

ANÁLISE DE LUBRIFICANTES POR MEIO DA TÉCNICA FERROGRÁFICA

CONCEITO DE FERROGRAFIA

A ferrografia é uma técnica de avaliação das condições de desgaste dos componentes de uma máquina por meio da quantificação e observação das partículas em suspensão no lubrificante.

Essa técnica satisfaz todos os requisitos exigidos pela manutenção preditiva e também pode ser empregada na análise de falhas e na avaliação rápida do desempenho de lubrificantes.

ORIGEM DA FERROGRAFIA

A ferrografia foi descoberta em 1971 por Vernon C. Westcott, um tribologista de Massachusetts, Estados Unidos, e desenvolvida durante os anos subseqüentes com a colaboração de Roderic Bowen e patrocínio do Centro de Engenharia Aeronaval Americano e outras entidades.

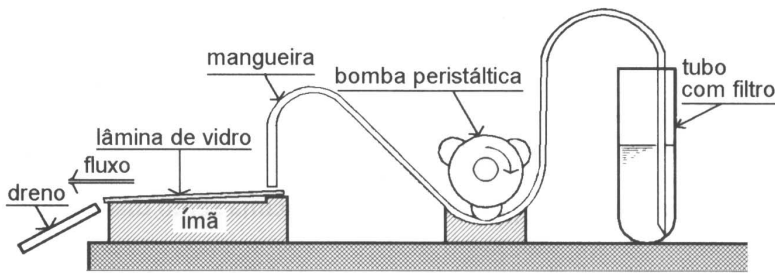
O objetivo inicialmente proposto foi o de quantificar a severidade do desgaste de máquinas e para a pesquisa foram adotadas as seguintes premissas:

1. Toda máquina desgasta-se antes de falhar.
2. O desgaste gera partículas.
3. A quantidade e o tamanho das partículas são diretamente proporcionais à severidade do desgaste que pode ser constatado mesmo a olho nu.
4. Os componentes de máquinas, que sofrem atrito, geralmente são lubrificadas, e as partículas permanecem em suspensão durante um certo tempo.
5. Considerando que as máquinas e seus elementos são constituídos basicamente de ligas de ferro, a maior parte das partículas provém dessas ligas.

A TÉCNICA FERROGRÁFICA

O método usual de quantificação da concentração de material particulado consiste na contagem das partículas depositadas em papel de filtro e observadas em microscópio. Este método, porém, não proporciona condições adequadas para a classificação dimensional, que é de grande importância para a avaliação da intensidade do desgaste de máquinas.

Orientando-se pela Quinta premissa, ou seja, de que há predominância de ligas ferrosas nas máquinas e seus elementos, Westcott inventou um aparelho para separar as partículas de acordo com o tamanho. O aparelho chama-se ferrógrafo.



FUNCIONAMENTO DO FERRÓGRAFO

Acompanhando a figura anterior, o ferrógrafo de Westcott é constituído de um tubo de ensaio, uma bomba peristáltica, uma mangueira, uma lâmina de vidro, um ímã e um dreno.

A bomba peristáltica, atuando na mangueira, faz com que o lubrificante se desloque do tubo de ensaio em direção à lâmina de vidro, que se encontra ligeiramente inclinada e apoiada sobre um ímã com forte campo magnético. A inclinação da lâmina de vidro garantirá que o fluxo do lubrificante tenha apenas uma direção.

O lubrificante, do tubo de ensaio até a extremidade final da mangueira, transportadora partículas grandes e pequenas com a mesma velocidade.

Quando o fluxo passa sobre a lâmina de vidro, a velocidade de imersão ou afundamento das partículas grandes passa a ser maior que a velocidade das pequenas. Isto ocorre devido à ação do campo magnético do ímã. Nesse momento, começa a separação entre partículas grandes e pequenas.

As partículas grandes vão se fixando na lâmina de vidro logo no seu início, e as menores depositam-se mais abaixo.

Com esse ferrógrafo, constatou-se que as partículas maiores que 5 mm fixam-se no início da placa de vidro e que as partículas entre 1 mm e 2 mm fixam-se seis milímetros abaixo.

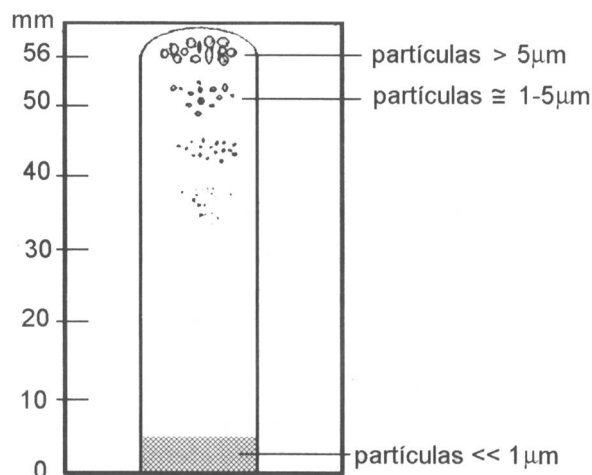
Essas posições têm grande importância, pois as partículas provenientes de desgastes severos geralmente apresentam dimensões com mais de 15 mm, enquanto as partículas provenientes de desgastes normais apresentam dimensões ao redor de 1 mm a 2 mm.

O dimensionamento de partículas é efetuado com o auxílio de um microscópio de alta resolução.

Muitas tentativas foram feitas até se obter a vazão de fluido e o ímã mais adequados. Nos ferrógrafos atuais, a vazão é de 0,3 ml de fluido por minuto e 98% das partículas ficam retidas na lâmina de vidro, mesmo as não magnéticas.

FERROGRAMA

A figura ao lado mostra um ferrograma, isto é, uma lâmina preparada que permite obter a dimensão aproximada de partículas depositadas. A lâmina mede aproximadamente 57 mm. Ao longo dela passa o fluxo de lubrificante que vai deixando as partículas atrás de si. Como foi dito, as maiores ficam no início do fluxo e as menores, no final.



As partículas não magnéticas, como as provenientes de cobre e suas ligas, alumínio e suas ligas, cromo e suas ligas, compostos orgânicos, areia etc., também depositam-se no ferrograma. Isto é explicável pela ação da gravidade, auxiliada pela lentidão do fluxo, além de algum magnetismo adquirido pelo atrito desses materiais com partículas de ligas de ferro.

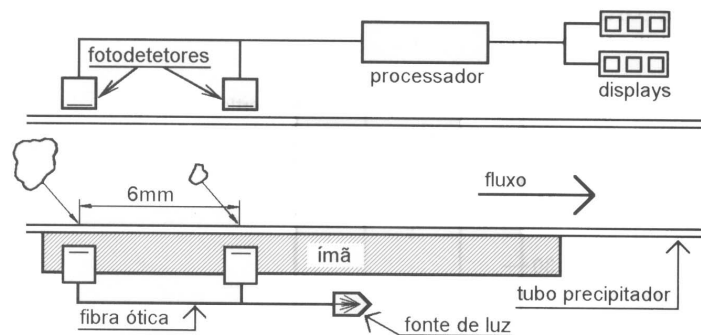
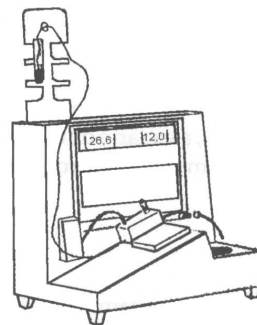
As partículas não magnéticas distinguem-se das partículas de ligas ferrosas pela disposição que as primeiras assumem no ferrograma. No ferrograma as partículas de materiais não magnéticos depositam-se aleatoriamente. Sem serem alinhadas pelo campo magnético do ímã.

Uma outra importante utilidade do ferrograma é que ele permite descobrir as causas dos desgastes: deslizamento, fadiga, excesso de cargas etc. essas causas geram partículas de forma e cores específicas, como se fossem impressões digitais deixadas na vítima pelo criminoso.

FERROGRAFIA QUANTITATIVA

Com a evolução do ferrógrafo, chegou-se ao ferrógrafo de leitura direta, que permite quantificar as partículas grandes e pequenas de modo rápido e objetivo. Seu princípio é o mesmo adotado nas pesquisas com ferrogramas e encontra-se esquematizado ao lado.

A luz, proveniente da fonte, divide-se em dois feixes que passam por uma fibra óptica. Esses feixes são parcialmente atenuados pelas partículas nas posições de entrada e seis milímetros abaixo. Os dois feixes atenuados são captados por sensores ópticos ou fotodetectores que mandam sinais para um processador, e os

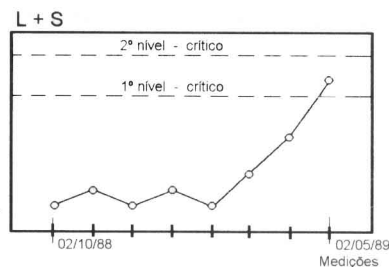


resultados são mostrados digitalmente em um display de cristal líquido. Os valores encontrados são comparados com os valores obtidos por um ensaio sobre uma lâmina limpa, considerando que a diferença de atenuações da luz é proporcional à quantidade de partículas presentes.

O campo de medição vai de 0 a 190 unidades DR (Direct Reading = Leitura Direta), mas é linear apenas até 100. A partir deste valor, as partículas empilham-se sobre as outras, acarretando leituras menores que as reais. Por isso, muitas vezes é necessário diluir o lubrificante original para se manter a linearidade.

O acompanhamento da máquina, por meio da ferrografia quantitativa, possibilita a construção de gráficos, e as condições de maior severidade são definidas depois de efetuadas algumas medições. Os resultados obtidos são tratados estatisticamente.

Por exemplo, o gráfico a seguir, chamado gráfico de tendências, é obtido por meio da ferrografia quantitativa.



O valor L + S, chamado concentração total de partículas, é um dos parâmetros utilizados para avaliação do desgaste.

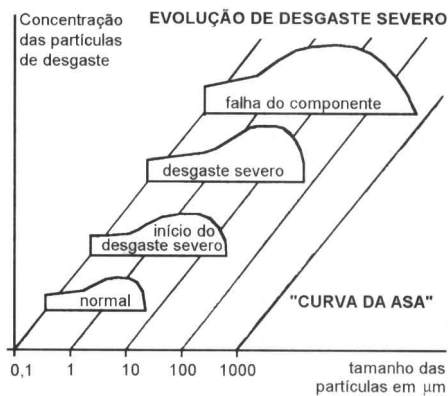
Significados:

L – (abreviatura de large, que significa grande) correspondente ao valor encontrado de partículas grandes (> 5 mm).

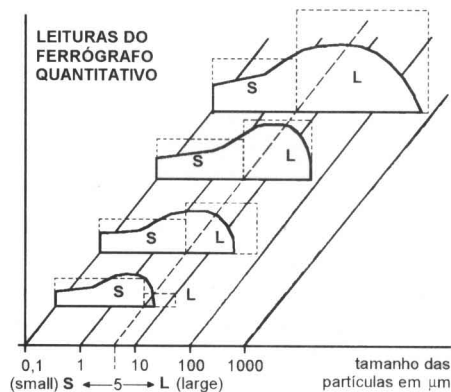
S – (abreviatura de small, que significa pequeno) correspondente ao valor encontrado de partículas pequenas (< 5 mm).

Outros parâmetros podem ser utilizados juntamente com o L + S, por exemplo, o índice de severidade $Is = (L + S) / (L - S)$.

O gráfico a seguir, chamado “curva da asa”, mostra a evolução do desgaste dos elementos de uma máquina. Observe que o tamanho das partículas provenientes de desgaste normal varia de 0,1 mm até aproximadamente 5 mm. A presença de partículas maiores que 10 mm praticamente garantirá a indesejável falha do componente.



Para maior clareza, observe o gráfico seguinte que mostra as faixas limítrofes dos tamanhos das partículas.





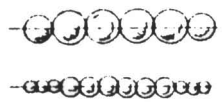

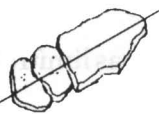

FERROGRAFIA ANALÍTICA

A identificação das causas de desgaste é feita por meio do exame visual da morfologia, cor das partículas, verificação de tamanhos, distribuição e concentração no ferrograma.

Pela ferrografia analítica, faz-se a classificação das partículas de desgaste em cinco grupos. O quadro a seguir mostra os cinco grupos de partículas de desgaste e as causas que as originam.

CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS	CAUSAS
Ferrosas	esfoliação; corte por abrasão; fadiga de rolamento; arrastamento; desgaste severo por deslizamento.
Não-ferrosas	metais brancos; ligas de cobre; ligas de metal patente ou antifricção.
Óxidos de ferro	óxidos vermelhos; óxidos escuros; metais oxidados escuros.
Produtos da degradação do lubrificante	corrosão; polímeros de fricção.
Contaminantes	poeira de estrada; pó de carvão; asbesto; material de filtro; flocos de carbono.

As fotografias constituem a única forma de mostrar, com clareza, os aspectos dos ferrogramas, mas podemos esboçá-los, simplificadamente, para registrar as informações, conforme exemplo a seguir.

1	ESFOLIAÇÃO	2	CORTE POR ABRASÃO
 <ul style="list-style-type: none"> * Escamas * Superfície lisa * 0,5 ~ 5µm 		 <ul style="list-style-type: none"> * Cavacos * Existência de areia * 10 ~ 100µm 	
3	FADIGA (rolamento e engrenagem)	4	ARRASTAMENTO (engrenagens)
 <ul style="list-style-type: none"> * Esferas * ~ Regulares * ~ 3µm 		 <ul style="list-style-type: none"> * Superfície rugosa * Coloração por temperatura * >20µm 	
5	DESGASTE SEVERO POR DESLIZAMENTO	6	PARTÍCULAS DIVERSAS
 <ul style="list-style-type: none"> * Estrias * Corte reto * > 20µm 		 <p style="text-align: center;">Areia</p> <p style="text-align: center;">Polímeros de fricção</p>	

FERROGRAFIA E OUTRAS TÉCNICAS

Ferrografia, espectrometria e análise de vibrações constituem as principais técnicas de diagnóstico das condições dos componentes mecânicos das máquinas.

As duas primeiras empregam métodos diversos para avaliar o mesmo tipo de problema: o desgaste. Ambas concentram a análise nas partículas suspensas no lubrificante, mas com parâmetros diferentes.

A ferrografia tem por parâmetros a concentração, o tamanho, a morfologia e a cor das partículas, enquanto a espectrometria considera apenas a concentração dos elementos químicos que as compõem.

A análise de vibrações tem por parâmetros o comportamento dinâmico das máquinas, quando excitadas por forças provenientes de irregular distribuição de massa, erros de montagem, pulsações dinâmicas etc., bem como de problemas mais avançados de desgaste.

Em resumo, a ferrografia, a espectrometria e a análise de vibrações se complementam, pois, de forma isolada, essas técnicas apresentam limitações.

COLETAS DE AMOSTRAS DE LUBRIFICANTE

Para se coletar uma amostra de lubrificante em serviço, deve-se escolher criteriosamente o ponto de coleta; o volume a ser recolhido e qual método deverá ser utilizado na coleta.

Escolha do ponto de coleta

As partículas que interessam para a análise são aquelas geradas recentemente. Considerando este pré-requisito, o ponto de coleta deverá ser aquele em que uma grande quantidade de partículas novas estejam presentes em região de grande agitação.

Exemplos:

- tubulação geral de retorno do lubrificante para o reservatório;
- janela de inspeção de reservatório, próximo à tubulação de descarga;
- drenos laterais em reservatórios ou cárteres;
- dreno geral de reservatório ou cárteres, em região de agitação;
- varetas de nível.

Pontos após filtros ou após chicanas de reservatórios devem ser evitados, pois esse elementos retiram ou precipitam as partículas do lubrificante.

Volume de amostra

São necessários apenas 100 ml de amostra, que é colocada em um frasco com capacidade para 150 ml. Excesso de lubrificante, após a coleta, deve ser descartado imediatamente, para evitar que as partículas se precipitem. O espaço de 50 ml, que corresponde a 1/3 do frasco, é deixado vazio para permitir uma agitação posterior da amostra.

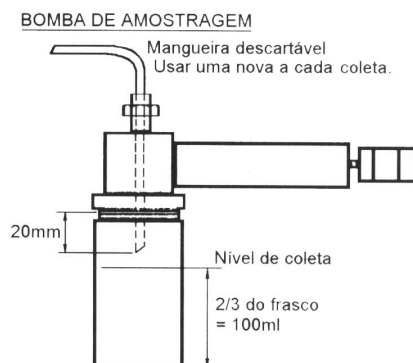
Métodos de coleta

Os principais métodos de coleta de lubrificantes envolvem válvulas de coleta, bombas de coleta e imersão.

Se a máquina estiver dotada de válvulas de coletas, o método de coleta deverá passar pela seguinte seqüência:

- limpar a região da coleta;
- abrir a válvula permitindo uma vazão razoável para arrastar as partículas (filete de ¼" a 2", proporcional à máquina);
- purgar 2 a 3 vezes o volume parado na tubulação da válvula;
- retirar o frasco quando completar o nível de coleta nele indicado;
- fechar a válvula (nunca abri-la ou fechá-la sobre o frasco);
- descartar imediatamente o lubrificante que excedeu o nível de coleta;
- tampar o frasco com batoque plástico e tampa roscada;
- limpar o frasco;
- identificar a amostra com os seguintes dados: máquina, ponto de coleta, empresa e data.

A coleta de amostras de lubrificante, na maioria dos casos, pode ser feita com o auxílio de uma bomba de coleta.



O método de coleta que envolve o uso de uma bomba de coleta deve obedecer aos passos:

- cortar um pedaço de mangueira plástica nova, com comprimento suficiente para alcançar o lubrificante na região média compreendida abaixo de sua superfície e acima do fundo do depósito onde ele se encontra;
- introduzir uma das extremidades da mangueira na bomba, de modo que essa extremidade fique aparente;
- introduzir a extremidade livre da mangueira até a metade do nível do lubrificante, cuidado para que o fundo do recipiente não seja tocado;
- aspirar o lubrificante;
- descartar imediatamente o lubrificante que exceder o nível de coleta;
- tampar o frasco com batoque e tampa roscada;
- limpar o frasco;
- identificar a amostra com os seguintes dados: máquina, ponto de coleta, empresa e data;
- descartar a mangueira.

Se o lubrificante estiver em constante agitação, a amostra poderá ser coletada pelo método da imersão que consiste em mergulhar o frasco no lubrificante. Em casos de temperaturas elevadas o frasco é fixado em um cabo dotado de braçadeiras. Esse cuidado é necessário para evitar queimaduras no operador.

A seqüência para aplicar o método da imersão consiste nos seguintes passos:

- destampar o frasco e prendê-lo no suporte com braçadeiras;
- introduzir o frasco no reservatório ou canal de lubrificante, com a boca para baixo, até que o nível médio do lubrificante seja alcançado, sem tocar no fundo do reservatório ou canal;
- virar o frasco para cima, permitindo a entrada do lubrificante;
- descartar imediatamente o excesso de lubrificante que exceder o nível de coleta;
- tampar o frasco com batoque plástico e tampa roscada;
- limpar o frasco;
- identificar a amostra com os seguintes dados: máquina, ponto de coleta, empresa, data.

Solucionando Problemas

Exercício 1

O aparelho utilizado para determinar o tamanho, a cor e a quantidade de partículas existentes em um lubrificante que atua em uma máquina chama-se:

- a) () barógrafo;
- b) () ferrógrafo;
- c) () termógrafo;
- d) () pantógrafo;
- e) () volumógrafo.

Exercício 2

O pai da análise ferrográfica foi:

- a) () Júlio Verne;
- b) () Roderic Bowen;
- c) () David Bowie;
- d) () Minesota Massachusetts;
- e) () Vernon Westcott.

Exercício 3

Ferrograma é uma lâmina preparada que permite analisar um óleo lubrificante de uma máquina. Nessa análise constata-se a existência de partículas metálicas que podem ser classificadas quanto:

- a) () à origem e ao tamanho;
- b) () ao tamanho e à constituição química;
- c) () à constituição química e ao perfil;
- d) () à capacidade de absorver óleo e a perfil;
- e) () ao perfil, constituição química e tamanho.

Solucionando Problemas

Exercício 4

Se o exame ferrográfico de um óleo de máquina revelar a presença de partículas metálicas maiores que 15 mm, pode-se concluir que elas são oriundas de um desgaste:

- a) () normal;
- b) () delicado;
- c) () severo;
- d) () oxidante;
- e) () redutor.

Exercício 5

A ferrografia analítica permite classificar as partículas em:

- a) () dois grupos;
- b) () três grupos;
- c) () quatro grupos;
- d) () cinco grupos;
- e) () seis grupos.

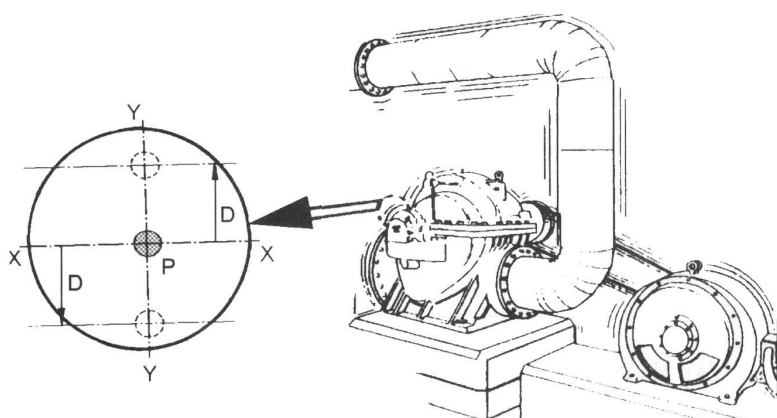
Exercício 6

O volume de uma amostra de óleo a ser examinado por ferrografia deve ser de:

- a) () 100 ml;
- b) () 200 ml;
- c) () 300 ml;
- d) () 400 ml;
- e) () 500 ml.

VIBRAÇÕES MECÂNICAS

Para compreender os fundamentos do princípio da análise de vibrações, será preciso compreender o que é vibração mecânica. Leia atentamente o que se segue, orientando-se pela figura abaixo, mostra um equipamento sujeito a vibrações.



Pois bem, vibrações mecânica é um tipo de movimento, no qual se considera uma massa reduzida a um ponto ou partícula submetida a uma força. A ação de uma força sobre o ponto obriga-o a executar um movimento vibratório.

No detalhe da figura anterior, o ponto P, quando em repouso ou não estimulado pela força, localiza-se sobre o eixo x. sendo estimulado por uma força, ele se moverá na direção do eixo y, entre duas posições limites, eqüidistantes de x, percorrendo a distância 2D, isto é, o ponto P realiza um movimento oscilatório sobre o eixo x.

Para que o movimento oscilatório do ponto P se constitua numa **vibração**, ele deverá percorrer a trajetória **2 D**, denominada trajetória completa ou ciclo, conhecida pelo nome de **período de oscilação**.

Com base no detalhe da ilustração, podemos definir um deslocamento do ponto P no espaço.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Esse **deslocamento** pode ser medido pelo grau de distanciamento do ponto P em relação à sua posição de repouso sobre o eixo x. O deslocamento do ponto P implica a existência de uma **velocidade** que poderá ser variável. Se a velocidade for variável, existirá uma certa **aceleração** no movimento.

Deslocamento

De acordo com o detalhe mostrado na ilustração, podemos definir o deslocamento como a medida do grau de distanciamento instantâneo que experimenta o ponto P no espaço, em relação à sua posição de repouso sobre o eixo x. O ponto P alcança seu valor máximo D, de um e do outro lado do eixo x. Esse valor máximo de deslocamento é chamado de **amplitude** de deslocamento, sendo medida em micrômetro (um). **Atenção:** 1 um = 0,001 mm = 10^{-3} mm.

Por outro lado, o ponto P realiza uma trajetória completa em um ciclo, denominado **período de movimento**, porém não é usual se falar em período e sim em **freqüência de vibração**.

Freqüência é a quantidade de vezes, por unidade de tempo, em que um fenômeno se repete. No caso do ponto P, a freqüência é a quantidade de ciclos que ela realiza na unidade de tempo. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de freqüência recebe o nome de hertz (Hz), que equivale a um ciclo por segundo.

Na literatura mecânica é comum encontrarmos rotações por minuto (rpm) e ciclos por minuto (cpm) como unidades de freqüência. Essas unidades podem ser aceitas, considerando-se que o movimento de rotação do eixo é a causa, em última instância, da existência de vibrações em uma máquina, e aceitar que quando o eixo completa uma rotação, o ponto P descreverá um número inteiro de trajetórias completas ou ciclos.

Velocidade

O ponto P tem sua velocidade nula nas posições da amplitude máxima de deslocamento e velocidade máxima

quando passa pelo eixo x, que é a posição intermediária de sua trajetória. No SI, a unidade de velocidade é metros / segundo (m/s). No caso particular do ponto P, a velocidade é expressa em mm/s.

Aceleração

Como a velocidade do ponto P varia no decorrer do tempo, fica definida uma certa aceleração para ele.

A variação máxima da velocidade é alcançada pelo ponto P em um dos pontos extremos de sua trajetória, isto é, ao chegar à sua elongação máxima D. Nessas posições extremas, a velocidade não somente muda de valor absoluto, como também de sentido, já que neste ponto ocorre inversão do movimento.

A aceleração do ponto P será nula sobre o eixo x, pois sobre ele o ponto P estará com velocidade máxima.

Resumindo, o movimento vibratório fica definido pelas seguintes grandezas: deslocamento, velocidade, aceleração, amplitude e frequência.

POSSIBILIDADES DA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

Por meio da medição e análise das vibrações existentes numa máquina em operação, é possível detectar com antecipação a presença de falhas que podem comprometer a continuidade do serviço, ou mesmo colocar em risco sua integridade física ou a segurança do pessoal da área.

A aplicação do sistema de análise de vibrações permite detectar e acompanhar o desenvolvimento de falhas nos componentes das máquinas. Por exemplo, pela análise de vibrações constatam-se as seguintes falhas:

- rolamentos deteriorados;
- engrenagens defeituosas;
- acoplamentos desalinhados;
- rotores desbalanceados;
- vínculos desajustados;

- eixos deformados;
- lubrificantes deficientes;
- folgas excessivas em buchas;
- falta de rigidez;
- problemas aerodinâmicos ou hidráulicos;
- cavitação;
- desbalanceamento de rotores de motores elétricos.

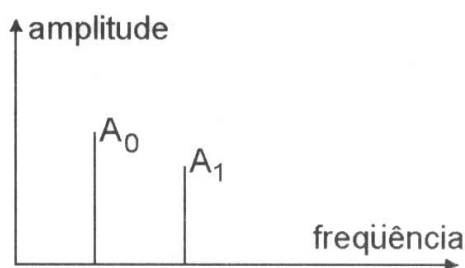
O registro das vibrações das estruturas é efetuado por meio de sensores ou captadores colocados em pontos estratégicos das máquinas. Esses sensores transformam a energia mecânica de vibração em sinais elétricos. Esses sinais elétricos são, a seguir, encaminhados para os aparelhos registradores de vibrações ou para os aparelhos analisadores de vibrações.

Os dados armazenados nos registradores e nos analisadores são, em seguida, interpretados por especialistas, e desse modo obtém-se uma verdadeira radiografia dos componentes de uma máquina, seja ela nova ou velha.

A análise das vibrações também permite, por meio de comparação, identificar o aparecimento de esforços dinâmicos novos, consecutivos a uma degradação em processo de desenvolvimento.

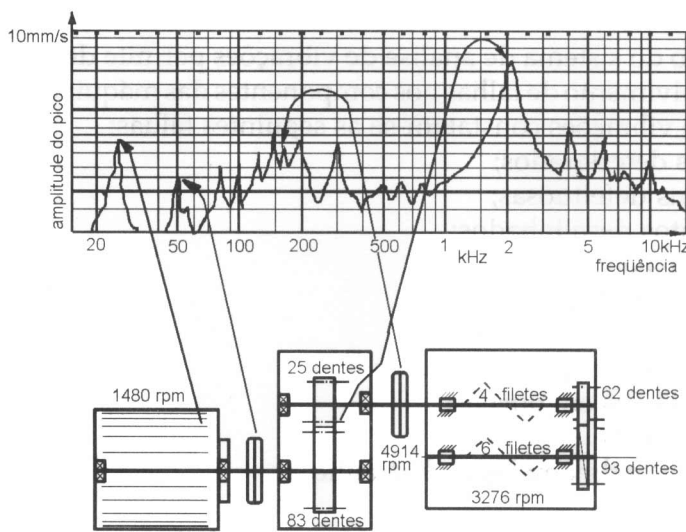
Os níveis de vibrações de uma máquina podem ser representados de várias maneiras, porém a maneira mais usual de representação é a espectral ou freqüencial, em que a amplitude da vibração é dada de acordo com a freqüência.

Graficamente temos:



No ponto A_0 temos a amplitude de uma certa vibração, e no ponto A_1 a amplitude de uma outra vibração. Desse modo, em um espectro todos os componentes de um nível vibratório são representados sob a forma de picos que nos permitem seguir, individualmente, a variação da amplitude de cada vibração e discriminar, sem mascaramentos, os defeitos em desenvolvimento nos componentes das máquinas.

A figura a seguir mostra um gráfico real de uma análise espectral. Esse gráfico foi gerado por um analisador de vibrações completo.



ANÁLISE ESPECTRAL DAS PRINCIPAIS ANOMALIAS

As anomalias espectrais podem ser classificadas em três categorias:

- Picos que aparecem nas frequências múltiplas ou como múltiplos da velocidade desenvolvida pelo rotor
- Dentro dessa categoria, os picos são causados pelos seguintes fenômenos:
 - desbalanceamento de componentes mecânicos;
 - desalinhamento;
 - mau ajuste mecânico;
 - avarias nas engrenagens;
 - turbilhonamento da película de óleo;
 - excitação hidrodinâmica;
 - mau estado da correia de transmissão.

O fenômeno do desbalanceamento é a causa mais comum das vibrações, sendo caracterizado por uma forte vibração radial que apresenta a mesma frequência de rotação do rotor.

O desalinhamento também é bastante comum em máquinas e provoca vibrações na mesma frequência de rotação do rotor, ou em frequências múltiplas, notadamente no caso de dentes acoplados.

Quando se tem um mau ajuste mecânico de um mancal, por exemplo, ou quando ocorre a possibilidade de um movimento parcial dele, no plano radial surge uma vibração numa frequência duas vezes maior que a velocidade de rotação do eixo. Essa vibração aparece por causa do efeito de desbalanceamento inicial e pode adquirir uma grande amplitude em função do desgaste do mancal.

No caso de engrenamento entre um coroa e um pinhão, por exemplo, ocorrerá sempre um choque entre os dentes das engrenagens. Isto gera uma vibração no conjunto, cuja frequência é igual à velocidade do pinhão multiplicado pelo seu número de dentes.

O mau estado de uma correia em “V” provoca variação de largura, sua deformação etc., e como consequência faz surgir variações de tensão que, por sua vez, criam vibrações de frequência iguais àquela da rotação da correia. Se as polias não estiverem bem alinhadas, haverá um grande componente axial nessa vibração.

Picos que aparecem em velocidades independentes da velocidade desenvolvida pelo rotor

Os principais fenômenos que podem criar picos com frequências não relacionadas à frequência do rotor são causados pelos seguintes fatores:

Vibração de máquinas vizinhas – O solo, bem como o apoio de alvenaria que fixa a máquina, pode transmitir vibração de uma máquina para outra.

Vibrações de origem elétrica – As vibrações das partes metálicas do estator e do rotor, sob excitação do campo eletromagnético, produzem picos com frequências iguais às daquele rotor. O aumento dos picos pode ser um indício de degradação do motor; por exemplo, diferenças no campo magnético do indutor devido ao número desigual de espiras no enrolamento do motor.

Ressonância da estrutura ou eixos – Cada componente da máquina possui uma frequência própria de ressonância. Se uma excitação qualquer tiver uma frequência similar àquela de ressonância de um dado componente, um pico aparecerá no espectro. As máquinas são sempre projetadas para que tais frequências de ressonância não se verifiquem em regime normal de funcionamento, aceitando-se o seu aparecimento somente em regimes transitórios.

Densidade espectral proveniente de componentes aleatórios da vibração

Os principais fenômenos que provocam modificações nos componentes aleatórios do espectro são os seguintes:

Cavitação – esse fenômeno hidrodinâmico induz vibrações aleatórias e é necessário reconhecê-las de modo que se possa eliminá-las, modificando-se as características de aspiração da bomba. A cavitação pode ser também identificada pelo ruído característico que produz.

Escamação dos rolamentos – a escamação de uma pista do rolamento provoca choques e uma ressonância do mancal que é fácil de identificar com um aparelho de medida de ondas de choque.

Na análise espectral, esse fenômeno aparece nas altas frequências, para uma densidade espectral que aumenta à medida que os rolamentos deterioram.

Se a avaria no rolamento fosse em um ponto apenas, seria possível ver um pico de frequência ligada à velocidade do rotor e às dimensões do rolamento (diâmetro das pistas

interiores e exteriores, número de rolamentos etc.), porém isto é muito raro. Na verdade, um único ponto deteriorado promove a propagação da deterioração sobre toda a superfície da pista e sobre outras peças do rolamento, criando, assim, uma vibração do tipo aleatória.

Atrito – O atrito gera vibrações de frequência quase sempre elevada. O estado das superfícies e a natureza dos materiais em contato têm influência sobre a intensidade e a frequência das vibrações assim criadas. Parâmetros deste tipo são freqüentemente esporádicos, difíceis de analisar e de vigiar.

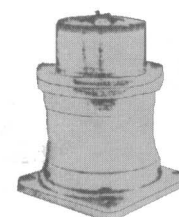
A tabela a seguir resume as principais anomalias ligadas às vibrações.

CAUSA	VIBRAÇÃO		OBSERVAÇÕES
	FREQÜÊNCIA	DIREÇÃO	
Turbilhão de óleo	De 0,42 a 0,48 X FR FR = Frequência de rotação	Radial	Unicamente sobre mancais lisos hidrodinâmicos com grande velocidade.
Desbalanceamento	1 x FR Radial	Radial	Intensidade proporcional à velocidade de rotação.
Defeito de fixação	1, 2, 3, 4 x FR	Radial	
Defeito de alinhamento	2 x FR	Axial e radial	Vibração axial em geral mais importante, se o defeito de alinhamento contém um desvio angular.
Excitação elétrica	1, 2, 3, 4 x 60Hz	Axial e radial	Desaparece ao se interromper a energia elétrica.
Velocidade crítica de rotação	Frequência crítica do motor	Radial	Aparece em regime transitório e desaparece em seguida.
Correia em mau estado	1, 2, 3, 4 x FR	Radial	
Engrenagens defeituosas	Frequência de engrenamento = F F = nº de dentes x FR árvore	Radial + axial	Banda lateral em torno da frequência de engrenamento.
Pinhão ("falsa volta")	F ± FR pinhão	Radial + axial	Bandas laterais em torno da frequência de engrenamento devido às "falsas voltas".
Excitação hidrodinâmica	Frequência de passagem das pás	Radial e axial	
Deterioração do rolamento	Altas frequências	Radial e axial	Ondas de choque causadas por escamações.

SENSORES OU CAPTADORES

Existem três tipos de sensores, baseados em três diferentes sistemas de transdução mecânico-elétricos:

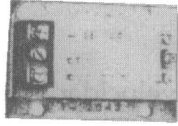
- **sensores eletrodinâmicos:** detectam vibrações absolutas de frequências superiores a 3 Hz (180 cpm).



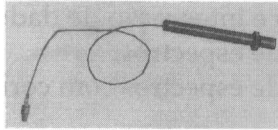
Sensor eletrodinâmico

• **sensores piezoelétricos:** detectam vibrações absolutas de freqüências superiores a 1 Hz (60 cpm).

• **sensores indutivos** (sem contato ou de proximidade): detectam vibrações relativas desde 0 Hz, podendo ser utilizados tanto para medir deslocamentos estáticos quanto dinâmicos.



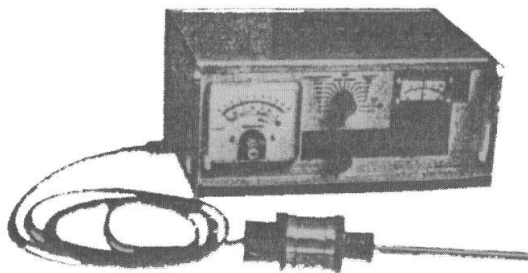
sensor indutivo de proximidade



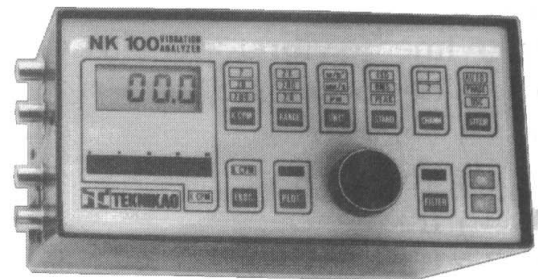
sensor indutivo sem contato

REGISTRADORES

Medem a amplitude das vibrações, permitindo avaliar a sua magnitude. Medem, também, a sua freqüência, possibilitando identificar a fonte causadora das vibrações. Os registradores podem ser analógicos ou digitais, e estes últimos tendem a ocupar todo o espaço dos primeiros.

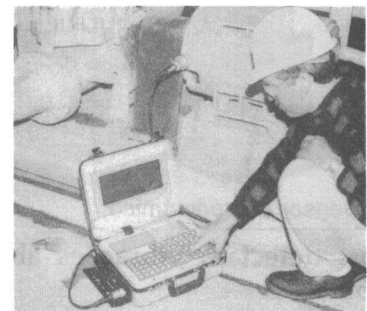


Analisador de vibrações portátil



ANALISADORES

Existem vários tipos e, entre eles, destacam-se: analisadores de medição global; analisadores com filtros conciliadores (fornecem medidas filtradas para uma grama de freqüência escolhida, sendo que existem os filtros de porcentagem constante e os de largura da banda espectral constante) e os analisadores do espectro em tempo real.



Os analisadores de espectro e os softwares associados a eles, com a presença de um computador, permitem efetuar:

- o zoom, que é uma função que possibilita a ampliação de bandas de frequência;
- a diferenciação e integração de dados;
- a comparação de espectros;
- a comparação de espectros com correção da velocidade de rotação.

Solucionando Problemas

1) A amplitude do deslocamento de um ponto de uma estrutura de máquina em vibração é medida em:

- a) () micrômetro;
- b) () femtometro;
- c) () attometro;
- d) () zeptometro;
- e) () yoctometro.

2) Uma unidade usual de frequência vibracional é o:

- a) () milímetro por segundo;
- b) () ciclo por minuto;
- c) () minuto por minuto;
- d) () segundo por segundo;
- e) () decímetro por hora.

3) O movimento vibratório não é determinado apenas pela seguinte grandeza:

- a) () deslocamento;
- b) () velocidade;
- c) () aceleração;
- d) () frequência;
- e) () trabalho.

4) Por meio de uma análise de vibrações é possível constatar a presença de falhas:

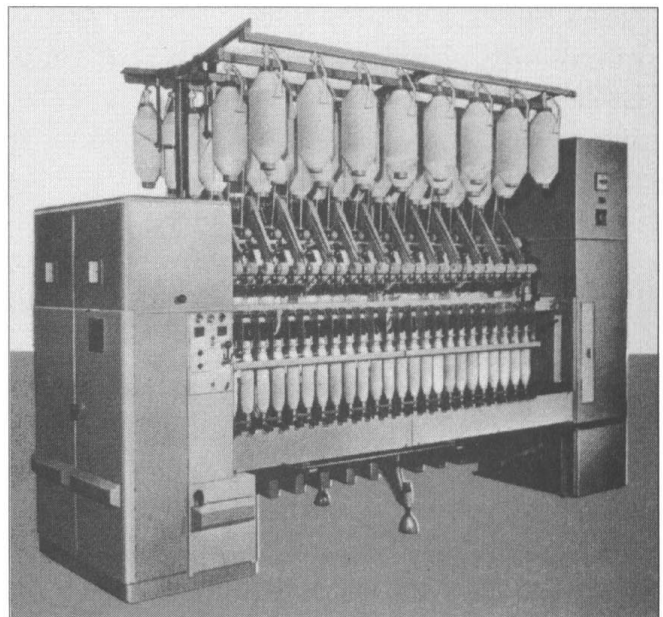
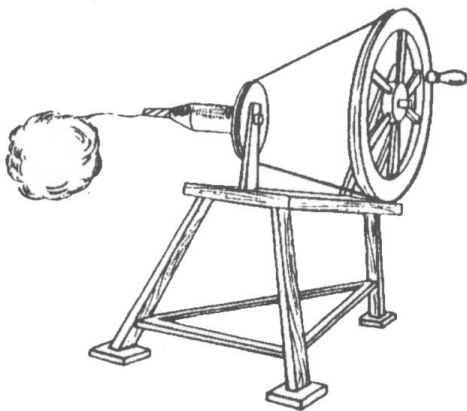
- a) () na viscosidade de um lubrificante;
- b) () na intensidade da força de atrito;
- c) () em mancais de deslizamento e rolamento;
- d) () na tomada do motor da máquina;
- e) () na natureza química dos barramentos.

APLICAÇÕES DA MANUTENÇÃO

MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil é considerada uma das mais antigas do mundo, pois ela se dedica a satisfazer uma das necessidades básicas dos seres humanos, ou seja, a de se vestir.

O ramo têxtil evoluiu graças ao aperfeiçoamento das técnicas manufatureiras preexistentes e à descoberta de novas técnicas. As primeiras máquinas de tear eram extremamente simples e acionadas manualmente. Hoje, são empregadas máquinas automatizadas que fabricam tecidos a partir de fios provenientes de fibras naturais e sintéticas.



As fibras naturais utilizadas como matéria-prima pela indústria têxtil são, em sua maioria, de origem vegetal: juta, rami, linho, sisal, algodão. De origem animal temos a lã e a seda. De origem sintética, proveniente da indústria petroquímica, podemos citar o náilon, o raiom e o poliéster, dentre as dezenas de fibras utilizadas na confecção de tecidos.

A indústria têxtil teve grande influência na História, pois alavancou a Revolução Industrial no século XIX quando passou a utilizar a máquina a vapor para mover os teares ingleses.

No atual contexto econômico, a indústria têxtil continua em evolução e se destacando pela capacidade de investimentos e de absorção de mão-de-obra.

A manutenção das máquinas têxteis é sempre problemática, pois elas apresentam características construtivas completamente diferentes uma das outras. Mesmo assim, a manutenção é necessária.

Como já foi estudado, são dois os objetos da manutenção: garantir a qualidade dos produtos confeccionados pelas máquinas e prolongar e prolongar a vida útil delas. Esses dois objetos podem ser alcançados se o serviço de manutenção melhorar a capacidade dos equipamentos em uso na produção.

A melhoria deverá ter custos reduzidos e compatíveis com as metas de produção e despesas estabelecidas no plano global de atuação de cada empresa.

Nos diversos setores da indústria têxtil, a manutenção das máquinas e equipamentos é feita em termos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva, e as mais modernas fazem trabalhos de manutenção pró-ativa, que será comentada logo mais.

Relembrando, a manutenção corretiva é aquela que executa intervenções urgentes quando ocorre uma parada imprevista de uma máquina por motivo de quebra ou defeito no material que ela produz. O mecânico de manutenção ou uma equipe de manutenção vai até a máquina verificar a situação e determina o que deve ser feito de acordo com os recursos disponíveis: peças de reposição e pessoal.

Às vezes é melhor deixar a máquina parar por quebra do que pará-la para uma manutenção preventiva.

Esse procedimento, aparentemente errôneo, justifica-se pela simples razão de que tirar uma máquina da produção onera todos os custos de fabricação. Em síntese, a manutenção corretiva deverá continuar existindo.

Um ditado popular diz que “prevenir é melhor que remediar”. Esse ditado aplica-se a um outro tipo de manutenção conhecida pelo nome de preventiva. A manutenção preventiva é bastante empregada na indústria têxtil, pois assegura o funcionamento constante das máquinas e a obtenção de produtos com qualidade.

A manutenção preventiva requer um planejamento criterioso, em que todos os dados das máquinas são registrados e controlados. De acordo com os dados, são feitas paradas programadas para intervenção do pessoal da manutenção.

Como já foi estudado, durante a execução da manutenção preventiva, peças que vão se quebrar por fadiga ou por esgotamento da vida útil são trocadas. Os lubrificantes também são trocados. Salientemos que muitos componentes mecânicos de máquinas têxteis devem ser lubrificados diariamente.

Outro tipo de manutenção utilizado em indústrias têxteis é a preditiva. A manutenção preditiva, como foi visto, baseia-se na monitoração de componentes mecânicos em funcionamento. Os dados coletados são analisados e vão informar qual o nível de desgaste que um dado componente está apresentando. Identificados o componente e o tipo de desgaste, é possível substituir o componente por outro antes que danos maiores apareçam, fazendo a máquina parar.

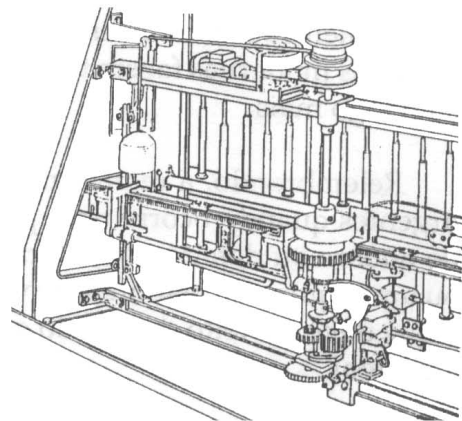
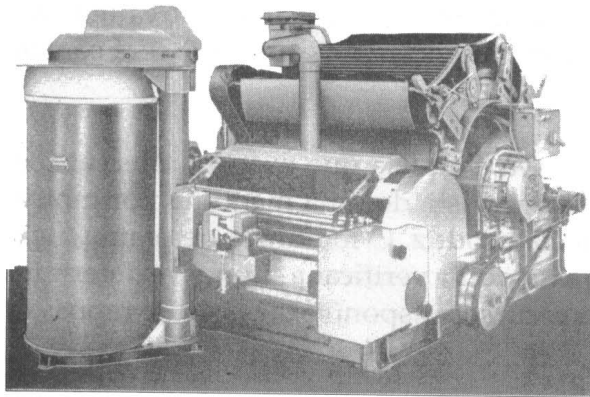
Por exemplo, válvulas de sistemas pressurizados de máquinas que atuam na fabricação de fios sintéticos são monitoradas.

Na indústria têxtil, a presença da manutenção pró-ativa também é uma realidade. Esse tipo de manutenção visa

analisar as causas dos defeitos com a finalidade de desenvolver sistemas e mecanismos onde eles não mais apareçam. Assim, aumenta-se a vida útil dos equipamentos e diminui-se a possibilidade de quebras, com aumento da produção.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Apesar da grande variedade de máquinas existentes na indústria têxtil, seus elementos mecânicos são conhecidos dos mecânicos de manutenção. Nas máquinas têxteis há rolamentos, eixos, retentores, correntes, polias, engrenagens, barramentos etc.



Assim, não há defeito que não possa ser resolvido, desde que o mecânico de manutenção seja treinado e especializado para trabalhar com máquinas têxteis. Sendo capacitado e tendo experiência, o homem da manutenção saberá resolver os problemas das máquinas têxteis e regulá-las com precisão, deixando-as aptas para desempenhar suas funções: produção máxima e com qualidade.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

MANUTENÇÃO EM AERONAVES

A manutenção das aeronaves é baseada em planejamento, sendo 80% preventiva e preditiva e 20% corretiva.

A manutenção corretiva é utilizada essencialmente nos sistemas eletrônicos e instrumentos da aeronave, pois eles existem em duplicata.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Dois aspectos são primordiais na aviação: segurança e disponibilidade.

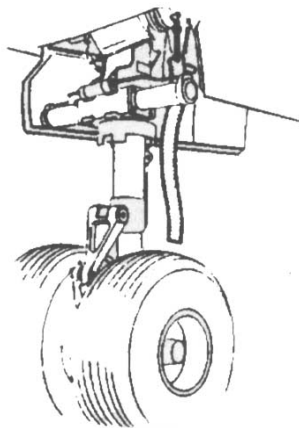
A duplicidade de sistemas melhorou a disponibilidade das aeronaves nos dias atuais, isto é, diminuiu o tempo de parada, principalmente nos itens que envolvem segurança, excetuando-se algumas partes como os trens de pouso.

Com o aumento da disponibilidade, as aeronaves ficam mais tempo em operação e os lucros das empresas aéreas crescem.

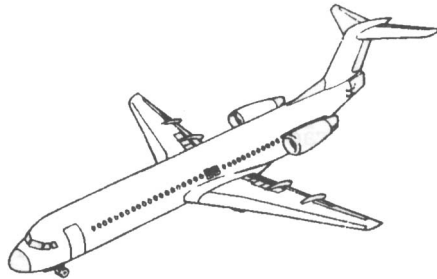
Os planos básicos de manutenção das aeronaves são previamente determinados pelos fabricantes, incluindo a época de inspeção e a vida útil dos equipamentos. Os planos de manutenção devem ser aprovados pelo DAC (Departamento de Avaliação Civil), um órgão governamental que fiscaliza as companhias aéreas.

A manutenção de uma aeronave, sempre que possível, é feita com os componentes instalados ou na época da manutenção geral, quando podem ser retirados, caso seja necessário.

Todos os componentes e equipamentos (trem de pouso, turbina a jato, hélice e outros) têm um tempo de vida útil garantido pelo fabricante.



O próprio avião também tem uma vida útil definida e garantida pelo fabricante. Ultrapassado esse tempo, o fabricante não mais se responsabiliza pela eficiência e segurança da aeronave. Por exemplo, um avião de tamanho médio, com duas turbinas, deve ser descartado após 90 mil horas de voo.



QUALIFICAÇÃO DO MECÂNICO DE AVIAÇÃO

Para uma pessoa se tornar um mecânico de aviação, ela deverá satisfazer os seguintes pré-requisitos:

- Ter certificado de conclusão de Curso Técnico em Mecânica ou Eletromecânica;
- Ter frequentado um curso específico para manutenção de aeronaves;
- Ter prestado exame no DAC.

Se a pessoa for aprovada no exame realizado pelo DAC, receberá uma autorização e um número de registro profissional e estará habilitada a executar trabalhos de manutenção de aeronaves.

NÍVEIS DE MANUTENÇÃO EM AERONAVES

A manutenção de aeronaves é realizada em três níveis distintos, que recebem os seguintes nomes: manutenção diária, manutenção em trânsito e manutenção “checks”.

Manutenção em trânsito

A manutenção em trânsito é feita toda vez que uma aeronave chega a um aeroporto. Consiste em uma inspeção visual a cargo do mecânico e do piloto. De posse de uma lista

de itens (cheklist) a serem obrigatoriamente inspecionados, o mecânico e o piloto examinam várias partes da aeronave, como os flaps, o trem de pouso e os instrumentos.



Manutenção diária

A manutenção diária da aeronave é mais detalhada, sendo realizada uma vez ao dia. Essa manutenção é feita pelo mecânico de manutenção que, além de repetir todas as inspeções efetuadas durante o trânsito, testa os sistemas operacionais da aeronave. Nessa manutenção diária faz-se uma vistoria geral de todas as partes críticas da aeronave, tais como fuselagem, sistema de freios das rodas, sistema de pressurização etc.

Os testes feitos no sistema operacional visam garantir a disponibilidade da aeronave, evitando assim o surgimento de algum problema que venha a ser detectado pela manutenção em trânsito. Se houver algum problema detectado pela manutenção em trânsito, a aeronave só poderá levantar vôo depois que ele for sanado.

Manutenção “checks”

Esse tipo de manutenção é feito escalonadamente, de acordo com as horas de vôo da aeronave. Por exemplo: a manutenção checks de um avião médio de duas turbinas é feita escalonadamente quando ele atingir as seguintes horas de vôo: 250 horas, mil horas, 3 mil horas e 12 mil horas.

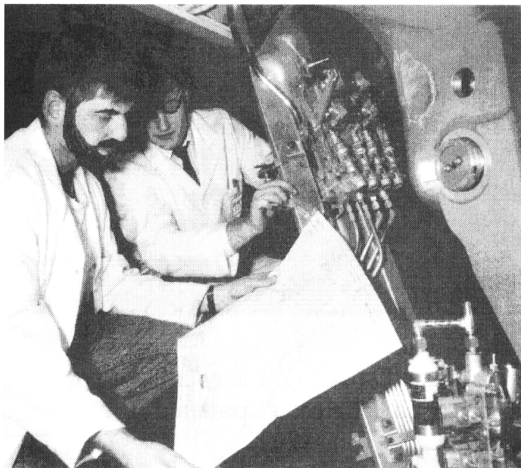
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Essas manutenções são realizadas para garantir o bom funcionamento da aeronave, tanto em segurança quanto em disponibilidade. Os checks mais comuns em aeronaves são em número de quatro e recebem os seguintes nomes: check A (alfa), check B (beta), check C (charle) e check D (delta).

• **Check A (alfa):** é uma manutenção que envolve uma inspeção generalizada da aeronave. Vários pontos são lubrificados e alguns sistemas operacionais, como o sistema de flaps, são verificados. O check A (alfa) é realizado em geral a cada 250 horas de voo.



• **Check B (beta):** nesse check, repete-se tudo o que foi feito no check A (alfa) e acrescentam-se outras tarefas. A diferença entre um check A (alfa) e um check B (beta) é a quantidade de itens a serem inspecionados e reparados, quando necessário. O check B (beta) é realizado a cada mil horas de voo. Podemos comparar essa checagem com aquela que fazemos em nosso automóvel para verificar se a seta do



painel, indicadora das manobras à direita ou à esquerda, está funcionando ou se existe algum fusível queimado.

Ao término do check D (delta), a aeronave encontra-se praticamente nova, como se tivesse saído da fábrica. A partir daí, recomenda-se novamente todo o ciclo de manutenção.

A diferença entre o check D (delta) e o check C (charle) é que no D realiza-se uma manutenção e inspeção estrutural bem mais profunda e generalizada. O check D (delta) é feito em geral a cada 12 mil horas de voo.



CONCLUSÃO

A manutenção, mesmo passando despercebida pela maioria das pessoas, é uma operação de fundamental importância para que tanto os produtos quanto os serviços venham a ser executados com qualidade, segurança, lucrativa etc.

Dentre outros fatores que contribuem para diminuir o custo de produtos e serviços, encontra-se um elaborado serviço de manutenção.

BIBLIOGRAFIA

- ABIMAQ:SINDIMAQ. **Máquinas e Acessórios Têxteis Brasileiros**. 4 ed.
São Paulo, 1989
- AIRBUS INDUSTRIE. Blagnac, 1993. (Catálogo).
- AMARAL FILHO, Dario do et al. **Ciências Aplicadas II: 7 Pressão**. 3 ed.
São Paulo, SENAI, 1991.
- BOBARDIER REGIONAL AIRCRAFT. Downsview, s.d. (Catálogo).
- BONJORNO, Regina Azenha e outros. **Física 2º grau**. São Paulo, FTD, 1988.
- BOYLESTAD, Robert et al. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. Trad.
Alberto Gaspar Guimarães et al. Ed. Rio de Janeiro, Prentice-Hall do Brasil, 1994
- BRITISH AEROSPACE COMMERCIAL AIRCRAFT. Ayrshire, 1991. (Catálogo).
- CAPUANO, Francisco Gabriel et al. **Laboratório de Eletricidade e Eletrônica**.
São Paulo, Érica, 1988.
- CARVALHO, Luiz Tavares de. **Gerenciamento de Manutenção**. Curso de Pós-
Graduação – FEI. São Paulo, 1995.
- CAVICHIOLO, Carlos Aparecido. **Planejamento e Administração da Manutenção**.
São Paulo, SENAI, 1990
- CAVICHIOLO, Carlos Aparecido. Supervisor de 1ª linha: **Planejamento e Administração
da Manutenção**. São Paulo, SENAI, 1990.
- CAVICHIOLO, Carlos Aparecido. Supervisor de 1ª linha: **Elementos e Conjuntos
Mecânicos de Máquinas**. São Paulo, SENAI, 1990.
- CHICAGO PNEUMATIC. São Paulo, s.d. (Catálogo).
- COMPUTATIONAL SYSTEMS. Huston, 1994. (Catálogo).
- DELMAR PUBLISHERS INC. **A Fresadora**. Trad. Ronaldo Sergio de Biasi. Rio de
Janeiro, 1967.
- DRAPINSKI, Janusz. **Manutenção Mecânica Básica:Manual Prático de Oficina**.
São Paulo, McGraw-Hill, 1978.
- EIM Indústria Metalúrgica Ltda. **Manual Técnico de Aplicação**, s.d.
- ESAB. **Manual da Soldagem de Manutenção**, s.d.
- FARIA, J. G. de Aguiar. **Administração da Manutenção**. São Paulo, Edgard
Blucher, 1994.
- FESTO DIDATIC. **Introdução à Pneumática Industrial**. São Paulo, 1995.
- FOKKER AIRCRAFT B. V. Amsterdam, 1993. (Catálogo).
- FRANCO, Sérgio Nobre et al. **Comandos Pneumáticos**. São Paulo, SENAI, 1985.
- GEDORE. Catálogo. São Leopoldo, 1984.

- GELDER, T.J. Vangelder. **Curso de Formacion Profesional: Oficial Mecanico.3 v.** Bilbao, Urmo, 1971.
- GOMES, Guilherme Faria et al. Reprin: **Indústria, Comércio e Manutenção. s.i.** (Apostila).
- Guia ABF de Ferramentas. 6 ed. São Paulo, Banas, 1992-93
- INSTRONIC INSTRUMENTOS DE TESTES. s.d. (Catálogo).
- KUME, Hitoshi. **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade.** Trad. Dario Ikuo Miyake. 8 ed. São Paulo, Gente, 1995.
- LOCTITE BRASIL. **Guia do Usuário: Catálogo.** Itapevi, s.d.
- LOUVET, J.C. **Manual do Torneiro.** 6 ed. São Paulo, LEP, 1960.
- MANNESMANN REXROTH. **Catálogos de Guias de Rolamentos.** São Paulo, s.d. **Mecânicos de Máquinas.** São Paulo, SENAI, 1990.
- MIRSHAWKA, Victor. **Manutenção Preditiva: Caminho para o Zero Defeito.** São Paulo, Macgraw-Hill, 1991.
- MOBIL. **Fundamentos da Lubrificação.** São Paulo, Mobil, 1979
- MOREIRA, Ilo da Silva Moreira. **Compressores: Instalação, Funcionamento e Manutenção.** São Paulo, SENAI, 1991. (Série tecnol. Ind. 2)
- MOREIRA, Ilo da Silva. **Hidráulica Móbil.** São Paulo, SENAI, 1995.
- MOTTER, Osir. **Manutenção Industrial.** São Paulo, Hemus, 1992.
- MOURA, Carlos R.S. e CARRETEIRO, Ronald P. **Lubrificantes e Lubrificação.** Rio de Janeiro, Técnica, 1978.
- MOURA, Eduardo C. **Sete Ferramentas Gerenciais da Qualidade.** São Paulo, Makron Books, 1994.
- NAKAJIMA, Seiichi. **Introdução ao TPM.** São Paulo, IMC Internacional Sistemas Educativos, 1989.
- NAKAJIMA, Siichi. **TPM Developmentt Program: Implementing Total Productive Maintenance.** S.I. Productivity, s.d.
- NARDINE. **Manual do Torno Mecânico Mascote.** Americana, SP, 1978
- NOVAES, Regina Célia Roland e CONDE, Maurício. **Mecânico de Manutenção.** São Paulo, SENAI, 1987.
- PEREIRA, Mauro José. **Tecnologia Têxtil Básica.** São Paulo, Cebrafam, s.d.
- REVISTA MANUTENÇÃO nº 38, Rio de Janeiro, et/Out 1992. P.3.
- RIBEIRO, Luiz Gonzaga. **Introdução a Tecnologia Têxtil.** Rio de Janeiro, CETIQT: SENAI, 1984, v.1 p.1, 4, 118 e 164.
- RODRIGUES, Ednaldo Caetano. **Tecnologia da Carda.** Rio de Janeiro, CETIQT: SENAI, 1985.
- RUNGE, Peter.R.F. e DUARTE, Gilson N. **Lubrificantes nas Indústrias.** Cotia, Triboconcept, 1990.
- SABÓ IND. E COM. São Paulo, 1989. (Catálogo).

- SACRISTAN, Francisco Rey. **Gestão Industrial, Manutenção Mecânica na Indústria e Oficinas**. Portugal, Cetop, 1992. (coleção Gestão).
- SCHONBERGER, Richard J. **Fabricação Classe Universal: As Ligações de Simplicidade Aplicadas**. Trad. João Mario Csillag. São Paulo, Pioneira, 1988
- SENAI. **Tecnologia Aplicada: Ajustador Mecânico** fit. São Paulo, 1983
- SENAI / SP. **Mecânico de Manutenção: Maçaroqueira**. São Paulo, 1981
- SHAMBAN. **Sistema Slydway em Turcite "B"**. s.d. (Catálogo).
- SHIROSE, Kunio. **TPM for Workshop Leaders**. Portland, Productivity, 1992.
- SHRADER Bellows. **Princípios Básicos, Produção, Distribuição e Condicionamento do Ar Comprimido**. São Paulo, 1987.
- SHROCK, Joseph. **Montagem, Ajuste, Verificação de Peças de Máquinas**. Trad. José R. da Silva. Rio de Janeiro, Reverté, 1979.
- SILVA, Marcos José de Moraes e outros. **Manutenção de Máquinas e Equipamentos**. São Paulo, SENAI, s.d.
- SKF Ferramentas. **Falhas de Rolamentos e suas Causas**. São Paulo, 1991.
- SKF Ferramentas. **Guia de Manutenção e Reposição de Rolamentos**. São Paulo, 1991.
- SKF Ferramentas. **Introdução aos Mancais de Rolamentos**. São Paulo, 1991.
- SKF Ferramentas. **Métodos e Ferramentas para Montagem e Desmontagem de Rolamentos**. São Paulo, 1991.
- SOARES, Rui Abreu. **Manual de Manutenção Preventiva**. Rio de Janeiro, CNI, s.d.
- TAKAHASHI, Uoshikazu e OSADA, Takashi. **TPM/MPT Manutenção Produtiva Total**. São Paulo, IMAN, 1993.
- TAM. **Fotos**. São Paulo, 1996.
- UTP Brasileira de Soldas Ltda. **100 Soluções Práticas para remoção Econômica de seus Problemas de Solda**. São Paulo, s.d.
- YACUBSOHN, Rodolfo V. **Manutenção Preditiva para Máquinas Industriais**. Revista Mundo Mecânico. Maio / 1986, p. 17-20.