

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS – APMA

FERNANDO RAMOS DE ARAUJO

**UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE PARA A DETECÇÃO DE
FALHAS EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

RIO DE JANEIRO

2017

FERNANDO RAMOS DE ARAUJO

**UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE PARA A DETECÇÃO DE
FALHAS EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

Artigo apresentado 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: Ramessés César da Silva Ramos

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Assinatura do Aluno

UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE PARA A DETECÇÃO DE FALHAS EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Fernando Ramos de Araujo*

RESUMO

A algumas décadas atrás, os profissionais se baseavam somente em sinais externos para perceber anormalidades de funcionamento nos equipamentos: cor de fumaça, ruídos estranhos, vibrações, superaquecimento e, às vezes, algo não muito bem definido, mas diferente do habitual. Os lubrificantes eram analisados por critérios semelhantes: aspecto, cheiro, cor e alguns testes elementares. A verdade é que este tipo de avaliação ocorre até nos dias hoje, ocasionando redução ou até mesmo a perda completa da confiabilidade. A tendência moderna é a valorização da análise de óleos, tanto para determinação das ocasiões mais adequadas de troca como para prevenir falha de componentes: Amostras são recolhidas em intervalos predeterminados e encaminhados para análise de laboratório. Assim é possível, por meio de uma gestão preditiva, realizar a medição, interpretação das informações coletadas e um acompanhamento de monitoração contínua baseada nas condições dos equipamentos (móveis ou fixos) e unidades produtivas. Cada vez mais, empresas do ramo industrial vem investindo neste tipo de técnica preditiva, visto suas grandes vantagens, das quais irão impactar diretamente no custo associado ao setor de manutenção.

Palavras-chave: Lubrificantes. Análise. Motores de Combustão Interna. Manutenção Preditiva.

INTRODUÇÃO

O efeito do atrito nos motores de combustão interna é extremamente prejudicial para o seu desempenho, como a força de atrito age no sentido contrário da força motriz causa perda de potência e desgaste das peças. O óleo lubrificante tem como uma de suas funções reduzir o atrito melhorando assim o desempenho do motor.

A lubrificação adequada e permanentemente monitorada é a principal responsável pela longa vida útil dos motores de combustão interna. Qualquer óleo lubrificante, independentemente de sua marca, sofre inúmeras contaminações durante uso, que o colocam

* 2º Oficial de Máquinas.

fora de condições técnicas de lubrificar adequadamente, expondo os componentes mecânicos a elevados níveis de desgastes prematuros e altos riscos de quebras. Evidentemente que não é possível eliminar de forma radical todas as contaminações as quais o óleo lubrificante está sujeito. Entretanto, é possível manter estas contaminações altamente nocivas em determinados limites, possibilitando ao óleo em uso, oferecer uma lubrificação adequada e segura.

Antigamente, os profissionais se baseavam somente em sinais externos para perceber anormalidades de funcionamento nos equipamentos: cor de fumaça, ruídos estranhos, vibrações (sensitivas ou visíveis), superaquecimento e, às vezes, algo não muito bem definido, mas diferente do habitual. Com os lubrificantes não era diferente, a análise do óleo levava em consideração aspectos como cor e cheiro. Com o avanço da tecnologia, observa-se que a tendência moderna é valorizar a análise de óleo, tanto para determinação das ocasiões mais adequadas de troca como para prevenir falha de componentes. Deste modo, torna-se indispensável estabelecer e implantar um programa de análise de óleo lubrificante, afim de mantê-lo dentro de padrões técnicos aceitáveis de lubrificação.

O óleo lubrificante pode sofrer contaminações repentinas em níveis críticos muito antes de vencer o período de troca pré-estabelecido no programa de manutenção. Neste caso, se o óleo não estiver sendo frequentemente monitorado por meio de análise, terá sua lubrificação totalmente comprometida resultando em desgastes e quebras prematuras, até que vença o período de troca para que o óleo seja substituído. Por outro lado, o óleo pode ter uma vida útil prolongada além do estipulado. Com isto, ao monitorá-lo, é possível garantir, com confiabilidade, que o mesmo manterá suas propriedades lubrificantes por mais um determinado tempo, reduzindo os custos diretos na manutenção.

1 NOÇÕES BÁSICAS SOBRE ATRITO E LUBRIFICAÇÃO

Sempre que uma superfície se mover em relação a outra superfície, haverá uma força contrária a esse movimento. Esta força chama-se atrito, ou resistência ao movimento. As superfícies sólidas mesmo as mais polidas, apresentam asperezas e irregularidades. O modo como as superfícies se relacionam caracteriza os mecanismos de atrito: cisalhamento e de adesão.

Cisalhamento: Quando picos das duas superfícies entram em contato lateral entre si, o atrito se desenvolve pela resistência oferecida até à ruptura desses picos. Neste caso, podemos ter duas situações de acordo com a dureza das superfícies. Se ambas têm dureza semelhante,

haverá ruptura de ambos os picos em contato, mas se uma das superfícies possui dureza menor, um pico agirá como ferramenta de corte sobre o outro.

Adesão: Quando as superfícies em contato apresentam áreas relativamente planas em vez de picos, o atrito se desenvolve pela soldagem a frio dessas micro áreas planas entre si, sendo a maior responsável pela resistência ao movimento.

Em alguns casos o atrito é necessário e útil, como no sistema de freio em um automóvel, porém em um motor de combustão interna o atrito dificulta o movimento e consome a energia motriz. Com o intuito de reduzir essa perda, melhorando o rendimento e com baixo desgaste nas peças móveis que os óleos lubrificantes são usados.

O óleo lubrificante forma uma película entre as superfícies em movimento reduzindo os mecanismos de cisalhamento e de adesão, além de reduzir o ruído e o aquecimento durante o movimento das peças.

1.1 O atrito

A força de atrito é a resistência ao movimento relativo entre duas superfícies que estão em contato. O atrito é comumente dividido em atrito seco e atrito viscoso. Pode ser estático, isto é, quando o movimento relativo será iniciado a partir do repouso, ou dinâmico, quando a velocidade de movimento relativo entre as superfícies já é diferente de zero.

O atrito viscoso ocorre quando uma camada de fluido está presente, separando (ao menos parcialmente) as superfícies sólidas, como acontece quando se usa um fluido lubrificante. Na ausência deste fluido o atrito é dito ser seco. O atrito entre componentes de um motor causa perdas de rendimento. De acordo com Taylor (1993), as perdas mecânicas correspondem a 15% do total da energia fornecida com o combustível a um motor de combustão interna. Deste total, 80% são perdas associadas ao atrito entre componentes (nos mancais do motor, no sistema de acionamento das válvulas e entre os pistões e os cilindros, sendo que esta última parcela sozinha responde por cerca de metade de todas as perdas por atrito). O restante está associado ao acionamento de sistemas auxiliares e bombeamento de fluidos.

1.2 O desgaste

O desgaste é a perda de material que ocorre em superfícies que interagem, como consequência do atrito entre elas. O desgaste pode aparecer em várias formas, dependendo do material das superfícies, do ambiente e das condições de operação.

Pelo menos cinco processos de desgaste principais podem ser distinguidos: o desgaste por abrasão, o desgaste por adesão, fadiga de superfície e por fretting e desgaste por erosão:

Desgaste por adesão: ocorre sob condições de deslizamentos onde as asperezas são plasticamente deformadas e soldadas entre si por alta temperatura e pressão local. Quando o deslizamento continua, as junções soldadas são quebradas e o resultado é a remoção do material ou a transferência de material de uma superfície para a outra. Existe a possibilidade que este tipo de desgaste ocorra após aumento de potência no motor, sem as modificações necessárias nos componentes do sistema de lubrificação, de modo a prover o filme de óleo adequado.

Desgaste por abrasão: pode ocorrer devido a partículas duras ou protuberâncias deslizando ao longo de uma superfície sólida macia. Se as partículas de desgaste duras soltas estão presentes entre as superfícies de contato uma ou ambas as superfícies poderão ser desgastadas por raspagem. Pode estar associado a erros de projeto, como o uso de material com dureza inferior à ideal.

Fadiga de contato: ocorre quando carga cíclica enfraquece o material e pode ser o mecanismo de desgaste predominante nos contatos rolantes que envolvem algum deslizamento. É um desgaste causado por fratura decorrente de fadiga de superfície.

Fadiga por fretting: é um desgaste devido a pequena amplitude de movimento oscilatório tangencial entre duas superfícies.

Desgaste por erosão: esta ocorre em situações onde as partículas duras impactam uma superfície sólida e removem material.

O desgaste pode ser classificado como leve ou severo, do ponto de vista da engenharia. Desgaste leve, muitas vezes resulta numa superfície que é mais lisa do que a superfície original. Por outro lado, o desgaste grave muitas vezes resulta em uma superfície que é mais áspera do que a superfície original. O desgaste é um processo contínuo entre as superfícies em contato e tem de ser controlado. Os mecanismos mais comumente associados ao desgaste de motores incluem: desgaste adesivo (cilindros e anéis), o desgaste abrasivo

(cames), o desgaste adesivo severo (cilindros, anéis e cames) e o desgaste por fadiga superficial com aparecimento de “pitting” (topo de haste de válvula, tuchos, balancins).

2 LUBRIFICAÇÃO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

O êxito do funcionamento dos motores de combustão interna depende em grande parte da formação e da manutenção de películas lubrificantes entre as peças sujeitas ao atrito e, ao mesmo tempo, da natureza dessas películas. Os principais fatores a considerar são três: sistema de lubrificação, seleção do óleo adequado e manutenção da pureza do óleo em serviço.

2.1 Sistema de lubrificação

2.1.1 Sistema de lubrificação por salpico

No sistema de lubrificação por salpico simples, que quase não é mais usado nos dias de hoje, o óleo é dirigido pela bomba às calhas em que mergulham os captadores das bielas (pescadores), forçando óleo para os mancais das bielas. Devido ao impacto dos contrapesos da árvore de manivelas no óleo, grande parte do óleo restante é pulverizado, formando uma névoa que se acumula em cavidades acima de orifícios lubrificadores, fornecendo assim a lubrificação para os mancais principais, eixo de comando de válvulas e pinos dos pistões, além de lubrificar diretamente as paredes dos cilindros e mecanismos das válvulas. Esse sistema só pode ser empregado em máquinas de simples efeito.

2.1.2 Sistema de lubrificação por pressão

Nos sistemas de lubrificação sob pressão mais complexos, o óleo é forçado a cada um dos mancais principais da árvore de manivelas, mancais das bielas e mancais da árvore do comando de válvulas e depois, por meio de passagens perfuradas nas bielas, para os pinos dos pistões. O óleo que vaza pelas extremidades da árvore de manivelas em altas rotações, é transformado em uma fina névoa, que proporciona lubrificação as paredes dos cilindros e outros componentes acessados por ela.

O óleo é geralmente levado sob pressão para a lubrificação dos balancins, hastes e tuchos. Algumas bielas possuem uma passagem ou injetor, no mancal da biela, pelo qual o óleo é pulverizado às paredes dos cilindros, para proporcionar uma lubrificação adicional aos

anéis e pistões. O óleo que escapa das diversas superfícies lubrificadas escorre novamente para o cárter. As engrenagens de sincronização são lubrificadas por óleo pulverizado por um bocal derivado da tubulação principal. Os lubrificadores de pressão geralmente são de funcionamento seguro e positivo e fornecem, com grande precisão, quantidades regulares de óleo.

2.1.3 Sistema de lubrificação por mistura

Nos motores de ciclo Otto de dois tempos, devido ao fato de a admissão da mistura ar-combustível dar-se através de janelas de admissão, torna-se impossível uma vedação perfeita que possibilite a permanência do óleo no cárter. Portanto, obtém-se a lubrificação por mistura, isto é, adicionando-se óleo ao combustível. O maior problema de lubrificação nesses motores é fazer com que o óleo chegue à zona de contato entre a árvore de manivelas e a biela. Por isso, nos motores de dois tempos usam-se rolamentos no mancal da biela.

O sistema de lubrificação por mistura exige que o óleo seja nebulizado juntamente com o combustível, que é previamente misturada com o óleo lubrificante na proporção necessária (usualmente de 3 a 5%). Isso pode provocar dificuldades de carburação, pois a mistura nunca é totalmente homogênea. Além do mais, em situações críticas, como em descidas longas, onde o motor é usado como freio e o carburador encontra-se fechado, a lubrificação é quase nula, podendo acarretar desgaste excessivo e até mesmo o grimpamento do motor, pois a quantidade de lubrificante fornecida ao motor é diretamente proporcional à quantidade de combustível aspirado.

Ou seja, em acelerações ou em velocidades maiores, a lubrificação é muito boa, mas nas desacelerações a lubrificação é deficiente. Nos motores dois tempos modernos, para diminuir estes problemas e o incômodo processo de abastecimento de mistura, adota-se um sistema de lubrificação separado, que dispõe de um dosador para injeção do lubrificante no volume adequado.

2.2 Mancais de motores diesel

Para manter completamente separadas as superfícies do mancal e do eixo, mediante uma película de óleo lubrificante, é preciso que esta tenha espessura suficiente para impedir que as asperezas microscópicas de ambas as superfícies cheguem a tocar-se. E isso se consegue

enchendo com lubrificante o espaço livre entre o mancal e o eixo, até formar uma cunha de óleo sobre a qual o eixo possa flutuar.

Nos mancais de motores Diesel essa separação se obtém facilmente quando uma quantidade suficiente de óleo é arrastada pelo movimento do eixo e entra em forma de cunha sob este. Cria-se, assim, uma pressão hidráulica na cunha de óleo, que levanta o eixo e o mantém numa posição flutuante.

Quando o eixo está em repouso, por causa do seu próprio peso, sobra apenas uma película microscópica que permite o contato metálico entre as pequeníssimas asperezas de ambas as superfícies. Ao começar a girar transfere seu peso a uma nova área completamente coberta pelo óleo, o que reduz consideravelmente o atrito, e, ao estar já completamente molhada pelo óleo, a superfície do eixo começa a deslizar sobre a superfície do mancal.

A medida que ganha velocidade, o eixo arrasta mais óleo ao espaço em forma de cunha, essa ação de bombeamento é motivada pela aderência do óleo ao eixo. Origina-se então, uma pressão hidráulica na cunha de óleo que separa o eixo do mancal. A toda velocidade essa pressão se torna ainda mais elevada, assim o único atrito que existe é o pequeno atrito fluido originado pelas partículas de óleo ao deslizarem umas sobre as outras.

2.3 Lubrificação dos cilindros

Por causa do movimento alternativo de um êmbolo, ele sofre uma parada momentânea no início e no final do seu curso. Este fato, associado às condições de alta temperatura e pressão encontradas na câmara de combustão, cria circunstâncias particularmente desfavoráveis à manutenção de uma película contínua de óleo entre os anéis do êmbolo e as paredes do cilindro. Por isso, a lubrificação dos cilindros representa um problema bem mais difícil do que a lubrificação dos mancais.

O óleo usado na lubrificação dos cilindros deve ser suficientemente fluido a fim de alcançar sem demora as suas paredes, espalhando-se rapidamente, por ocasião da partida, com motor frio. Nesse caso os óleos muito viscosos podem falhar sob este aspecto e apresentam, além disso, maior tendência para a formação de carbono. O óleo deve possuir estabilidade química para evitar a formação de depósitos gomosos, e queimar-se sem produzir resíduos carbonados, uma vez alcançada a câmara de combustão.

Os motores diesel são naturalmente sensíveis a qualquer deficiência de operação dos cilindros, pois a mistura do combustível e do ar se efetua após a introdução do combustível na

câmara de combustão. A operação eficiente do motor depende da perfeita vedação da câmara de combustão. Por outro lado, essa vedação depende da película de óleo lubrificante e do funcionamento adequado dos anéis. Uma das principais funções do óleo lubrificante, através de seus aditivos, é impedir a formação de vernizes e depósitos nos êmbolos, anéis e ranhuras dos anéis.

Para o desempenho adequado desta função, deve o óleo ser capaz de manter em solução as substâncias formadas de vernizes, evitar a aglomeração e sedimentação de impurezas insolúveis tais como partículas de fuligem e material carbonado, conservando-as em suspensão sob a forma de minúsculas partículas.

2.4 Componentes do sistema de lubrificação

O sistema de lubrificação é constituído basicamente pelos seguintes componentes:

- Bomba – a bomba de óleo é responsável por aspirar o óleo do cárter e levá-lo, sob pressão, aos canais de lubrificação do motor.
- Filtro de óleo - devido ao funcionamento do motor, é comum que o óleo dissolva e disperse uma certa quantidade de impurezas. Para garantir que o óleo circule no motor livre de partículas que podem causar danos aos componentes, utiliza-se o filtro de óleo. O óleo entra no filtro, e segue uma trajetória circular de alta velocidade dentro do filtro, o papel cheio de resina retém as impurezas do óleo.
- Pescador de óleo - o pescador consiste em um tubo, com uma extremidade fixa ao bloco, e a outra mergulhada no óleo contido no cárter. A extremidade mergulhada no óleo possui um filtro, evitando que partículas maiores circulem pelo sistema.
- Resfriador (radiador) de óleo - o radiador de óleo possui a função de resfriar o óleo lubrificante, onde o resfriamento pode ser feito por água de resfriamento, seja ela doce ou salgada, ou no caso de motores de pequeno porte o resfriamento pode ser feito pelo fluxo de ar através das palhetas em formato de colmeia do radiador.
- Vareta de nível - A vareta serve para a verificação do nível de óleo do motor, o óleo deve estar sempre as marcações de "Max e Min", nunca acima do "Max" nem abaixo do "Min", para não comprometer o funcionamento do motor.

- **Cárter** - É a parte que fecha o bloco no seu lado inferior, serve como espaço para que o óleo fique depositado após circular no sistema e antes de ser aspirado novamente pela bomba.

3 ANÁLISE E CONTROLE DO ÓLEO LUBRIFICANTE

Uma lubrificação só poderá ser correta quando: um ponto de lubrificação recebe o lubrificante correto, no volume certo e no momento exato. A lubrificação correta e o monitoramento contínuo são um dos principais responsáveis pela longa vida útil de veículos, máquinas ou equipamentos.

Qualquer óleo lubrificante independente de sua marca sofre inúmeras contaminações durante o uso, que o colocam fora de condições técnicas de lubrificar adequadamente, expondo os componentes mecânicos a elevados níveis de desgastes prematuros e altos riscos de quebra.

É claro, que não há a possibilidade de se eliminar todas as contaminações as quais o óleo lubrificante está exposto durante o seu uso, porém, pode-se manter estas contaminações dentro de limites aceitáveis, para garantir que o óleo que está em uso apresente uma lubrificação adequada e segura. E para isso é indispensável implantar um programa de análise de óleo lubrificante além de manter os resultados em banco de dados, para que possam ser comparados e rastreados de acordo com a necessidade.

É fundamental que o monitoramento do óleo através das análises seja frequente, pois as contaminações ao óleo podem ocorrer de maneira repentina e em níveis críticos, muito antes do período determinado para a troca. Porém, apenas a troca do óleo contaminado não resolve o problema, uma vez que se a análise do óleo não for realizada, o novo óleo iniciará um novo ciclo e será contaminado, já que a causa da contaminação não foi identificada, causando mais problemas.

Também pode acontecer do óleo em uso chegar ao período estipulado para a troca sem sofrer contaminações críticas, podendo seguir em uso por mais algum tempo, neste caso se descartaria um óleo que ainda está em condições de uso, fato que não ocorreria se uma análise do óleo lubrificante estivesse sendo feita frequentemente.

Assim sendo, para se atingir uma lubrificação tecnicamente adequada a única maneira é a implantação de um programa de análises do óleo lubrificante, resultando na redução de

gastos com reposição de peças, mão de obra, horas paradas e volume de óleo lubrificante consumido.

A análise de óleo consiste em um estudo feito a partir da quantidade, da forma, da composição e do tamanho das partículas encontradas no óleo. A partir deste o estudo é possível obter informações a respeito das condições das superfícies em movimento sem que haja a necessidade de desmontagem do motor. Essas partículas são produzidas pelo atrito dinâmico entre as peças durante o funcionamento do motor. Através da análise das partículas pode-se comparar as situações de desgaste do motor e pode-se atribuí-las a condições físicas ou químicas, como viscosidade, acidez total, basicidade total, e também a concentração de partículas metálicas que se encontram no óleo.

Todas as peças que compõem um motor de combustão interna, apresentam um tempo de vida útil, que varia de acordo com a função da peça. Através da análise do óleo é possível analisar as condições dessas peças, essa análise, permite apontar se há desgaste de alguma peça do motor. Lembrando que as análises são sempre feitas em laboratórios utilizando-se instrumentos, equipamentos e reagentes necessários para tal.

3.1 Controle do óleo

Uma mudança gradual das características do óleo em serviço é considerada normal, já mudanças súbitas podem indicar a necessidade de troca do lubrificante, ou a ocorrência de falha no equipamento. As condições mecânicas do equipamento, ou mesmo os hábitos do operador ao manipular as máquinas, podem ter influência sobre a vida útil do lubrificante. Por isso se faz o controle do óleo usado, e para isso as informações mais importantes são:

a) Avaliação dos contaminantes, qualitativa e quantitativa. Esses contaminantes podem ter origem na própria degradação do óleo ou serem provenientes de fontes internas ou externas ao sistema;

b) Nível de depleção dos aditivos.

No estudo de um óleo usado os ensaios de laboratório mais usados são: aparência, ponto de fulgor, viscosidade, água, insolúveis, cinzas, acidez ou alcalinidade. Ensaios especiais podem ser necessários, inclusive a análise espectrométrica.

3.1.1 Aparência

O aspecto de uma amostra pode fornecer uma série de informações úteis. Turvação, limpidez, emulsão, separação de água, presença de borras ou resíduos sólidos, são dados importantes no estabelecimento dos ensaios a serem efetuados e quando da interpretação dos resultados de análise.

3.1.2 Ponto de fulgor

O ponto de fulgor está diretamente ligado a volatilidade do óleo lubrificante e os hidrocarbonetos mais leves presentes no óleo é que comandam seu valor. A variação do ponto de fulgor vai nos indicar modificações no lubrificante. Seu aumento está quase sempre ligado a perda de frações leves do óleo, o que não é muito frequente. Sua diminuição indica a contaminação do óleo por produtos leves que podem ter origem externa ao óleo (por exemplo, diluição do lubrificante em motores de combustão interna por resíduos de combustível não queimado) ou resultante do craqueamento do lubrificante (muito comum em óleos para transferência de calor). A queda do ponto de fulgor, isto é, a diluição do óleo por hidrocarbonetos mais voláteis, traz sempre como consequência a queda da viscosidade.

3.1.3 Viscosidade

A determinação da viscosidade é um dos itens mais importantes no controle de óleos usados. Assim como a viscosidade é uma das características mais importantes na seleção do lubrificante adequado para determinado equipamento, sua variação durante a utilização do lubrificante é muito crítica e variações tanto para mais, como para menos, irão comprometer seriamente a lubrificação do equipamento. Os fatores mais comuns, que afetam a viscosidade são:

- a) diluição por combustível provoca a queda da viscosidade;
- b) água emulsionada, causa espessamento; separa ou em bolsões causa escoamento irregular e rompimentos localizados da película lubrificante;
- c) sólidos em suspensão, principalmente fuligem, provocam o espessamento do óleo;
- d) Produtos de oxidação (gomas, resinas) causam o espessamento.

A viscosidade e o ponto de fulgor de uma amostra de óleo usado, quando interpretados em conjunto são de grande importância. É comum um lubrificante de motor apresentar sensível queda no ponto de fulgor e sua viscosidade praticamente não variar. Isto ocorre porque o óleo contém um ou mais dos contaminantes acima referidos, que provocam seu espessamento. Em função desses ensaios podemos estabelecer quais outros devem ser feitos para a identificação desses contaminantes.

3.1.4 Água

A presença de água no lubrificante é indesejável por diferentes razões, já que, além de provocar o espessamento do óleo, ela poderá hidrolisar e decompor certos aditivos, catalisar o processo de oxidação do óleo, provocar corrosão e facilitar a formação de espuma. E quando separada, a água provoca um escoamento irregular do óleo e falhas na lubrificação.

3.1.5 Insolúveis

Entende-se por insolúveis, substâncias presentes no óleo e que são insolúveis em determinados solventes e englobam os produtos de oxidação presentes no mesmo, tais como, poeiras, partículas de desgaste e fuligem. O resultado do teste de insolúveis pode ser: insolúveis em N-pentano e insolúveis em benzeno.

Os insolúveis em N-pentano indicam a totalidade dos insolúveis presentes no óleo, inclusive os produtos de oxidação que estavam dissolvidos e que foram precipitados pela ação do N-pentano, que por ser um hidrocarboneto parafínico, tem a propriedade de precipitar as gomas e resinas resultantes da oxidação do óleo.

Uma vez determinado os insolúveis em N-pentano, esse mesmo resíduo é tratado por benzeno, que por sua alta capacidade solvente irá dissolver os produtos de oxidação, não tendo qualquer ação sobre os demais insolúveis. A diferença entre insolúveis em N-pentano e insolúveis em benzeno nos dará a quantidade de produtos de oxidação presentes no óleo.

3.1.6 Cinzas

Ao se queimar um óleo lubrificante os hidrocarbonetos e os compostos contendo oxigênio, nitrogênio e enxofre se transformam em gases (CO, CO₂, NO₂, SO₂) e vapor

d'água. Se o óleo contiver elementos metálicos, ou sob a forma de aditivos ou como contaminantes provenientes do desgaste, haverá a formação do óxido correspondente do metal. Existem dois métodos para a determinação da cinza: cinza simples e cinza sulfatada.

No primeiro processo, a determinação da cinza é feita diretamente pela queima da amostra e sua posterior calcinação e os metais presentes são transformados em óxidos. Este processo é aplicado principalmente para os óleos minerais puros. No caso de óleos contendo aditivos de base metálica recomenda-se o segundo processo, ou seja, cinza sulfatada. Neste processo após a queima da amostra, o resíduo é tratado por ácido sulfúrico, os óxidos metálicos são transformados em sulfatos e após eliminação do excesso de ácido, faz-se a calcinação. Este método é utilizado porque a maioria dos óxidos dos metais normalmente presentes nos aditivos (Ca, Ba, Zn, Pb) são parcialmente voláteis e a cinza direta dará resultados imprecisos. Enquanto que os sulfatos desses metais têm maior estabilidade ao calor e não haverá perda durante a calcinação.

Já no caso de óleos contendo aditivos, a cinza inclui também os metais do aditivo. A cinza por si só não traz muito esclarecimento sobre as contaminações do óleo, porém, o exame quantitativo da cinza, para dosagem de ferro, sílica, chumbo e cobre pode ser usado na indicação da origem dos contaminantes.

3.1.7 Índice de neutralização

A acidez ou alcalinidade de um lubrificante são expressas em termos de:

- a) TAN número de acidez total;
- b) TBN número de alcalinidade ou basicidade total

O TAN corresponde à qualidade da base, expressa em miligramas de KOH, necessária para titular todos os constituintes ácidos presentes em um grama de amostra. O TBN é a quantidade de ácido, expressa em termos do número equivalente de miligramas de hidróxido de potássio, necessária para neutralizar todos os constituintes de natureza básica presentes em um grama de amostra. Portanto tanto o TAN quanto o TBN são expressos em mg KOH/g.

O TAN pode ser medido pelo número de neutralização por titulação colorimétrica (ASTM D-974) ou pelo número de neutralização por titulação potenciométrica (ASTM D664). Este último método é utilizado quando a amostra é escura e não permite a visualização do ponto de viragem do indicador, ao se utilizar o método colorimétrico. O TBN é

determinado pelo número de neutralização por titulação potenciométrica (ASTM D664 ou ASTM D-2896). O método colorimétrico baseia-se na mudança de coloração de um indicador e o potenciométrico na diferença de potencial gerado quando se colocam dois eletrodos de diferentes materiais na solução que se deseja medir, sendo esta diferença de potencial pode ser relacionada diretamente ao valor de pH da solução.

A determinação do TAN ou TBN é de grande utilidade no estudo de óleos usados. Durante o uso, o óleo sofre um processo de oxidação dando origem a produtos de caráter ácido e, para se avaliar o grau de oxidação do óleo fazemos a determinação do TAN. Por outro lado, certos óleos, como os de motor, contém uma reserva alcalina responsável pela neutralização dos ácidos formados na combustão, reserva essa medida pelo TBN. Durante o uso, enquanto os aditivos vão executando a sua função de neutralizar os ácidos, o TBN vai caindo.

3.2 Análise espectrográfica

A análise espectrográfica dos óleos lubrificantes usados, realizada nos aparelhos de emissão espectrográfica ou no espectrofotometro de absorção atômica, fornece resultados rápidos e precisos dos contaminantes inorgânicos presentes nas amostras testadas. Além dos elementos contidos nos aditivos do óleo, outros metais como ferro, cobre, alumínio, cromo, chumbo e silício, são de especial interesse para se avaliar, por exemplo, problemas na lubrificação das partes móveis do motor, que ocasionam o desgaste de determinadas peças, ou problemas provenientes do mau funcionamento do sistema de filtragem de ar. Os valores obtidos de cada elemento nos testes, permitem se corrigir operações inadequadas do equipamento, ou ainda dados significativos para se elaborar um plano de manutenção preditiva.

A interpretação dos resultados obtidos, deve ser feita por técnicos capacitados, que tenham conhecimento do tipo do óleo analisado e de sua origem, além dos dados de operação do equipamento, para poderem avaliar corretamente o significado relativo de cada elemento contido na amostra analisada. A determinação dos metais e outros elementos produzidos por desgaste e sua concentração, e a consideração principal neste tipo de análise. Destes materiais, o ferro e o silício são os que estão mais associados com o desgaste mecânico. O ferro está relacionado com o desgaste corrosivo e abrasivo sofrido pelas partes constituídas deste material, como camisas de cilindro, árvore de comando de válvulas e sedes de válvulas. O

silício provém geralmente da sujeira e pó abrasivo devido à má filtragem ou entrada falsa de ar no sistema de admissão. O cromo indica desgaste de anéis. O alumínio indica desgaste nos pistões e o cobre está associado com o desgaste ou corrosão dos casquilhos de mancais.

Alguns fabricantes de motores estabelecem concentrações máximas de certos metais, baseados nas experiências em serviço obtidas em muitos anos de observação e controles. Mesmo assim, a melhor forma de abordar este problema é através da experiência e análise com cada tipo de motor, a fim de se determinar os valores críticos para estes elementos de desgaste. Os valores limites estabelecidos por um fabricante ou pelos usuários, não valem para outros fabricantes ou usuários com outras condições de serviço.

O óleo lubrificante usado sempre apresenta metais de desgastes das partes internas, sendo preocupante somente quando excede os limites normais do equipamento em cada situação.

A seguir será apresentado um guia para interpretação de análise de óleo em motores diesel:

Tabela 1 – Interpretação dos resultados das análises de óleo lubrificante

Fonte: Tabela adaptada do IFF – Campos. Apostila de Lubrificação.

RESULTADO DA ANÁLISE	POSSÍVEIS CAUSAS
Redução da viscosidade	Passagem do combustível para o óleo; Complementação do nível do óleo com óleo de menor viscosidade.
Aumento da viscosidade	<ul style="list-style-type: none">• Oxidação;• Intervalos muito longos entre as trocas de óleo;• Motor que trabalha com superaquecimento;• Filtro de óleo saturado;• Anéis de seguimento em mal estado;• Contaminação por água;• Contaminação por fuligem;• Complementação com óleo mais viscoso.
Contaminação por água	Condensação; Trincas no cabeçote; Junta do cabeçote defeituosa ou queimada; Resfriador de óleo com vazamento; Motor trabalhando em baixa temperatura; Contaminação externa; Armazenamento incorreto.

Análise Espectrográfica	
• Silício	Problemas no sistema de filtragem.
• Cromo	Desgaste dos anéis.
• Alumínio	Desgaste dos pistões.
• Ferro	Desgaste das camisas.
• Cobre	Desgaste dos casquilhos.
• Chumbo	Desgaste dos mancais.
• Níquel	Desgaste das válvulas.
• Boro	Contaminação de água de resfriamento com anti-congelante ou inibidor de corrosão.
• Molibdênio	Desgaste de anéis de pistão recobertos com camada de Molibdênio.
Redução do ponto de fulgor	Presença de combustível no lubrificante.
Alto teor de insolúveis em pentano e tolueno	Problemas na filtragem do óleo; Arrefecimento deficiente; Problemas na combustão.
Queda no valor do TBN (número básico total) ou aumento do número de neutralização	Óleo de baixa qualidade; Intervalo de troca muito longo; Filtragem inadequada; Contaminação com água; Arrefecimento deficiente; Combustível com alto teor de enxofre; Baixa temperatura da água de camisa.

CONCLUSÃO

Esse artigo teve como objetivo mostrar como a lubrificação é indispensável em qualquer equipamento que contenha algum movimento relativo entre peças. E como é importante conhecermos os tipos de óleo e suas propriedades para que se possa fazer uma lubrificação adequada, com o fim de se obter um melhor rendimento e maior vida útil dos equipamentos.

Para se obter esses resultados primeiramente devemos ter uma lubrificação adequada, que ocorre quando um ponto de lubrificação recebe o lubrificante correto, no volume certo e no momento exato. Pois somente assim o lubrificante formará uma fina película líquida que separa as partes móveis, diminuindo assim a força de atrito além de realizar corretamente suas outras funções como proteção contra oxidação das peças e resfriamento.

Além de deixar claro a importância da análise do óleo lubrificante, técnica já bastante difundida dentro das empresas de navegação, *offshore* e da indústria em geral. A análise de óleo lubrificante é uma das principais técnicas aplicadas dentre os métodos de manutenção preditiva. Onde as análises devem ser feitas de forma periódica e os resultados armazenados para que comparações possam ser feitas e resultados rastreados.

Em relação ao resultado das análises, podemos ver neste trabalho a importância de cada parâmetro, as formas de teste e como os resultados são analisados. Quando o óleo analisado é de um motor de combustão interna, muitos problemas podem ser identificados enquanto estão em seu estado inicial podendo ser monitorados enquanto se mantiverem dentro das faixas limites de cada componente encontrado. Além da possibilidade de identificação de desgastes prematuros que possam ocorrer em determinadas peças.

USE OF LUBRICANT OIL ANALYSIS FOR TROUBLESHOOTING IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

ABSTRACT

A few decades ago, professionals relied only on external signals to detect abnormalities in equipment functioning: smoke color, strange noises, vibrations, overheating, and sometimes something not very well defined, but different from usual. Lubricants were analyzed by similar criteria: appearance, smell, color and some elemental tests. The truth is that this type of evaluation occurs even nowadays, causing reduction or even the complete loss of reliability. The modern tendency is to evaluate the oil analysis, to determine the most appropriate times of exchange and to avoid component failures: samples are collected at predetermined intervals and forwarded for laboratory analysis. That away, it is possible, through a predictive management, to carry out the measurement, interpretation of collected information and continuous monitoring based on the conditions of the equipment (mobile or fixed) and productive units. Increasingly, companies in the industrial sector are investing in this type of predictive technique, having its great advantages, which will directly affect the cost associated with the maintenance sector.

Keywords: Lubricants. Analysis. Internal combustion engines. Predictive Maintenance.

REFERÊNCIAS

CARRETEIRO, Ronald Pinto; BELMIRO, Pedro Nelson A. *Lubrificantes e Lubrificação Industrial*, 2006.

IFF – Campos. *Apostila de Lubrificação*, 2013.

JOSEPH II, JONH P. *Rotating Equipment Systems Technical Associates*, LLC, 2013.

MOREIRA, Luiz Felipe Silva. *Otimização da Manutenção em Plataformas Offshore de Exploração e Produção de Petróleo*. Projeto Final de Conclusão de Curso na Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

RIBEIRO, Jéssica Borges; GOMES, Mayara Cardoso. *Manutenção preditiva em motores de combustão interna por análise de óleo lubrificante*. Projeto Final de Conclusão de Curso no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, 2016.

RUDNICK, Leslie R. *Lubricant Additives: Chemistry and Applications*. Second Edition, 2009.

SZWEDO, John D. *Preventive, Predictive and Corrective Maintenance*. WWOA Annual Conference, 2012.

VARELLA, C.A.A.; SANTOS, G. de S. *Apostila de Noções Básicas de Motores Diesel*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010.