificador são:

- Ele contém uma pilha de numeração de discos de até 150 e é separado um do outro por um espaço muito pequeno. Uma série de orifícios são alinhados em cada disco próximo à borda externa que permite a entrada de óleo sujo.

Figura 9: Centrifugal Ceparation.



Fonte: ⁹ Internet.

Centrífuga de alta velocidade

- Devido à diferença na gravidade e na força centrífuga, o líquido impuro mais pesado (água) e as partículas movem-se para fora e o óleo limpo mais leve flui para dentro e se separa.
- O lodo e impureza coletados podem ser descarregados continuamente ou em intervalos de tempo, dependendo da construção, automação e sistema incorporado
- Em um purificador, antes de introduzir o óleo, a vedação da água é estabelecida para que o enchimento de óleo não flua pela saída de líquido pesado
- No clarificador, não há saída de líquido pesado para descarregar a água separada, portanto, a vedação da água é desnecessária
- A taxa de alimentação e a temperatura da alimentação são extremamente importantes para a purificação. Para o óleo normal, a purificação de um estágio é suficiente, mas para o óleo que contém lama pesada ou mistura de catalisador, vários purificadores são usados em paralelo (preferencial) ou em série para obter melhores resultados

⁹ Disponível em: www.alfalaval.com. Acesso em: 28/11/2020.

- Os purificadores / clarificadores da nova idade são automaticamente removidos de lodo em um intervalo regular (pelo uso de temporizador e controladores. Um detector de descarga no lado do lodo monitora o lado do lodo e fornece um sinal de alarme se qualquer anormalidade for detectada

5.7 Fatores que influem na Separação Centrífuga

Os óleos combustíveis e lubrificantes utilizados a bordo, são misturados com diversos componentes estranhos. Esses componentes, influenciam diretamente nos processos de separação centrífuga, aumentando ou diminuindo o rendimento do equipamento.

São eles:

- Diferença de Densidade

“A força centrífuga atua sobre todas as partículas nas proporções das densidades de cada uma. Quanto maior a diferença de densidade entre os líquidos misturados e não miscíveis, tanto mais fácil a separação”.

- Tamanho e Formato das Partículas

“Quanto maior as partículas, tanto mais rápida a separação. As partículas a serem separadas não devem ser tão pequenas que se aproximem das medidas coloidais; isto é, que se aproximem, em medida, às partículas do líquido que devemos preservar. Partículas lisas e arredondadas são mais fáceis de separar do que as do formato irregular ou alongadas. A alimentação de uma separadora centrífuga, por meio de bomba centrífuga, fracionará as partículas, reduzindo-lhes o tamanho e formato, tornando mais lenta a separação e até mesmo a sua impossibilidade de separação. É bom lembrar que as bombas centrífugas trabalham num regime de escoamento TURBULENTO, isto é, funcionam como um verdadeiro triturador de partículas e, assim sendo, emulsionam a água e o óleo (mistura miscíveis)”.

- Viscosidade

“Quanto mais rápido um líquido escoar (mais fluídico for o líquido), tanto mais rápido e melhor será o processo de separação. Em outras palavras, a baixa viscosidade melhora o resultado da separação. A viscosidade pode, em muitos

casos, ser reduzida por aquecimento. A viscosidade elevada reduzirá a capacidade de separação dos líquidos através da máquina.”

- Tempo de Permanência do Líquido na Zona de Separação

“Se a separação não for satisfatória, a vazão deverá ser diminuída. Vazões menores proporcionam geralmente melhor separação.” O que pode ser obtido reduzindo a pressão de descarga da centrífuga.

5.8 A limpeza do purificador.

A limpeza do purificador, com base nos manuais de fabricantes consultados, deve ocorrer quando o operador identificar que a performance do equipamento não está a contento. A presença de água em excesso no tanque de serviço, bem como, a presença de um óleo diesel de baixa qualidade pode ser causado por uma centrífuga com excesso de borra acumulada, prejudicando a separação no *bowl*. Desta forma o operador deverá parar o equipamento e realizar a limpeza do *bowl*.

Figura 10: Excesso de borra acumulada.



Fonte:Internet¹⁰

6. A filtragem do óleo diesel.

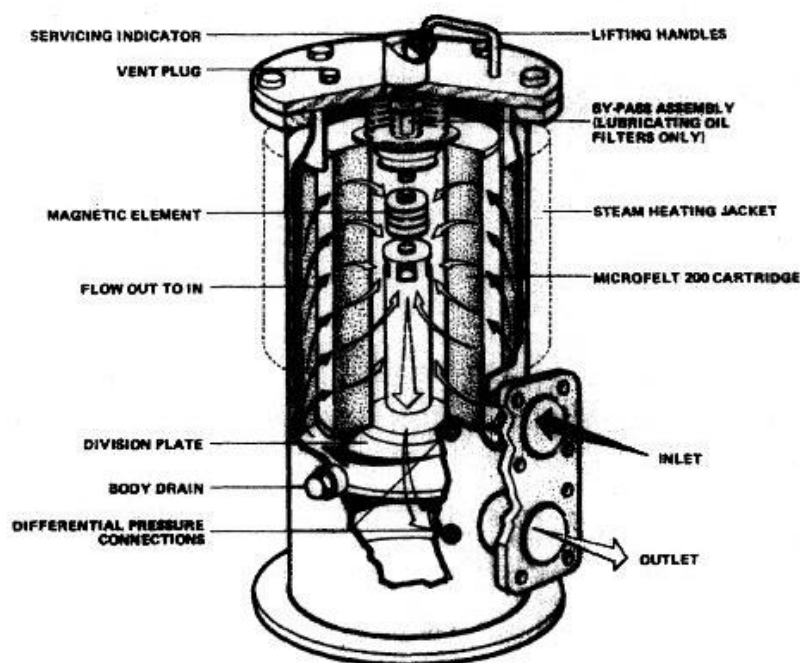
Uma parte de fundamental importância no processo é a filtragem do óleo diesel antes do consumo pelos motores. A separação mecânica de contaminantes sólidos dos sistemas de óleo (combustível e lubrificante) é obtida

¹⁰ Disponível em: < <https://www.sandersequipment.com/>>. Acesso em: 25/11/2020.

pelo uso de dois filtros. O primeiro filtro geralmente é um filtro grosso para remover as partículas contaminantes maiores. Ambos são organizados como unidades de fluxo total, geralmente montados em pares (*duplex*) com um em espera.

O filtro geralmente emprega uma tela de malha, um conjunto de placas de metal compactadas ou bobinas de arame que bloqueiam efetivamente todas as partículas, exceto as menores. Normalmente é instalado no lado da sucção de uma bomba e deve ser limpo regularmente ou quando o diferencial de pressão através dele se tornar inaceitável.

Figura 11: *A felt-type fine filter.*



A felt-type fine filter is shown in Figure

Fonte:Internet¹¹

Onde as condições de sucção forem críticas, o filtro será instalado no lado de descarga da bomba. Quando a limpeza for realizada, a outra unidade será conectada ao sistema por válvulas de mudança ou alavancas e a circulação de óleo continuará. As partículas de sujeira se acumulam na parte externa do elemento filtrante ou da cesta e podem ser removidas por ar comprimido ou

¹¹ Disponível em: < <http://www.machineryspaces.com/>>. Acesso em: 21/11/2020.

escova. Um filtro deve ser limpo assim que retirado do sistema e, a seguir, remontado e deixado pronto para uso.

6.1. Filtro Duplex.

Figura 12: *Duplex Filter.*



Fonte: Internet.¹²

O filtro duplex pode ser usado universalmente como um filtro grosso e fino no lado da sucção ou da pressão. A operação do filtro é mantida sem interrupções durante a fase de limpeza. O filtro duplex consiste em dois filtros idênticos que podem ser operados alternativamente ou em paralelo.

O elemento filtrante é um filtro de feito de folha de metal perfurada coberta com uma malha feita de diferentes materiais e tamanhos de malha. O meio a ser filtrado entra no filtro por cima, geralmente fluindo através da inserção de dentro para fora.

Figura 13: *Duplex filter DN50-1000 / 2"-40"*
with maintenance-friendly butterfly valve switching.

¹² Disponível em: < <http://www.krone-filter.com/product.php?id=3>>. Acesso em: 30/11/2020.



Fonte: Internet.¹³

O filtro duplex também pode ser instalado em linha de pressão e sucção e é versátil para filtração grossa e fina. É caracterizada por operação contínua durante a fase de limpeza. O filtro duplex compreende dois filtros únicos idênticos conectados por meio de um dispositivo de comutação de válvula com válvulas borboleta, que pode ser comutado para apenas um corpo de filtro ou pode ser operado em paralelo.

Cada filtro consiste em um corpo fundido ou soldado, tampa e elemento filtrante. O elemento filtrante é um filtro de cesta ou tipo anel feito de placa perfurada coberta com uma malha de aço inoxidável. O meio a ser filtrado entra na cesta do filtro por cima e flui pelo inserto de dentro para fora. Assim, a sujeira permanece no elemento do filtro.

BIBLIOGRAFIA.

- GARCIA, Roberto. **Combustíveis e combustão industrial**. 2º edição RJ: Editora Interciência, 2002.

¹³ Disponível em: < <http://www.krone-filter.com/product.php?id=23>>. Acesso em: 30/11/2020

- LEITE, Filipe Ranier. **Tratamento de Óleo Combustível: Rebouças**. APMA 2012.
- KATAGI, Denis Eduardo. **Importância do Tratamento do Óleo Combustível nas Instalações Marítimas: LÓS**. APMA 2012.
- SCARCELA, Alan. **Influência da Qualidade do Combustível na Manutenção e Operação dos Motores de Combustão Interna**. APMA 2019.
- <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/energysource/contaminated-fuel-is-poisoning-global-shipping/>. Acesso em: 10/10/2020.
- <https://pocfiltros.com.br/blog-noticias/de-onde-vem-contaminacao-do-diesel-entenda/>. Acesso em: 10/10/2020.
- http://mscn7training.com//TrainingDocs/Course%20Materials/Engine/Course%20Handouts/AMERSTAT_25_PDS.pdf Acesso em: 18/10/2020.
- <http://pocfiltros.com.br/blog-noticias/oleo-diesel-contaminado-07-problemas/> Acesso em: 18/10/2020.