



SÓLIDOS, LÍQUIDOS E GASES

por John S. Evans, B.Sc.



John Evans, gerente de diagnóstico da WearCheck

Neste boletim iremos discutir sólidos, líquidos e gases e o seu relacionamento com a sujidade, água e ar - três dos contaminantes mais comuns encontrados no óleo. Olhamos para as suas causas, os danos que provocam, como detetá-los e como impedir que causem problemas.

Na escola ensinaram-nos que existem três formas de matéria: sólidos, líquidos e gases. Na verdade, existe uma quarta forma, plasma, mas é improvável que encontre esta forma de matéria no quotidiano. O plasma é uma massa de partículas ou iões carregados. Surpreendentemente, os utilizadores da análise de óleo estão mais perto de entrar em contato com o plasma, do que aquilo que poderiam imaginar. O tipo de espectrómetro que analisa o óleo procurando metais de desgaste, contaminantes e aditivos de óleo é conhecido como um espectrómetro de ICP ou espectrómetro de plasma de acoplamento induzido. As elevadíssimas temperaturas atingidas no plasma permitem que os átomos de ferro ou de silício, por exemplo, emitam luz de uma frequência característica

que pode ser medida e utilizada para determinar a concentração do átomo presente no óleo.

Creio que basta de física para este boletim, assim regressemos às três formas de matéria que todos conhecemos: sólidos, líquidos e gases. Um bloco de gelo é um sólido, se o aquecermos um pouco irá derreter e transformar-se em água, que é um líquido e, se o aquecermos ainda mais, irá transformar-se em vapor, que é um gás.

Um dos principais problemas encontrados na análise de óleo é a contaminação, sendo que um contaminante do óleo pode ser um sólido, líquido ou gasoso. Este boletim irá incidir sobre cada um dos que compõem os três contaminantes mais comuns encontrados no óleo: sujidade, água e ar. Todos estamos familiarizados com a sujidade e água como contaminantes, mas nem todos consideram o ar como um problema, provavelmente devido à sua natureza etérea.

CONTAMINANTES SÓLIDOS

Começamos com o contaminante mais comum encontrado no óleo - sujidade, areia, brita, poeira, poeira aérea, sujidade grossa, terra ou seja qual for o nome. É esse material que encontra no jardim ou à beira-mar em Durban. Também é muito duro, muito abrasivo e muito destrutivo, mecanicamente, se contaminar o seu óleo. A brita da estrada é mais dura que aço inoxidável.

As partículas de poeira vêm numa ampla gama de tamanhos, desde sujidade grossa que é observável a olho nu até partículas microscópicas inferiores a um micron. Um grão de areia típico tem cerca de 500 micrones ou meio milímetro; o pó de uma fábrica de cimento pode ter cerca de 5 micrones de tamanho. Como regra geral, a espessura de um cabelo humano é cerca de 50 micrones.

As partículas de sujidade podem ser bastante pequenas e podem facilmente estar em suspensão no óleo - como veremos, são as partículas de 10 a 20 micrones de tamanho que causam os danos e estas quase nunca sedimentam. Isto significa que o óleo pode ser facilmente transformado numa pasta abrasiva.

Podemos intuitivamente pensar que colocar um punhado de areia da praia na abertura de enchimento do motor é uma maneira eficaz de sabotar o motor. Sim e não - o tamanho das partículas de poeira é crucial. A partícula que causa mais danos é a partícula que tem aproximadamente a mesma largura que a folga entre as superfícies móveis. Tipicamente, num motor, será entre 10 e 20 micrones ou desde metade a um quarto da largura de um cabelo humano.

Na seguinte tabela são fornecidos exemplos de folgas:

Sistema mecânico	Faixa típica de folga
Anel ao forro	0,3 – 7,0 micron
Rolamentos de chumaceira	0,5 – 20 micron
Rolamentos	0,8 – 50 micron
Comando de válvulas	0,1 – 1,0 micron
Rolamentos de pé de biela	0,5 – 15 micron
Engrenagem	0,1 – 1,5 micron
Chumaceira lisa	0,5 – 100 micron
Rolamentos de cilindros	0,1 – 3,0 micron
Bombas de palheta	5,0 – 15 micron
Bombas de engrenagem	0,5 – 5,0 micron
Bombas de pistão	5,0 – 40 micron

Isto significa que as partículas maiores que 25 micron, na maior parte dos casos, são demasiado grandes para se colocarem entre as superfícies móveis de modo a causar danos. As partículas inferiores a 5 micron passam pelas folgas sem causar qualquer dano. São as partículas que podem ficar presas entre as superfícies metálicas e que provocam abrasão ao corpo que causam todo o dano. Sim, um punhado de areia da praia pode causar estragos num motor, mas a sujidade necessitaria primeiro ser triturada para poder causar danos realmente sérios.

Felizmente, a análise de óleo tem uma série de formas para detetar contaminação por sujidade. A composição química da sujidade comum ou de jardim está bem estabelecida, sendo geralmente uma mistura de silício e óxidos de alumínio.

O espectrómetro ICP mencionado no parágrafo de abertura deste

boletim pode medir a quantidade desses elementos no óleo com facilidade e precisão. Um aumento no silício é geralmente assumido como indicação da entrada de sujidade no óleo. Um aviso: a sujidade não é a única fonte de silício numa amostra de óleo. O aditivo antiespuma no óleo e as vedações e juntas à base de silicone contêm silício. O Silício também é encontrado na química dos líquidos de arrefecimento e é, por vezes, ligado com o alumínio para reduzir o coeficiente de expansão dos pistões. Para que um aumento do nível de silício seja provocado pela entrada de sujidade, deve estar acompanhado por um aumento do alumínio, o outro principal componente da sujidade.

A contagem de partículas também pode ser usada para detetar a entrada de sujidade, particularmente de sujidade grossa.

O contador de partículas emite um laser através da amostra de óleo e as partículas criam sombras sobre um detetador que as conta. O instrumento não pode distinguir entre sujidade e metal de desgaste, mas assim que for detetada uma contagem elevada de partículas, o óleo pode ser filtrado através de uma membrana e os restantes detritos podem ser examinados microscopicamente. Se for encontrada sujidade é possível executar a ação de manutenção corretiva antes da ocorrência de desgaste grave.

Apesar da análise de óleo ser boa a detetar a entrada de sujidade, para que possa tomar as medidas corretivas, o ideal é impedir a entrada da sujidade. É uma realidade da manutenção que a limpeza do óleo custa dez vezes mais que impedir a entrada da sujidade. Certifique-se que os respiradores usados são de elevada qualidade e que as juntas e vedações estão bem mantidas, tratar todos os vazamentos de óleo seriamente e ser escrupuloso com a higiene do óleo.

Existem muitos outros contaminantes sólidos que podem ser encontrados no óleo, tais como a fuligem, detritos de desgaste, contaminantes de processo ou ambientais e resíduos de óleo. No entanto, a sujidade é o mais comum e o mais destrutivo.

CONTAMINANTES LÍQUIDOS

Passemos aos contaminantes líquidos. Estes poderiam incluir líquidos de arrefecimento, combustíveis, massas lubrificantes, outros óleos e derivados da degradação do óleo, mas o mais comum é a água.

A água é prejudicial mecanicamente, na medida em que pode provocar a corrosão ou oxidação, e também quimicamente pois pode interagir quimicamente com o óleo provocando a sua decomposição através de um processo conhecido como hidrólise.

Depois da sujidade, a água é o contaminante mais comum e a maioria das pessoas desconhecem a agressividade da água, que ataca tanto a máquina como o lubrificante. A seguinte lista mostra os vários modos de ataque de água:

- Desgaste por erosão
- Fricção estática da válvula
- Cavitação
- Corrosão
- Fragilização do hidrogénio
- Depósitos de sedimentos e fuligem
- Degradação dos aditivos
- Aumento da viscosidade
- Perda de força de película
- Formação de ácidos
- Crescimento fúngico e bacteriano
- Depósitos de cera
- Emulsões
- Aumento do arrastamento de ar
- Formação de espuma
- Sedimentação
- Precipitação de aditivos

Esta é uma lista impressionante de formas de danos e todas são bastante comuns.



A água pode entrar num sistema de lubrificação por várias maneiras, tais como a contaminação durante o enchimento ou durante práticas regulares de manutenção.

Os compartimentos de óleo respiram sendo que a água pode condensar. As fugas de líquido de arrefecimento interno podem ocorrer em componentes arrefecidos por água. A lavagem ou limpeza a vapor de um componente pode introduzir água num sistema através de vedações, juntas ou respiradores danificados.

Lembre-se, se o óleo pode sair, então a sujidade e água podem entrar; mais uma vez, tratar seriamente todas as fugas de óleo. Além disso, lembre-se que nenhum sistema está totalmente vedado, se assim fosse, seria impossível recolher uma amostra de óleo!

Tenho a certeza que está familiarizado com o ditado que afirma que a água e o óleo não se misturam. Bem, isso só é verdade até certo ponto. Quantidades muito pequenas de água são capazes de se dissolverem no óleo, o que significa que a água pode existir no óleo em três formas distintas: dissolvida, emulsionada e livre.

A quantidade de água que pode estar dissolvida no óleo dependerá do tipo de óleo, da sua química de aditivos, idade do óleo, nível de degradação e o número, tipo e concentração de contaminantes - a química está longe de ser algo simples. A seguinte tabela fornece uma ideia de quanta água pode estar dissolvida nas diferentes categorias de óleo:

Tipo de óleo	Nível de dissolução	Emulsionado	Livre
Motor	Até 2000 ppm	2000 – 5000 ppm	> 5000 ppm
Hidráulico	Até 200 ppm	200 – 1000 ppm	> 1000 ppm
Engrenagem	Até 500 ppm	500 – 2000 ppm	> 2000 ppm
Turbina	Até 150 ppm	150 – 500 ppm	> 500 ppm

Note que 1 ppm é equivalente a 1/10 000 de um por cento ou seja 1000 ppm são 0,1%.



Tal como acontece com a sujidade, a contaminação por água é facilmente detetada numa amostra de óleo. A água pode ser destrutiva de muitas formas, mas também pode ser detetada através de vários meios em laboratório.

Testa-se a presença de água em todas as amostras; podemos proceder assim porque os testes de triagem são baratos, fáceis, rápidos e eficazes. Todas as amostras passam uma análise FTIR (Espectrofotometria de infravermelhos) que deteta subprodutos da combustão e a degradação do óleo. Este teste também pode ser utilizado para procurar a presença de água e a sua quantificação. À medida que o teste é realizado a todas as amostras de óleo do motor a detecção de água é levada a cabo sem qualquer custo, tempo e trabalho adicional, tendo um limite de detecção de aproximadamente 500 ppm. Todas as moléculas vibram e o espectrómetro FTIR funciona ao medir a frequência destas vibrações.

Todos os outros tipos de amostras são submetidos ao que é conhecido como o teste de crepitação. São colocadas algumas gotas de óleo sobre uma placa quente a cerca de 150 °C. A esta temperatura a água entra em ebulição, mas o óleo não, se houver alguma água presente no óleo irá ferver através da superfície do óleo, esguichando e crepitando. Um bom técnico deve ser capaz de detetar água até 500 ppm (0,05%) podendo detetar uma grande quantidade de amostras rapidamente, com precisão e de forma barata. Este teste também pode ser facilmente realizado na oficina.



Assim que uma amostra acusar num dos testes de rastreio, pode ser levada a cabo uma determinação real da água. Se o teste de rastreio indicar que a quantidade de água presente é aproximadamente 1% ou menos, a amostra é submetida a uma titulação de Karl Fischer. Neste teste, a amostra de óleo é aquecida para eliminar qualquer humidade no óleo. Os vapores entram num reator, onde são automaticamente titulados com reagentes especiais concebidos para detetar água. O instrumento pode, então, fornecer uma leitura digital da quantidade de água presente. Este instrumento é surpreendentemente preciso e pode medir a presença de água até menos de 10 ppm (1/1000 de 1%). Para a maioria das aplicações

industriais e automotivas a água é medida com uma precisão de 0,1% ou 1000 ppm e é relatada em conformidade. Se for necessária maior precisão tal pode ser alcançado com um conjunto especial de amostragem. Uma precisão extra é importante para compressores de arrefecimento e óleos isolantes.

Se o teste de rastreio indicar que a quantidade de água presente pode ser superior a 1%, uma quantidade da amostra é pesada e feita reagir com hidreto de cálcio. Quando este produto químico entra em contacto com a água reage e liberta hidrogénio gasoso, cujo volume pode ser medido utilizando um simples manómetro e será proporcional à quantidade de água presente.

Finalmente, se o óleo estiver grandemente contaminado com água (> 25%), colocar a amostra num cilindro de medição e medir a altura das duas camadas fornece uma estimativa fiel da quantidade de água presente

Note-se que alguns óleos retardadores de fogo são formulados com água presente, geralmente a um nível de cerca de 40%. Estes óleos têm um aspeto claro e não existe separação em camadas do óleo e água. Medir a quantidade de água nestes lubrificantes fornece indicações relativas à saúde do óleo, não significando que a presença de água é algo mau.

As mesmas regras, práticas e precauções relativas à contenção da sujidade também se aplicam à água. Adicionalmente pode considerar a instalação de respiradores dessecantes para remover a água antes que entre no sistema lubrificado.

CONTAMINAÇÃO AÉREA

Chegamos agora ao nosso último contaminante, o ar, que a maioria das pessoas nem sequer considera como contaminante. No entanto, pode ser tão destrutivo como a sujidade ou água. Como a água, o ar pode existir no lubrificante sob várias formas: dissolvido, ocluso, espuma e livre.

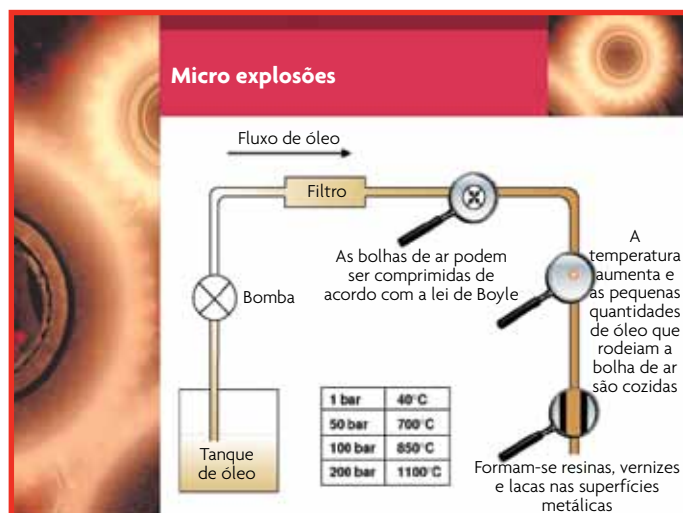
Até cerca de 10% do volume de um óleo pode ser devido a ar dissolvido. Normalmente não deve ser motivo para alarme, mas pode resultar num funcionamento esponjoso dos sistemas hidráulicos. O ar ocluso, que é provavelmente o mais danoso, consiste em minúsculas bolhas de ar transportadas pelo óleo e frequentemente resulta numa aparência nebulosa.

A espuma existe como uma camada estável de bolhas de ar maiores na superfície do óleo e pode dar origem à corrosão, bolsas de vapor e elevada compressibilidade, podendo não ser um problema por

si só, mas indicando um arrastamento de ar excessivo. A espuma pode igualmente compor até 30% do volume de um óleo. A espuma é frequentemente um problema cosmético e não a causa de danos mecânicos. Ar livre é simplesmente uma grande bolsa de ar aprisionada num ramal morto algures no sistema e não é geralmente uma indicação de um problema, mas pode contribuir para a corrosão e criação de bolsas de vapor.

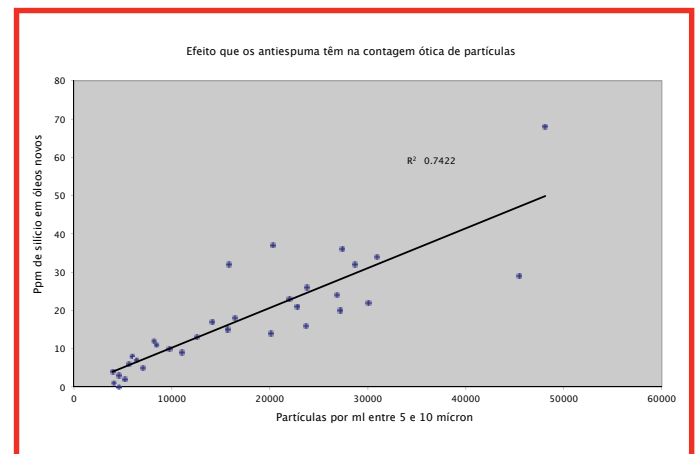
Existem várias causas de contaminação aérea mas, provavelmente, a mais comum é a presença de água. A água reduz a tensão superficial do óleo, permitindo que as bolhas de ar se separem em bolhas de menor volume que são facilmente suspensas no óleo. Outros contaminantes podem ter um efeito semelhante, particularmente partículas finamente pulverizadas. Outras causas incluem a perda ou desativação de aditivos antiespuma, utilização da viscosidade do óleo errada para uma determinada aplicação, má concepção dos reservatórios e, talvez a mais comum, fugas na linha de sucção.

O arrastamento de ar pode causar vários efeitos negativos nas propriedades de lubrificação do óleo. O ar contém oxigénio, deste modo o aumento da quantidade de ar irá aumentar o potencial de oxidação do óleo. Também pode aumentar a degradação térmica do óleo. Pequenas bolhas de ar podem ser comprimidas por ação mecânica até volumes muito pequenos que, por sua vez, geram temperaturas muito elevadas. A pequena película de óleo que circunda a bolha de ar será então carbonizada num processo denominado micro explosão que produz verniz. A presença de ar, também reduz as propriedades de transferência térmica do óleo, resultando em sobreaquecimento. O ar decompõe as películas do óleo, causando desgaste ao deslocar camadas de lubrificantes. Como mencionado anteriormente, a contaminação por ar pode resultar num mau controlo hidráulico. Determinadas misturas de óleo também podem provocar problemas com o ar.



Um dos aditivos antiespuma mais comuns é um produto químico denominado polimetilsiloxano (PMS). Este produto químico contém silício, o que explica por que razão o óleo fresco do tambor contém entre 5 e 15 ppm de silício. Isto não é sujidade, mas um aditivo misturado no óleo pela empresa petrolífera. É importante notar que este composto é adicionado em quantidades infinitamente pequenas, apenas 10 ppm, a fim de realizar o seu trabalho. É também importante notar que a sobredosagem com este aditivo pode, atualmente, causar problemas de libertação de ar. Este é um dos aditivos que têm que estar corretos.

O PMS tem um peso molecular muito elevado e pode formar grupos de moléculas chamadas micelas. Isso resulta no chamado "efeito olho de peixe" e o aditivo pode ser detetado pelo contador de partículas. O seguinte gráfico mostra uma clara correlação entre a contagem de partículas 5-10 microm e a quantidade de silício numa seleção de óleos recolhidos da nossa nova biblioteca de óleos. É também o único aditivo que pode ser removido do óleo através de filtração ultrafina.



O PMS tem uma tensão superficial muito reduzida sendo conhecido como um agente tensoativo. Adere à interface óleo-ar e causa a sua decomposição, causando o colapso da espuma. Se ocorrer uma sobredosagem, então muitas destas moléculas grandes ligam-se a bolhas de ar e provocam a sua submersão no óleo, resultando em más propriedades de libertação de ar.

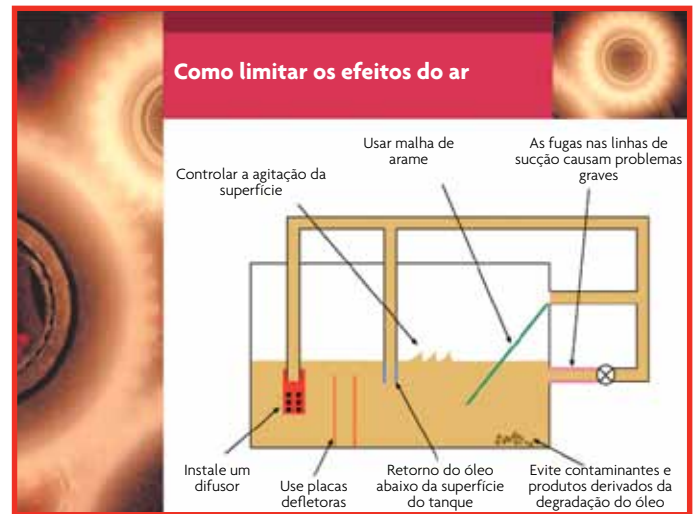
Quando ocorre a formação de espuma ou arrastamento de ar, existe uma reação imediata de culpar o óleo em vez de procurar a contaminação ou a fonte mecânica do problema. Invariavelmente, a causa é água ou uma linha de sucção que introduz ar dentro do sistema. No entanto, culpar o óleo não requer qualquer resolução de problemas. O PMS também está disponível como um aditivo

suplementar que os proprietários de equipamentos podem usar para adoçamento de reservatórios. Se a degradação dos aditivos for a causa da formação de espuma, é de vital importância que a dosagem seja exata e a maioria das instalações não têm a capacidade para adicionar a um nível de 10 ppm ou garantir a correta dispersão do aditivo. A sobredosagem resultará em más propriedades de libertação de ar do óleo - realmente piorando o problema.

Existem dois testes muito diferentes que podem ser realizados numa amostra de óleo para medir as propriedades de ar/óleo. O primeiro é um teste antiespuma que coloca o óleo num misturador, observa a quantidade de espuma na superfície da amostra e mede quanto tempo demora o colapso da espuma. No caso do teste de libertação do ar, mede-se a demora da queda do nível de ar arrastado para 0,2%.

Manter o ar fora do óleo resume-se basicamente a um bom sistema e conceção de reservatório. Garanta que não existem fugas nas linhas de sucção, controle a agitação da superfície, utilize um difusor na linha de captação, use malha de arame na linha de retorno, de preferência a linha de retorno deve estar abaixo da superfície do reservatório, limite a quantidade de degradação do óleo e contaminação e instale placas defletoras no fundo do cárter. Um

longo tempo de permanência no cárter também significa que o ar tem tempo para ser liberado.



Este boletim demonstra claramente um dos princípios mais importantes da manutenção proativa de sucesso: Após o seu óleo estar contaminado, custa dez vezes mais limpá-lo do que custaria tê-lo mantido livre de contaminantes em primeiro lugar. Se puder manter o seu óleo limpo e seco, terá a garantia de muitos anos, horas ou quilómetros de funcionamento sem problemas.

Pode aceder a Boletins Técnicos anteriores no web site da WearCheck: www.wearcheck.co.za

JUNTOS PARA APOIAR O PLANETA ♻️

Se preferir receber as edições futuras dos Boletins Técnicos e Monitor da WearCheck por email em formato PDF vez de impressos, por favor envie um email para: support@wearcheck.co.za. Esta opção também se aplica aos relatórios impressos.

Escritório Central de KwaZulu-Natal
9 Le Mans Place,
Westmead, KZN, 3610
PO Box 15108,
Westmead, KZN, 3608
t +27 (0) 31 700 5460
f +27 (0) 31 700 5471
e support@wearcheck.co.za
w www.wearcheck.co.za

**WEAR
CHECK**
Especialista na monitorização do estado de máquinas

Filiais

Joanesburgo	+27 (0) 11 392 6322
Cidade do Cabo	+27 (0) 21 981 8810
Porto Elizabeth	+27 (0) 41 360 1535
East London	+27 (0) 82 290 6684
Rustenburg	+27 (0) 14 597 5706
Middelburg	+27 (0) 13 246 2966
Zâmbia: Lumwana	+260 (0) 977 622287
Zâmbia: Kitwe	+260 (0) 212 210161
EAU	+971 (0) 55 221 6671
Índia	+91 (0) 44 4557 5039



Honeywell



SABS
ISO 9001

SABS
ISO 14001



Diferentes publicações podem reproduzir artigos ou extratos dos mesmos, desde que reconhecem a autoria da WearCheck, parte da Torre Industries.