

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRANÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS

MÁRCIO CONCEIÇÃO DA SILVA

**CONTROLE DE QUALIDADE, IMPORTÂNCIA E APLICAÇÕES DO
ÓLEO LUBRIFICANTE EM EQUIPAMENTOS E
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

RIO DE JANEIRO, 2013

Márcio Conceição da Silva

Monografia apresentada como exigência para conclusão do curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas (APMA) do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientadora: Professora Elizabeth Lourenço

Rio de Janeiro, 2013

Márcio Conceição da Silva

BANCA EXAMINADORA

Aprovado em _____ de dezembro de 2013.

Orientador: Professora Elizabeth Lourenço

Nota: _____

1º Examinador: _____

2º Examinador: _____

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia aos meus pais que sempre que eu pensava em desistir, eles me davam forças para continuar, sendo pessoas especiais na minha vida e que me ensinaram muitas coisas e que uma delas foram que por mais que o caminho esteja difícil e doloroso, devo prosseguir pois lá na frente quando esse caminho já estiver no final, olharei para trás e me sentirei vitorioso, obrigado por sempre estar ao meu lado me dando forças.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sem ele eu não teria forças para essa longa jornada, agradeço a meus professores e aos meus colegas pelo convívio e experiências trocadas, agradeço a professora Denise pela paciência e pela forma como tentou eliminar todas as dúvidas e agradeço a Minha Professora Orientadora Elizabeth Lourenço pela colaboração e dedicação para conclusão desta monografia.

RESUMO

Lubrificação em si, quer dizer menos esforço, menor atrito, menos desgaste, enfim, diminuição no consumo de energia. Para isso, utilizamos o óleo lubrificante. A qualidade do lubrificante é um fator que não deve ser dispensado e é comprovada somente após a aplicação e avaliação do seu desempenho em serviço. Esta performance está ligada à composição química do lubrificante, resultante do petróleo bruto, do refino, dos aditivos e do balanceamento da formulação. Os melhores são os que apresentam maior índice de viscosidade e aditivos em sua composição. Esta combinação de fatores dá ao lubrificante certas características físicas e químicas que permitem um controle de uniformidade e nível de qualidade. O sistema de lubrificação é um dos fatores que contribuem para a segurança de serviço e durabilidade de qualquer Motor de Combustão Interna. A vida de um óleo lubrificante dentro de um motor é ingrata: entra limpo, claro e, ao ser drenado, sai sujo, contendo impurezas, mas satisfeito pelo cumprimento do dever. A função do lubrificante é de sacrifício, pois ele deve arrastar todas as impurezas e desgaste, evitando que as mesmas se depositem no motor. Entre os diversos tipos de contaminantes, podem citar três grupos: os abrasivos (poeiras, partículas de metais), os produtos provenientes da combustão (água, ácidos e fuligem) e os produtos provenientes da oxidação do óleo (verniz). Estes fatores podem abreviar a eficiência do óleo, pois o óleo acaba sofrendo perda de propriedade. Em resumo, o óleo lubrificante, para sair vencedor neste vasto campo de combate, tem que possuir pelo menos as seguintes qualidades: reduzir a resistência por fricção; proteger contra a corrosão e desgaste; ajudar a vedação; ajudar no esfriamento; contribuir para a eliminação de produtos indesejáveis.

Palavras-chaves: aditivos, viscosidade, contaminantes, abrasivos, desgaste.

ABSTRACT

Lubrication itself, means less effort, less friction, less wear, at long last, reduction in energy consumption. For this, we use the lubrication oil. The quality of lubricant is a factor that should not be dispensed and it's proven only after the application and evaluation of their performance in service. This performance is related to the lubrication chemical composition resulting from crude oil refining, additives and the balance of the formulation. The best are those with higher viscosity and additives in their composition. This combination of factors gives the lubricant certain physical and chemical characteristics that allow quality level and uniformity control. The lubrication system is one of the factors that contribute to the security service and durability of any Internal Combustion Engine . The lubricant's oil life inside an engine is thankless: comes clean, clear, and once it's drained , gets dirty, containing impurities , but satisfied by the line of duty. The function of the lubricant is sacrificial because it must drag all impurities and wear, avoiding that the same be deposited into the engine. Among the various types of contaminants three groups can be named: the abrasive (dust, metal particles), the products from the combustion (water, acids and soot) and products from oil oxidation (varnish). These factors can shorten the efficiency of the oil because the oil ends up suffering property loss. In summary, the lubricating oil to come out the winner in this vast field of combat, must have at least the following qualities: reduce frictional resistance , protect against corrosion and wear; help seal; help in cooling, help eliminate undesirable products.

Key words: Additives, viscosity, contaminants, abrasive, wear

SUMÁRIO

RESUMO

INTRODUÇÃO	09
1-Lubrificantes	10
1.1- Noção sobre lubrificação	10
1.2- Tipos de lubrificantes	11
1.3- Graxas	12
1.4- Composição dos lubrificantes	14
1.5- Aditivos	14
1.5.1- Tipos de compostos usados pelos aditivos	15
1.6- Característica física dos lubrificantes	16
1.7- Classificação dos lubrificantes	17
2 - Lubrificação dos Motores de Combustão Interna	19
2.1- Lubrificação dos Motores de Combustão Interna	19
2.2- Atrito	19
2.3- Viscosidade, ponto de combustão e ponto de congelamento	20
2.4- Órgãos e fatores do sistema de lubrificação	20
2.5- Sistema de lubrificação	22
3 - Controle de qualidade	24
3.1- Controle de qualidade do óleo lubrificante	24
3.2- Contaminação	24
3.2.1- Elementos contaminantes do óleo lubrificante	25
3.3- Degradação	26
3.4 - Descrição e significação dos ensaios	26
ANEXOS	30
CONSIDERAÇÕES FINAIS	34

INTRODUÇÃO

Como o próprio nome diz, o óleo lubrificante serve para formar uma película lubrificante entre as peças que se movem no motor, tais como anéis, pistões, bronzinas e camisas. Lubrificar um motor é mantê-lo, prolongar a sua duração útil e melhorar as suas performances.

Para uma correta lubrificação nos Motores de Combustão Interna, deve-se escolher o lubrificante adequado, ele deve reduzir a fricção, limitar o desgaste das peças em movimento no motor, arrefecer o motor, manter todo o mecanismo em bom estado, contribuir para a estanqueidade entre cilindro e pistão, proteger da corrosão e retirar e manter em suspensão as partículas resultantes do processo de combustão, evitando que sejam depositadas no fundo do cárter o, o que pode levar a incrustações.

O óleo deve estar em condições apropriadas para o seu emprego, ou seja, obedecendo as exigências do fabricante do motor.

O controle de qualidade pode ser feito através de teste de ensaio, que detecta as condições do óleo lubrificante.

CAPÍTULO I

Lubrificantes

1.1- Noção sobre lubrificação

Qualquer tipo de movimento relativo entre corpo sólido, líquido ou gasoso, dá origem ao atrito, que se opõe a esse movimento. O atrito produz calor, o que entre outros inconvenientes, representa uma perda direta de energia.

No funcionamento de qualquer máquina ocorre o fenômeno conhecido como atrito metálico, nas partes animadas de movimentos relativos. É, portanto de grande importância, reduzir a um mínimo o atrito metálico, não só com a finalidade de minorar a perda de energia e o aquecimento pelo calor desprendido, como também para diminuir o ruído e o desgaste das peças, eliminando os riscos de ruptura das mesmas. Isto é obtido com a interposição, entre as peças metálicas de uma substância fluída que é o lubrificante que fornecerá uma película adequada.

Esta película exerce uma função denominada “lubrificação”. Daí dizer-se que “lubrificar” é interpor uma película de um fluido adequado entre superfícies em movimento relativo, de modo que o mesmo se faça com um mínimo de aquecimento, de ruído e de desgaste.

Quando se realizar movimento relativo entre duas superfícies metálicas, cumpre distinguir dois casos:

- Contato direto ou metálico;
- Separação completa pela interposição de uma película lubrificante.

No primeiro caso, há duas superfícies em movimento relativo, sem lubrificação de espécie alguma. O atrito é então diretamente proporcional à força aplicada contra as superfícies em movimento.

No segundo caso, temos o denominado atrito fluido, onde deve existir entre as superfícies uma película de espessura maior que a soma das alturas das rugosidades das duas superfícies a serem lubrificadas.

As principais vantagens de ordem técnica, decorrentes de uma lubrificação fluída são:

- Redução de desgaste;

- Diminuição das perdas por atrito;
- Aumento de segurança em operação.

1.2- Tipos de lubrificantes

Substâncias mais variadas são usadas como lubrificantes. De acordo com seu estado de agregação, os lubrificantes podem ser classificados em:

- **Lubrificantes Gasosos:** Os lubrificantes gasosos são usados em casos especiais, em lugares onde não são possíveis as aplicações dos lubrificantes convencionais.

Podemos citar alguns deles, como o ar, nitrogênio e os gases halogenados.

- **Lubrificantes Líquidos:** Os líquidos são em geral preferidos como lubrificantes porque eles penetram entre partes móveis pela ação hidráulica, e além de manterem as superfícies separadas, atuam também como agentes removedores de calor.

1 Óleos minerais

2 Óleos graxos

3 Óleos compostos

4 Óleos sintéticos

- Óleos Minerais

São produzidos de crus de composição muito variada, mas formados por grande número de hidrocarbonetos (compostos de hidrogênio e carbono) pertencentes a três classes principais: parafínicos, naftênicos e aromáticos. Os crus passam por diferentes tratamentos, tais como destilação fracionada, remoção de asfalto, refinação de ácido e refinação por solvente.

A escolha da seqüência nos tratamentos dependem tanto da natureza do cru, como dos produtos finais desejados. Conforme o processo adotado, pode o lubrificante apresentar grande variação de características quanto à viscosidade, volatilidade, resistência à oxidação, etc.

- Óleos Graxos

Foram os primeiros lubrificantes a serem utilizados pelo homem. Com o desenvolvimento industrial e o aperfeiçoamento da maquinaria, houve a necessidade imperativa da substituição dos óleos graxos pelos óleos minerais.

A principal desvantagem dos óleos graxos está em sua pequena resistência a oxidação, rancificando-se facilmente e formando gomosidades.

Os óleos graxos conforme sua origem, podem ser classificados em:

1 Vegetais

2 Animais

Os óleos vegetais normalmente utilizados são: óleo de rícino, óleo de coco, óleo de oliva, óleo de semente de algodão. Dos óleos de origem animal, podemos citar óleo de baleia, óleo de foca, óleo de peixe, óleo de mocotó, óleo de banha (banha de porco).

- Óleos Compostos

São misturas de óleos graxos, com óleos minerais. Essas adições são de até 30% e tem por finalidade conferir ao lubrificante maior oleosidade e também facilidade de emulsão em presença de vapor d'água.

- Óleos Sintéticos

Estes óleos estão em continuo desenvolvimento, utilizados apenas em casos específicos. Podemos citar os poli-glicóis, em silicones e os diésteres.

- **Lubrificantes Pastosos:** Compreendem as graxas e as composições lubrificantes.

1.3- Graxas

As graxas lubrificantes são dispersões estáveis de sabões minerais. Observadas através de microscópio eletrônico, verifica-se que o óleo que compõe a graxa é retido por uma trama frouxa, tridimensional, de fibras de sabão que se assemelha aos pelos de uma escova. Estas fibras são formadas por cristais de sabão que por sua vez são constituídas por moléculas. A trama do sabão mantém-se coesa pela ação de forças de atração fraca as fibras, que empresta à graxa sua consistência ou “corpo” quando em repouso. Na graxa submetida, essas forças são vencidas; o lubrificante perde sua consistência e flui. Quando maior a decomposição estrutural, maior a facilidade com que a graxa se desfaz. Quando a força que provocou a decomposição estrutural deixa de atuar, as fibras de sabão tendem a se agrupar novamente a trama original, restituindo à graxa a mesma consistência inicial.

Enquanto a viscosidade de um óleo em determinada temperatura independente da sua decomposição estrutural, a viscosidade da graxa decorre inteiramente desse fator.

Comparando para uma dada temperatura às relações de viscosidade e da taxa de cisalhamento de um óleo e de uma graxa preparada com este mesmo óleo incorporado com um sabão, observa-se que a viscosidade da graxa se aproxima a do óleo que a compõe quando aquela é submetida a taxas de cisalhamento muito elevado. É importante que este fenômeno seja reversível ou praticamente reversível, isto é, que a graxa volte a sua viscosidade original elevada ao cessar a ação de decomposição.

As vantagens e desvantagens das graxas são:

- As graxas apresentam melhores propriedades de retenção, por possuírem alta afinidade com as superfícies metálicas.
- Prefere-se a graxa quando é impraticável um suprimento contínuo de óleo, pois ela por sua coesão pode ser armazenadas nos pontos de aplicação evitando-se assim, durante períodos de tempo relativamente longos, a necessidade de acrescentar novas quantidades de lubrificantes.
- Quando em presença de atmosfera poluídas ou úmidas, as graxas apresentam vantagens em relação aos óleos, pois agem como elementos de vedação.
- As graxas não dissipam o calor tão bem quanto o óleo, razão pela qual um mancal lubrificado a graxa tem temperatura normalmente superior ao de um mancal lubrificado a óleo.

As graxas apresentam-se sobre tudo em função do tipo de sabão empregado com determinada textura, que poderá ser fibrosa, untuosa, ou amanteigada. Alcançam sua estabilidade, fator importantíssimo, e a sua conservação com a adição de agentes estabilizantes específicos, tais como glicerina, ácidos graxos, água, etc. Fabricam-se essas dispersões para se obter produtos semi-fluidos ou pastosos que podem ser aplicados como película lubrificantes nos pontos em que seria pouco prático ou quase impossível o emprego de óleo, uma vez que estes, em virtude de sua fluidez, não ficariam retidos.

Os componentes essenciais de uma graxa são: O lubrificante e o agente espessante.

1.4- Composição dos Lubrificantes

O óleo lubrificante pode ser formulado somente com óleos básicos (óleo mineral puro) ou agregados e aditivos. Inicialmente a lubrificação era feita com óleo mineral puro até a descoberta do aditivo.

O óleo básico, por ser um dos principais componentes do lubrificante, apresenta elevado índice de influência na performance do mesmo. As características do óleo básico utilizado no lubrificante são provenientes, entre outros, de dois importantes fatores: escolha do cru e processo de refinação. Podemos agrupar as características do óleo cru através dos tipos (estruturas) e propriedades. Assim sendo encontramos os tipos saturados com cadeias lineares, ramificadas, cíclicas e os aromáticos.

Os óleos básicos do tipo saturado com cadeias lineares ou ramificado são denominados PARAFÍNICOS e os de cadeias cíclicas são chamados NAFTÊNICOS.

Os parafínicos predominam na formulação dos óleos lubrificantes devido a sua maior estabilidade a oxidação, já os naftênicos, são mais aplicados em condições de baixa temperatura. Os óleos básicos naftênicos, além de possuir uma menor faixa de uso, se comparado com os parafínicos, vem apresentando ultimamente pequena e decrescente disponibilidade no mercado, devido a escassez no mundo, das fontes de origem (tipo de cru). As propriedades dos óleos básicos podem ser melhoradas através da aplicação de aditivos. Estes produtos são químicos produzidos para proporcionar e/ou reforçar no óleo básico características físico-químicas desejáveis e eliminar e/ou diminuir os efeitos de algumas características indesejáveis a lubrificação. A adição de aditivos aos óleos básicos deve-se ao avanço tecnológico dos equipamentos que passaram a requerer uma evolução também na lubrificação.

1.5- Aditivos

Os aditivos são substanciais empregadas para melhorar ou conferir aos óleos básicos propriedades adequadas a um bom lubrificante. Pode-se dividir os aditivos utilizados em óleos para motores, em três funções: melhorar o índice de viscosidade, abaixar o ponto de fluidez e otimizar o desempenho. Os corpos adicionados ao óleo são, normalmente, compostos de enxofre, grafita, cromo, chumbo, estanho e alguns produtos sintéticos. Os

ingredientes adicionais variam dependendo especialmente das propriedades que se visam a obter.

As propriedades obtidas pela incorporação de aditivos são as seguintes:

- **Poder detergente:** o óleo dissolve os produtos sólidos de combustão, borrachas e óleos grafíticos; esta propriedade evita, assim, a formação de depósitos sobre as paredes internas do motor;

- **Poder dispersante:** é a característica que dá ao óleo a possibilidade de conservar em suspensão todos os produtos dissolvidos e de impedir a sua acumulação no fundo do cárter ou nos filtros; o poder dispersante completa a ação dos produtos detergentes;

- **Propriedade M.P. (máxima pressão):** é a propriedade que a camada de óleo tem que lhe permite resistir às altas pressões mecânicas atuando sobre os mancais do motor; a qualidade de lubrificação mantém-se, assim, mais acentuada quando do funcionamento a plena potência, altos regimes e altas temperaturas;

- **Resistência à oxidação:** ao contato do ar do cárter e dos gases ácidos de combustão, o óleo tende a se transformar por oxidação. Como resultado, assiste-se a uma redução do seu poder lubrificante. Os aditivos destinados a resistir aos fenômenos de oxidação fazem com que o óleo conserve durante mais tempo as suas qualidade lubrificantes. Estes aditivos neutralizam os ácidos que tendem a acumular-se no cárter do motor, e cuja presença origina desgastes nas superfícies de atrito.

1.5.1- Tipo de compostos usados pelos aditivos

- **Antioxidantes ou inibidores de oxidação:** Compostos orgânicos contendo enxofre, fósforo ou nitrogênio, tais como aminas, sulfetos, hidroxisulfetos, fenóis. Metais, como estanho, zinco ou bário, freqüentemente incorporados.

- **Anticorrosivos, preventivos da corrosão ou "venenos" catalíticos:** Compostos orgânicos contendo enxofre ativo, fósforo ou nitrogênio, tais como sulfetos, sais metálicos do ácido trifosfórico e ceras sulfuradas.

- **Detergentes:** Compostos organo-metálicos, tais como fosfatos, alcoolatos, fenolatos. Sabões de elevado peso molecular, contendo metais como magnésio, bário e estanho.

- **Dispersantes:** Compostos organo-metálicos, tais como naftenatos e sulfonatos. Sais orgânicos contendo metais com cálcio, cobalto e estrôncio.

- **Agentes de pressão extrema:** Compostos de fósforo, como fosfato tricresílico, óleo de banha sulfurado, compostos halogenados. Sabões de chumbo, tais como naftenato de chumbo.

- **Preventivos contra a ferrugem:** Aminas, óleos gordurosos e certos ácidos graxos. Derivados halogenados de certos ácidos graxos Sulfonatos.

- **Redutores do ponto de fluidez:** Produtos de condensação de alto peso molecular, tais como fenóis condensados com cera clorada. Polímeros de metacrilato.

- **Reforçadores do índice de viscosidade:** Olefinas ou iso-olefinas polimerizadas. Polímeros butílicos, ésteres de celulose, borracha hidrogenada.

- **Inibidores de espuma:** Silicones

1.6- Características dos lubrificantes

- **Densidade (Specific, gravity):** A densidade de um produto de petróleo é definida pela relação entre o peso de dado volume do produto, medido a uma determinada temperatura e o peso de igual volume de padrão (água), medido a uma outra temperatura. No caso de produtos de petróleo, as temperaturas foram padronizadas em 60°F/60°F para a quase totalidade dos países. No Brasil ela foi padronizada para 20°C/4°C. A densidade tem pouco significado quanto á qualidade do lubrificante, mas é grande utilidade no cálculo da conversão de litros em quilos ou vice-versa, e para fins de controle. É importante para indicar se houve contaminação ou deterioração de um lubrificante.

- **Ponto de fulgor:** É a temperatura em que o óleo, quando aquecido em aparelho adequado, desprende os primeiros vapores que se inflamam momentaneamente em contato com a chama.

- **Ponto de combustão:** É a temperatura na qual o óleo, aquecido no mesmo aparelho para a determinação do ponto de fulgor, continuará, uma vez inflamado, a queimar por mais de cinco segundos. Esta temperatura é ligeiramente superior a do ponto de fulgor.

- **Ponto de fluidez:** É a temperatura em que o óleo, submetido a um resfriamento, deixa de escoar livremente. Está característica tem grande importância no caso especial dos lubrificantes utilizados em locais muito frios.

- **Viscosidade:** A viscosidade mede a dificuldade com que o óleo escorre (escoa); quanto mais viscoso for um lubrificante (mais grosso), mais difícil de escorrer, portanto será maior a sua capacidade de manter-se entre duas peças móveis fazendo a lubrificação das

mesmas. A viscosidade dos lubrificantes não é constante, ela varia com a temperatura. Quando esta aumenta a viscosidade diminui e o óleo escoar com mais facilidade.

- **Índice de viscosidade:** É a expressão numérica da variação da viscosidade com a variação da temperatura. Assim, o alto índice de viscosidade revela variação relativamente pequena de viscosidade da temperatura, em função da temperatura, enquanto o baixo índice de viscosidade indica tendência do óleo a apresentar grande variação de viscosidade com uma pequena variação de temperatura. Óleos parafínicos possuem maior índice de viscosidade do que óleos naftênicos.

HVI - alto índice de viscosidade

MHV - médio índice de viscosidade

LVI - baixo índice de viscosidade

- **Cor:** É determinada por comparação com cores padronizados, em aparelhos ASTM ou similar. A única importância da cor, no que se refere a óleos lubrificantes, está na sua aceitação geral como índice de uniformidade de determinado tipo ou marca. Entretanto, a cor não tem nenhuma relação com a qualidade do lubrificante. Erro comum em que incorre muitos consumidores, é o de supor que a cor esteja relacionada com a viscosidade.

1.7- Classificação dos Lubrificantes

Os óleos lubrificantes automotivos são classificados com base em duas especificações que retrata o seu desempenho nos motores. A primeira é a especificação de viscosidade que é definida através da Norma J300 da “Society of Automotive Engineering” – SAE. Essa Norma classifica os óleos lubrificantes por graus de viscosidade, em função de resultados obtidos em diversos ensaios, realizados numa ampla faixa de variação de temperatura, essa norma não leva em conta os requisitos de desempenho. Existem várias entidades que estabelecem normas para a classificação de desempenho como a API (EUA), a ACEA (Europa) e a JASO (Japão). A classificação API é a mais aceita internacionalmente e estabelece uma codificação que, em geral, é constituída por duas letras. A primeira, que pode ser S ou C representa a aplicação automotiva. O S (Spark Ignition ou Service) se refere a óleos para motores do ciclo OTTO (veículos leves a gasolina ou álcool), enquanto que o C (Compression Ignition ou Commercial) se refere a óleos para motores do ciclo DIESEL (veículos pesados). A segunda letra indica o desempenho do óleo, o que é definido através de ensaios em motores estabelecidos pela ASTM (American Society for Testing and Materials),

que têm como objetivo garantir a proteção dos motores em termos de desgaste e da formação de depósitos em diversas condições de operação. Tais condições englobam os regimes em baixas rotações e baixas cargas, verificadas logo após a partida dos motores, principalmente em regiões de clima frio, etc. O rótulo dos lubrificantes contém, necessariamente, as classificações SAE e API do produto comercializado. O consumidor deve seguir sempre a recomendação do fabricante do seu veículo que está impressa no manual do proprietário, atentando para as especificações e deixando para um segundo plano, outras informações sujeitas a uma forte componente de marketing.

CAPÍTULO II

Lubrificação dos motores

2.1- Lubrificação dos Motores de Combustão Interna

Os motores são máquinas destinadas a converter qualquer forma de energia (térmica, elétrica, hidráulica etc), em energia mecânica. No caso dos motores de combustão interna, há transformação de energia térmica (queima de combustível) em energia mecânica. Especialmente em motores de combustão interna, os óleos lubrificantes têm por finalidade principal reduzir o atrito e, conseqüentemente, o desgaste entre superfícies com movimentos relativos. Além dessa propriedade, os lubrificantes devem proteger contra a corrosão, refrigerar o equipamento, manter-se em boas condições de fluxo, remover os resíduos da combustão, mantendo-os dispersos no óleo lubrificante. Para atender tais requisitos, os óleos lubrificantes são formulados com óleos básicos e aditivos.

2.2- Atritos

Quando duas superfícies de contato se deslocam uma em relação à outra, há atrito. Consideram-se três espécies de atrito:

- **Atrito seco**, em que as superfícies estão em contato sem a interposição de lubrificante;
- **Atrito úmido**, em que uma pequena película de lubrificante favorece a fricção sem impedir que as superfícies entrem em contato pela crista das suas rugosidades;
- **Atrito líquido**, em que a película de lubrificante é contínua e homogênea, impedindo assim que as duas superfícies entrem em contato.

Todas as peças em movimento de um motor de combustão interna devem ser lubrificadas de modo a permitir um atrito líquido (desgaste mínimo). Contudo, na prática, não é exatamente este o resultado que se alcança. Sob a pressão das peças, o óleo é expulso, a película desgasta-se e as superfícies entram em contato acontecendo, assim, o atrito úmido. A passagem do atrito líquido ao atrito úmido é tanto mais fácil quanto maiores as pressões e as temperaturas e quanto pior a qualidade do óleo.

2.3- Viscosidade, ponto de combustão e ponto de congelamento

Os óleos destinados à lubrificação dos motores de combustão interna devem possuir um certo número de qualidades perfeitamente determinadas. Sob o ponto de vista prático, eles são caracterizados principalmente pela sua viscosidade, o seu ponto de combustão e o seu ponto de congelamento.

A viscosidade caracteriza as particularidades de escoamento do óleo. O ponto de combustão é a temperatura à qual o óleo emite vapores suscetíveis de serem inflamados. Deve ser o mais elevado possível, de modo a evitar as fugas por vaporização ao contato das partes inferiores do pistão do motor quente. A temperatura de combustão é, geralmente, superior a 493 °K (220 °C) para os óleos finos e ultrapassa 253 °K (250 °C) para os óleos espessos. O ponto de congelamento é a temperatura em que o óleo não escorre mais de uma proveta quando esta é inclinada, O ponto de congelamento deve ser o mais baixo possível, de modo a facilitar que o motor entre em movimento depois de tempo prolongado sob temperaturas muito baixas.

2.4- Órgãos e fatores do sistema de lubrificação

O sistema de lubrificação de um motor é composto por diversos componentes que fazem circular o óleo no sistema, controlam a pressão do mesmo e fazem a sua filtragem, de maneira que haja uma lubrificação adequada em todas as áreas de atrito sob as diversas condições de operação. Os principais fatores que influenciam no funcionamento correto do sistema de lubrificação são:

- Filtro de sucção
- Bomba de óleo
- Válvula aliviadora de pressão
- Filtro de óleo
- Métodos para filtragem do óleo
- Folga de lubrificação das bronzinas e das buchas.

O filtro de sucção se acha localizado na entrada da bomba de óleo. Protege a bomba de partículas grandes que podem causar um desgaste excessivo. O filtro de sucção, quando está obstruído, pode chegar a impedir a circulação do óleo, através do motor. O resultado desta

falha de lubrificação causará um, desgaste excessivo, podendo causar a destruição definitiva de algumas peças.

A bomba de óleo fornece óleo sob pressão para todas as partes do motor que assim o requerem. Geralmente, a bomba de óleo de um motor tem capacidade para bombear uma quantidade de óleo muito maior que a requerida. Portanto, existe no sistema de lubrificação, uma válvula de alívio de pressão, com o objetivo de regular o fluxo de óleo, de maneira que se mantenha sempre a pressão requerida. A pressão excessiva nos motores faz com que a válvula de alívio se abra, permitindo que o excesso de óleo regresse ao cárter.

O filtro de óleo tem a finalidade de reter impurezas em suspensão no óleo lubrificante evitando o desgaste prematuro das peças do motor. O método para filtragem do óleo, nos motores mais antigos, era o que se conhecia pelo nome de “Sistema de Derivação”, no qual o óleo se desvia pela válvula aliviadora de pressão, e passa através do filtro de óleo em seu retorno ao cárter. Outras variações deste mesmo método, incluídas na mesma categoria, são aquelas em que só uma parte do óleo que circula pelo sistema, passa através do filtro de óleo. Por exemplo: quando o filtro está colocado na linha que vai ao mecanismo superior das válvulas (balancins), todas as demais partes com lubrificação sob pressão recebem óleo sem filtrar, diretamente da bomba. Os sistemas de derivação filtram unicamente de 5 a 20% do óleo que circula através do sistema de lubrificação. No sistema de filtragem completa ou total, todo o óleo que passa através do sistema de lubrificação é filtrado antes que atinja as áreas a serem lubrificadas. Neste sistema, há uma válvula de alívio dentro do filtro para desviar o óleo ao redor do mesmo. Esta preocupação se toma para o caso em que o filtro esteja obstruído devido principalmente a manutenção inadequada. A

folga de lubrificação é a diferença entre o diâmetro interno da bronzina ou da bucha e o diâmetro externo do respectivo eixo. A folga de lubrificação, é o fator mais importante que influi na operação correta do sistema de lubrificação sob pressão. Cada fabricante de motor especifica determinadas folgas para bronzinas e buchas que devem ser observadas.

2.5- SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

Os sistemas de lubrificação tradicionais são os seguintes:

- **Por salpico;** a bomba de óleo alimenta as cubas colocadas perto da passagem de cada biela; estas são munidas de uma colher (pescador) que apanha o óleo que passa pela cuba; por inércia, o óleo penetra em seguida na biela e lubrifica o moente. Os mancais são diretamente alimentados por tubos que saem do coletor principal. Com a lubrificação por salpico, a pressão fornecida pela bomba é pouco elevada: 0,1 a 0,4 bar (0,1-0,4 kg/cm²). O manômetro é graduado em metros de água (1 a 4m). Para facilitar a lubrificação, bielas e mancais devem possuir grandes ranhuras de circulação.

- **Por pressão;** o virabrequim possui condutos especiais; o óleo chega aos mancais sob pressão, e daí é canalizado até aos moentes para lubrificar as bielas. Os mancais e as 25 bielas não possuem ranhuras de lubrificação, exceto algumas câmaras de óleo curtas que não desembocam no exterior. A pressão de lubrificação é de 1 a 3 bar (1-3 kg/cm²). Esta pressão impulsiona o óleo como uma cunha entre as superfícies a lubrificar, realizando assim o atrito fluido. Frequentemente, a cabeça da biela é munida de um pequeno orifício dirigido ao cilindro e destinado a lubrificar o pistão. Em alguns casos, uma canalização ao longo da biela permite, igualmente, assegurar uma melhor lubrificação do eixo do pistão.

- **Por projeção;** esta disposição compreende a lubrificação sob pressão de todos os mancais e a lubrificação das bielas por um jato de óleo. Cada biela tem uma colher; a rotação contra o jato intensifica a penetração de óleo no interior da biela. Por outro lado, o jato de óleo sobre toda a cabeça da biela favorece a sua refrigeração. A pressão de lubrificação é de 1-3 bar (1-3 kg/cm²). Nos motores de pouca cilindrada, a lubrificação por projeção é simplificada. O virabrequim aciona uma roda munida de palhetas. Esta roda está semi-submersa no óleo do cárter e sua orientação faz com que ela projete o óleo diretamente sobre a biela e no cilindro.

- **Por mistura;** o óleo é misturado com o combustível e penetra no motor proporcionalmente ao consumo do mesmo. Este sistema de lubrificação não é apropriado aos motores a 2 tempos que funcionam com pré-compressão no cárter. A proporção do lubrificante em relação ao combustível é, geralmente, de 5%. Uma quantidade mais elevada leva a um entupimento das câmaras de explosão e de escape, assim como a um empobrecimento da carburação.

- **Por cárter seco;** neste sistema de lubrificação, o óleo é contido num reservatório independente. Uma bomba leva o óleo do reservatório ao motor, introduzindo-a pressão nos elementos a lubrificar. Uma segunda bomba, chamada bomba de retorno, aspira o óleo que tende a acumular-se no fundo do cárter e remete-o ao reservatório.

Observações gerais. Seja qual for o sistema, a lubrificação dos cilindros é assegurada unicamente pelo óleo projetado pelas bielas em rotação. Quando se põe o motor frio em funcionamento, o óleo circula dificilmente e a lubrificação dos cilindros é insuficiente. Nos motores de lubrificação sob pressão, não circula nenhum óleo nos primeiros minutos de funcionamento. O salpico e a projeção efetuam com maior rapidez esta lubrificação dos cilindros. Afora a lubrificação, a circulação de óleo deve garantir a refrigeração das bielas e do virabrequim. Partindo do tanque a 232 °K (50 °C), o óleo atinge de 353 a 393 °K (80 a 120 °C) quando sai das bielas. Num motor novo, as folgas estão no seu mínimo; o óleo circula com mais dificuldade e, portanto, refrigera mal as peças, havendo um maior risco de gripagem ou de fusão do metal antifricção.

CAPÍTULO III

Controle de qualidade

3.1- Controle da qualidade do óleo lubrificante

Um óleo lubrificante é ensaiado continuamente durante cada fase do processo de refinação e mistura. Ele é extensivamente testado por processos de laboratório que simulam o serviço para o qual ele será destinado, critério de desempenho que é testado no próprio equipamento. Um acompanhamento no controle de qualidade do óleo é essencial para que ele possa satisfazer com êxito as exigências do equipamento. Tanto o chefe de máquinas quanto o fornecedor do óleo têm interesse em conhecer as condições do lubrificante, não só com respeito ao seu estado para continuar em uso, mas como um meio de descobrir e corrigir problemas operacionais.

Desde o dia que o lubrificante entra em serviço, ele está sujeito à contaminação e degradação, duas principais causas de perda de sua eficiência. Se o óleo receber à bordo a devida atenção e cuidados, a sua vida útil será prolongada. Logo, há um controle do óleo usado em serviço marítimo, para detectar a contaminação, oxidação e determinar se as práticas de purificação à bordo são eficientes.

3.2- Contaminação

A contaminação do sistema hidráulico pode se dar por partículas sólidas, ar, água e outros produtos, que, por reações, formam borra e resina. O ingresso desses elementos no circuito pode ocorrer por causas diversas e algumas delas comentadas a seguir:

- As más condições de armazenamento do óleo podem comprometer sua composição e desempenho: a permanência prolongada em tambores, pode proporcionar o contato do fluido com a ferrugem interna (formada pela condensação do ar úmido do próprio tambor) e outros elementos do recipiente. Observa-se que tambores são usados para acondicionar os mais variados produtos e o processo de lavagem (quando ocorre) nem sempre é eficaz...O recipiente pode comprometer até mesmo a qualidade de óleos novos.O recipiente pode comprometer até mesmo a qualidade de óleos novos.

- O manuseio do lubrificante e as condições de troca e reposição do óleo muitas vezes facilitam a contaminação do sistema. O abastecimento deve ser feito fora do ambiente agressivo – o que nem sempre é possível. Neste caso, devem ser criados dispositivos de adaptação à máquina, para evitar o contato do ar contaminado do ambiente com o fluido. Sabendo que, pela situação de campo até mesmo essas adaptações tornam-se inviáveis, é fundamental a checagem periódica do estado do óleo.

- As condições internas do equipamento.

- Alguns procedimentos de manutenção podem, também, veicular partículas sólidas, contaminando o óleo. Assim, a inspeção ou troca de componentes deve ser feita dentro de critérios rigorosos, evitando exposições desnecessárias, peças mal acondicionadas e material inadequado. Atenção especial deve ser dada à substituição do fluido hidráulico não só no manuseio, como na observação da situação da máquina: o óleo altamente contaminado deve ser trocado somente depois de ter havido funcionamento do equipamento por algumas horas – o que evita a deposição de contaminantes sólidos.

3.2.1- Elementos contaminantes do óleo lubrificante

- **Água:** A contaminação com água nos óleos lubrificantes marítimos é sempre indesejável. Ela pode provocar a ferrugem, acelerar a deterioração do óleo e combinar-se com produtos da oxidação, materiais de aditivos e outras impurezas, formando borra. Por razões óbvias, a contaminação com água, prejudica diretamente a lubrificação. A contaminação por água, nos motores diesel, é resultante de condensação, vazamentos das juntas do cabeçote ou dos cilindros, canalização dos pistões resfriados a água e refrescadores de óleo e, ocasionalmente, a água trazida pelo óleo do cárter quando a centrífuga não está funcionando corretamente.

- **Combustível:** As causas comuns de contaminação pelo combustível são guarnições rachadas ou quebradas das linhas de combustível, alimentação excessiva, configuração insatisfatória do jato dos injetores, combustão incompleta e vedação inadequada pelos anéis. Avaliar a contaminação com combustível pesado e intermediário nos óleos de cárter usado apresenta especiais problemas. As amostras contendo resíduos desses combustíveis, raramente acusam redução de viscosidade, e podem apresentar espessamento, como resultado de tal contaminação. A contaminação com combustível pesado é inferida por uma série de ensaios,

tais como, viscosidade, índice de neutralização, insolúveis e a presença de elementos em traços, como: vanádio, sódio e ocasionalmente níquel.

- **Insolúveis:** São substâncias presentes nos lubrificante, em determinados solventes orgânicos como o pentano, tolueno, ou hexano. Os insolúveis são, principalmente, produtos da oxidação do óleo (borras, vernizes, resinas, gomas), fuligem da combustão, degradação do óleo entre outros.

- **Fuligem:** São resíduos insolúveis de combustível parcialmente queimado podem espessar o óleo, exaurem os aditivos e podem eventualmente entupir os filtros. A fuligem é encontrada normalmente em amostras de óleo de motor. Produtos da combustão entram no óleo através do sopro normal dos pistões, reduzindo a capacidade do óleo de proteger e lubrificar os componentes do motor.

3.3- Degradação

No serviço de motor diesel, o óleo está sujeito á degradação química, além da contaminação normal. O fato da oxidação ocorre por efeitos de aeração e elevadas temperaturas. O super-resfriamento, mais do que o superaquecimento é também um problema freqüente em serviço marítimo. As condições operacionais desfavoráveis promovem a oxidação dos aditivos, resultando num prematuro espessamento do óleo, borra e depósitos, se forem deixadas persistir a utilização desses sem uma purificação eficiente.

3.4- Descrição e significação dos ensaios

Os ensaios são para exame de rotina dos lubrificantes do sistema de propulsão marítimo principal e são úteis para detectar as condições do óleo e do sistema que não sejam facilmente observados.

- **Aparência e odor:** A aparência e odor do óleo podem constatar a presença de contaminantes. A coloração dos óleos de motores diesel varia normalmente entre um vermelho claro e um marrom bem escuro. Estes óleos, quando limpos e secos, também mostram transparência. Contudo, como normalmente são mais escuros, eles são examinados em películas finas para se descobrir qualquer evidência de sólidos dispersos. O odor de um óleo também indica as suas condições. Óleos com pouco tempo de serviço ou aqueles mostrando pouca ou nenhuma degradação, tem um odor brando ou de aditivos, semelhante ao

do óleo novo. Aqueles em serviço mais prolongado, sob condições favoráveis de operação, têm um odor de óleo usado. E um óleo que esteve em serviço severo e sofreu prolongada oxidação, terá um odor de óleo queimado e poderá está visivelmente espessado. A diluição grosseira com combustível tem um efeito bastante diferente, pois afina o óleo e o deixa com um odor semelhante ao do combustível.

- **Água:** O Ensaio de Crepitação ou Chapa Quente é um ensaio útil a seleção de amostras suspeitas de contaminação com água. O Ensaio de Crepitação consiste em algumas gotas de óleo que são pingadas sobre folha metálica, em forma de prato, e aquecidas com fósforo ou isqueiro. Em amostras contendo cerca de 0,1% de água livre e algumas vezes menos, estalidos audíveis serão notados. Um crepitar mais vigoroso e salpicamento conseqüente, serão observados em amostras severamente contaminadas. Qualquer recipiente metálico de pouca espessura e elemento de aquecimento servirão para este fim.

- **Densidade:** A densidade, em grau API, caracteriza o óleo. Ela acusa contaminação grosseira ou a introdução de quantidades significativas de um óleo lubrificante diferente.

- **Ponto de Fulgor:** O Ensaio de Ponto de Fulgor é feito nas amostras de cárter de motores diesel. Um ponto de fulgor mais baixo do que o do óleo novo denota a presença de combustível no óleo de cárter usado. A determinação do ponto de fulgor de um óleo sem uso tem importância sob o ponto de vista de segurança uma vez que temperaturas acima do ponto de fulgor podem conduzir a condições favoráveis à ocorrência de incêndios ou explosões.

- **Viscosidade:** Quando usada em conjunto com outros resultados de ensaios, a viscosidade é capaz de estabelecer se o óleo em serviço é do grau apropriado, se a amostra representa uma mistura de óleos, ou se o óleo espessou em virtude de oxidação ou afinou devido à diluição com combustível ou óleo mais fino. Nos serviços de motores diesel, uma redução significativa da viscosidade, é devido à contaminação com combustível destilado. Se a diluição com combustível reduziu a viscosidade do óleo abaixo do grau de viscosidade SAE recomendado para o motor, ele deve ser drenado, uma vez que sua viscosidade será insuficiente para manter a película hidrodinâmica adequada, entre as partes móveis. E um aumento na viscosidade de um ou mais graus SAE acima daquele recomendado para o motor, é indesejável e suficiente razão para a drenagem. O espessamento do óleo do cárter em serviço e motores diesel pode se devido à oxidação, contaminantes fuliginosos misturam com um óleo mais viscoso, ou uma combinação de quaisquer desses fatores.

- **Diluição por combustível:** Este teste é realizado para se determinar a quantidade de combustível presente em amostras de óleos lubrificantes em motores de combustão interna a gasolina, a álcool ou motor a diesel.

- **Insolúveis:** Em óleos de motores dieiseis, são efetuados ensaios de insolúveis em todas as amostras visivelmente mais escuras, fuliginosas, ou suspeitas de oxidação. A quantidade de insolúveis em óleos de motores diesel se correlaciona com outros ensaios para refletir o grau de degradação do óleo e o nível de contaminantes. A diferença quantitativa entre os insolúveis em pentano e benzeno representam as resinas insolúveis e é uma indicação de oxidação do óleo. Os insolúveis de benzeno incluem os sólidos estranhos, tais como, fuligem e resíduos do combustível, resíduos dos aditivos gastos, sujo, metal de desgaste, etc., que são carregados em suspensão no óleo. O resíduo separado com benzeno deve, sob condições normais, ser passível de remoção e assim ser removido pelo equipamento de purificação de bordo. Um óleo de cárter, dispersante, de serviço pesado, é capaz de manter em suspensão maior quantidade de contaminantes estranhos extremamente finos, do que um óleo não dispersante ou mineral puro.

- **Índice de Neutralização:** O índice de neutralização é um outro meio de detectar a deterioração do óleo e a contaminação com produtos ácidos da queima do combustível.

- **Cinza:** A cinza de um óleo lubrificante é o resíduo incombustível que resta, após a amostra ter sido queimada e calcinada. O teor de cinza de um óleo depende da natureza e tipo do lubrificante. Na maioria dos óleos de serviço pesado para dieiseis, os teores de cinza correspondem aos constituintes metálicos dos aditivos. A composição da cinza deverá ser determinada, se a mesma for superior a 0,1%. Os óleos minerais puros e óleos inibidos contra ferrugem e oxidação são essencialmente sem cinza. Assim sendo, uma quantidade apreciável de cinza, significa normalmente a presença de lubrificante usado nos cilindros com reserva alcalina. Nos óleos de serviço pesado de dieiseis, um aumento ou decréscimo no nível de cinza, em amostras consecutivas, suscita questões de identificação, contaminação, mistura ou deterioração.

- **Análise Espectrográfica:** Oferece meios rápidos para a determinação dos elementos inorgânicos presentes nos óleos lubrificantes usados: metais de desgaste, de contaminação externa e de aditivos presentes. A identificação de contaminantes metálicos fornece indícios para a correção de condições prejudiciais a uma máquina. Por exemplo, a presença de cromo pode ser devido ao desgaste dos anéis ou camisas (se o motor estiver equipado com anéis cromados) ou pode ser devido ao vazamento para o cárter de fluido refrigerante inibido com cromatos. Nos óleos para motores diesel, a detecção de aditivos de óleos não presentes normalmente, em quantidades excessivas ou reduzidas, indica a contaminação ou mistura de óleos. Resíduos do lubrificante do cilindro é um exemplo. A presença de elementos sob forma de traços, como vanádio, sódio e níquel, usualmente mais

encontrados em combustíveis pesados ou intermediários, indicaria contaminação do combustível ou resíduo deste.

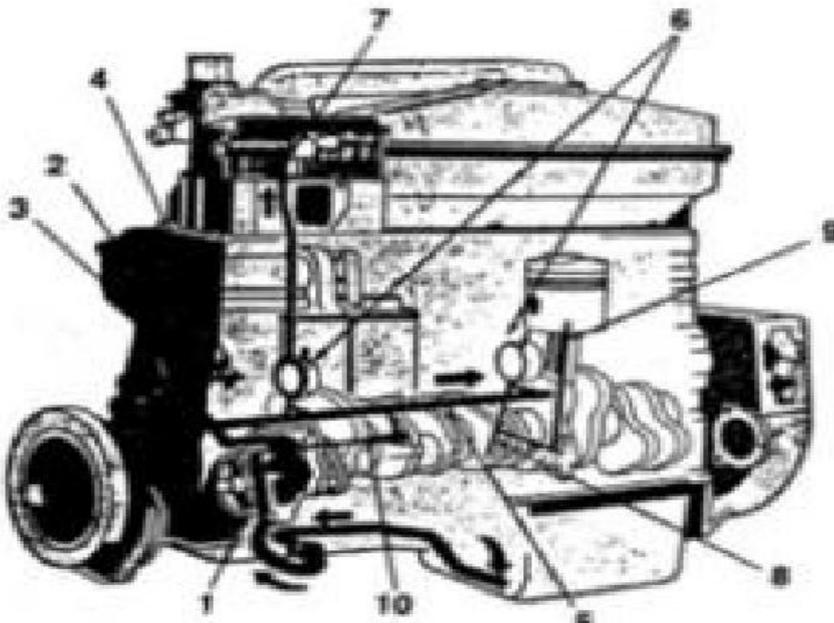
ANEXO

Figura I

Sistema de Lubrificação do motor

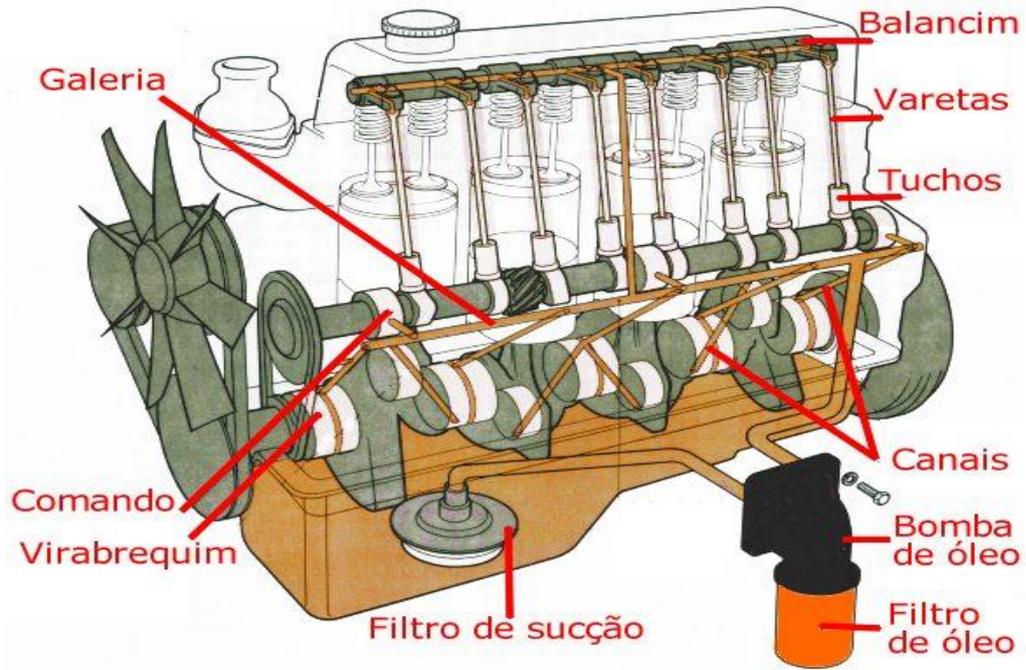
Cummins Série N/NT/NTA-855.

- 1- Bomba de óleo
- 2- Para o arrefecedor de óleo
- 3- Saindo do arrefecedor de óleo
- 4- Bico pulverizador de arrefecimento do pistão
- 5- Galeria principal de óleo
- 6- Buchas da árvore de comando
- 7- Lubrificação para a parte superior do motor
- 8- Mancais principais
- 9- Passagem para lubrificação das bielas
- 10- Linha sinalizadora da pressão do óleo na galeria principal.



Sistema de Lubrificação do motor

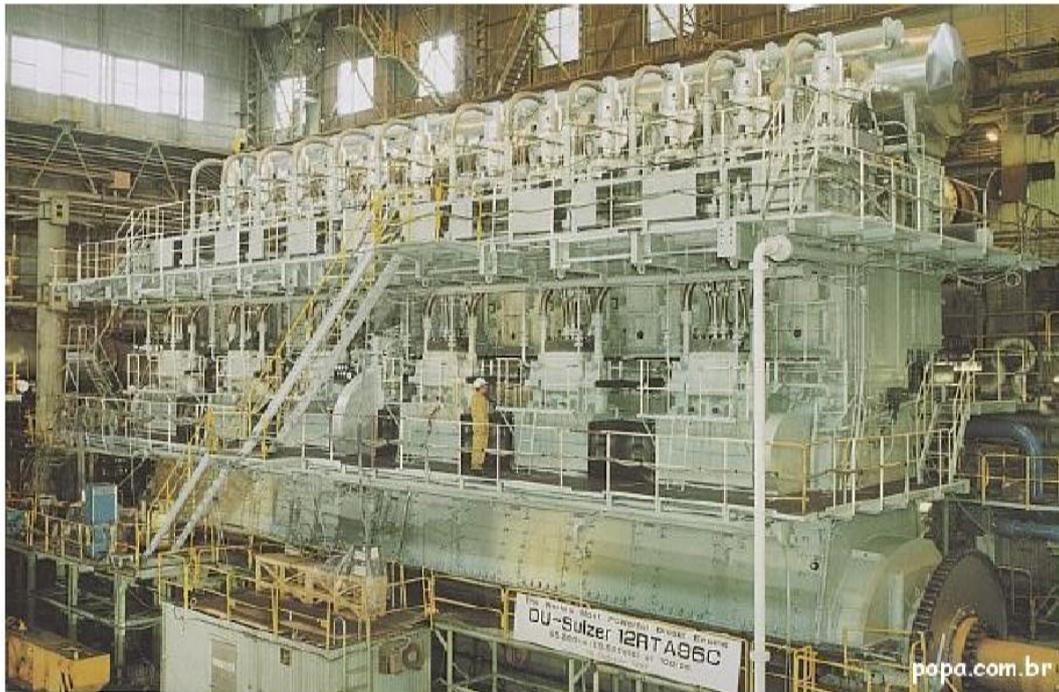
Cummins Série N/NT/NTA-855.



Fonte: www.r19club.com

Figura II

Motor marítimo



Fonte: www.papa.com.br

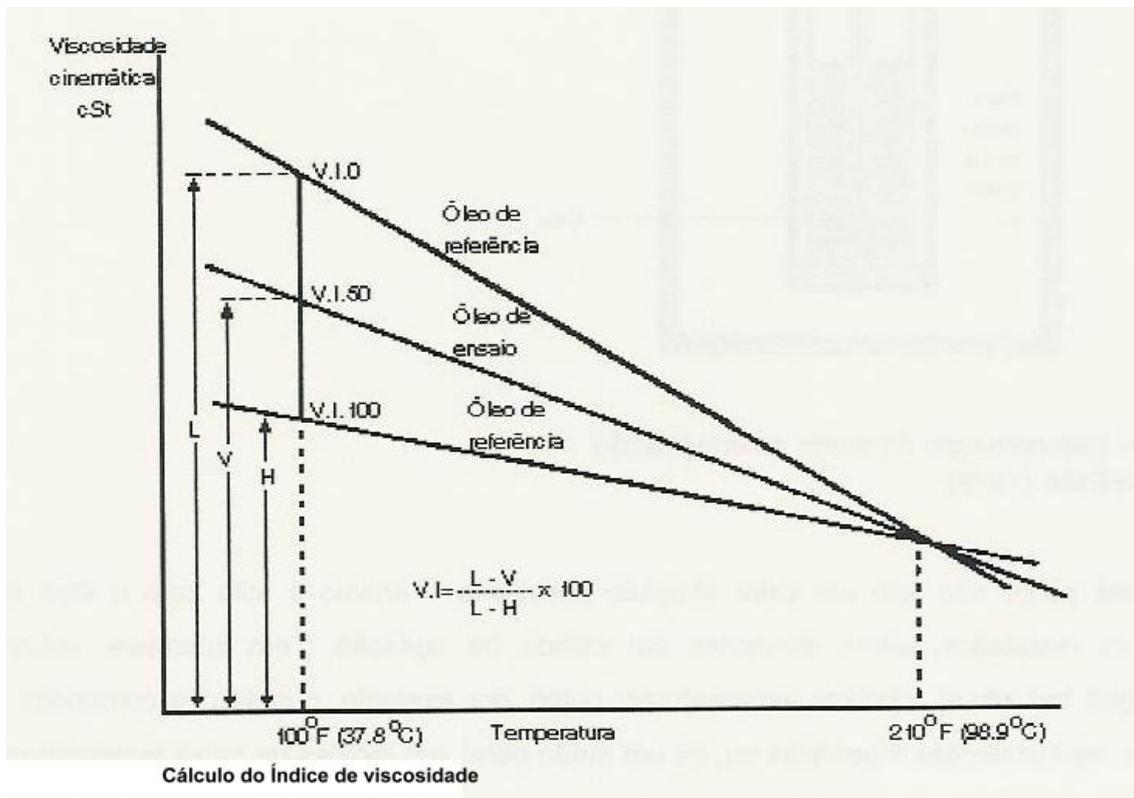
Motores (Marítimo)



Fonte: www.sotreq.com.br

Figura III

Índice de viscosidade



Fonte: <http://img181.imageshack.us/img181/8554/viscosidade1wb7.jpg>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise Bibliográfica, efetuada neste trabalho levou-me a tecer diversas considerações com respeito à formação do Oficial da Marinha Mercante, em especial do oficial de máquinas. Nesta parte vou retomar os pontos que considero mais importantes dessa análise. Entesou-se que a lubrificação é fundamental para que todos os sistemas, que tenham algum movimento relativo, funcionem de uma forma mais regular e econômica, permitindo que o sistema tenha uma vida mais longa e silenciosa. Para proceder a uma correta lubrificação é necessário conhecer os lubrificantes e as suas propriedades. Os lubrificantes são substâncias que colocadas entre duas peças móveis ou uma fixa e outra móvel, formam uma película protetora que tem por função reduzir o atrito e o desgaste, auxiliar na diminuição do calor e a vedação do motor, fazer a limpeza das peças, proteger contra a corrosão decorrente dos processos de oxidação, evitar a entrada de impurezas e transmitir força e movimento. Em suma, a lubrificação é um dos principais itens de manutenção de máquinas e deve, portanto, ser entendida e praticada para aumento da vida útil das mesmas. Porém, deve-se atentar para falhas nesse processo, tendo em vista que uma lubrificação inadequada ou realizada com lubrificantes contaminados acarreta sérios problemas ao motor, tais como desgaste e/ou entupimento do filtro. Para mim, foi gratificante realizar esse trabalho, e espero que o mesmo tenha atendido as expectativas esperadas e venha contribuir para os propósitos, que a comunidade marítima deseja, de melhoria e aperfeiçoamento do Ensino Profissional Marítimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LUBRIFICANTES fundamentos e aplicações. PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. GERÊNCIA INDUSTRIAL - JANEIRO 1999.

MOURA, Carlos; CARRETEIRO, Ronald. **Lubrificantes e Lubrificação. Livros Técnicos e Científicos.** Editora Rio de Janeiro, 1978.

ROUSSO, José. **Lubrificação Industrial.** Rio de Janeiro: CNI/ HEYWOOD, John B; HILL, Mac Graw. **Internal Combustion Engines.**

www.proteste.org.br