
MANUTENÇÃO PREDITIVA

R.C. Köster
Shark Consulting.

Manutenção preditiva é talvez a mais mal compreendida e mal utilizada de todos os programas de melhoria na maioria das plantas. Muitos usuários definem-na como um meio de prever falhas catastróficas de máquinas rotativas críticas. Outros definem manutenção preditiva como uma ferramenta de programação de manutenção que usa dados de análise vibratória e infravermelha ou análise de óleo de lubrificação para determinar a necessidade de ações de manutenção corretivas. Uns poucos compartilham a crença, precipitada por vendedores de sistemas de manutenção preditiva, que a manutenção preditiva é um remédio para todos os males, uma panaceia para as nossas plantas criticamente doentes. Um ponto em comum para todas essas definições é que é somente uma ferramenta de gerenciamento de manutenção..

Devido a esses conceitos equivocados, a maioria dos programas de manutenção preditiva estabelecidos não tem sido suficientes para obter uma significativa redução nos custos de manutenção ou uma melhoria mensurável no desempenho geral de todas as empresas. De fato, o contrário é muitas vezes verdade. Em muitos casos, os custos anuais de reparos, peças de reposição, qualidade do produto e produção cresceram drasticamente como resultado direto do programa de manutenção preditiva.

Manutenção preditiva é muito mais do que uma ferramenta de programação e não deve ser restrita ao gerenciamento de manutenção. Como parte integrante de um programa de gerenciamento de desempenho total da planta, pode prover os meios para aumentar a capacidade produtiva, qualidade do produto, e efetividade global nas nossas plantas de manufatura.

DEFINIÇÕES DE MANUTENÇÃO PREDITIVA

Manutenção preditiva não é a solução completa para todos os fatores que limitam o desempenho da planta. De fato ela não pode afetar diretamente o desempenho da planta.

“Manutenção preditiva é uma técnica de gerenciamento que, dito de forma simples, usa avaliações regulares das condições atuais de operação dos equipamentos da planta, sistemas de produção e funções de gerenciamento da planta para aperfeiçoar totalmente a operação da planta”.

O output de um programa de manutenção preditiva são fatos e dados. Até que as ações sejam tomadas para resolver desvios ou problemas revelados pelo programa, o desempenho da planta não pode ser melhorado. Por isso, uma filosofia de gerenciamento que está comprometido com o desempenho da planta e suportado pela alta direção e a cooperação total de todas as funções da planta, deve existir antes que qualquer benefício possa ser obtido.

Sem o comprometimento e suporte da diretoria e a total cooperação de todas as funções da empresa, um programa de manutenção preditiva não pode prover os meios para resolver um baixo desempenho da planta.

Tecnologia preditiva pode ser usada para muito mais do que somente medir as condições de operação dos equipamentos críticos. A tecnologia permite avaliações certas de todos os grupos funcionais, na companhia. Utilizada de maneira adequada, manutenção preditiva pode identificar a maioria, se não todos, os fatores que limitam e a efetividade e a eficácia total da empresa.

GERENCIAMENTO TOTAL DA PLANTA

Um fator que limita a efetividade do gerenciamento de plantas é a falta de tempo, dados factuais que defina as condições de operação de sistemas produtivos críticos e a efetividade das funções críticas da planta, tais como, compras, engenharia e produção. Utilizada de forma adequada, manutenção preditiva pode prover os meios para eliminar todos os fatores que limitam o desempenho. Muitos destes problemas estão fora do alcance da manutenção e precisam ser corrigidos pelas funções correspondentes.

Altos custos de manutenção são o resultado direto de problemas inerentes através da empresa, não somente pelo gerenciamento ineficaz de manutenção. Projetos pobres, e práticas de compras, operação incorreta e métodos de gerenciamentos ultrapassados contribuem mais para altos custos de produção do que os atrasos ocasionados por falhas catastróficas. Devido à mentalidade de paradas e uma visão míope da causa raiz de um desempenho ineficiente, muitas empresas restringem a manutenção preditiva à função manutenção. Expansão do programa para incluir avaliações regulares de todos os fatores que limitam a desempenho irão incrementar grandemente os benefícios que dela são derivados.

A tecnologia preditiva pode ser usada para medir de forma acurada a eficiência e a eficácia de todas as funções. Os dados gerados pelas avaliações periódicas podem isolar limitações específicas nos níveis de habilidades, procedimentos inadequados, e metodologias deficientes de gerenciamento bem como problemas de equipamentos incipientes ou problemas de processo.

GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO

Como uma ferramenta de gerenciamento de manutenção, manutenção preditiva pode prover os dados requeridos para programar as tarefas tanto das manutenções preventivas como das corretivas, conforme a necessidade. Ao invés de confiar em estatísticas de vida média, tais como MTBF (*mean time between failure - tempo médio entre falhas*), para programar atividades de manutenção, a manutenção preditiva utiliza o monitoramento das condições de operação, eficiência do sistema, e outros indicadores para determinar o tempo médio atual entre falhas ou a perda de eficiência de cada equipamento.

Dito de outra forma, métodos tradicionais baseados no tempo proveem um guia para o tempo de vida do equipamento. A decisão final, em programas preventivos, ou quando o reparo ou o a atualização (retrofitting), precisa ser feita, baseia-se na intuição e na experiência do gestor de manutenção. A introdução de um programa compreensivo de manutenção preditiva pode e irá prover fatos e dados que definem as condições mecânicas atuais de cada máquina e a eficiência de cada processo. Estes fatos e dados podem ser usados pela gestão de manutenção para programar atividades de manutenção.

Um programa de manutenção preditiva reduz drasticamente paradas inesperadas por quebras e certifica que equipamentos que foram reparados estão em condições mecânicas aceitáveis. O programa identifica problemas antes que os mesmo se tornem sérios. Falhas mecânicas degradam em velocidade proporcionalmente a sua severidade. Se o problema é detectado antes, maiores reparos, nas diversas instâncias podem ser previstos.

Para obter estas metas, a manutenção preditiva precisa identificar a causa raiz dos problemas. Muitos dos programas estabelecidos não atentam para este requisito fundamental. Implantados por "vendedores" dos sistemas de manutenção preditiva, muitos programas são estabelecidos pela visão simplista dos sistemas de monitoramento, que identificam o problema em detrimento da real causa dos problemas. Os benefícios que o programa pode trazer são minimizados por esta condição.

De fato muitos destes programas falham devido a perda de confiança da gerencia na habilidade do programa em detectar problemas incipientes.

Portanto um programa de Manutenção Preditiva deve vir acompanhado de um treinamento forte em Análise de Falhas.

Esse treinamento não pode se restringir ao pessoal de manutenção, pois como dito, os benefícios totais do programa só podem ser obtidos pelo envolvimento de outras áreas. Um treinamento de Análise de Falhas deve envolver tanto o pessoal de produção como o pessoal de processo.

A grande totalidade das paradas de equipamento é atribuída à manutenção. Entretanto, nota-se nas plantas que processos inadequados, especificações equivocadas, projetos pobres e outras condições podem acarretar a perda de eficiência do equipamento (ou da planta como um todo).

A manutenção preditiva não pode funcionar em um vazio. Para ser uma ferramenta de gerenciamento de manutenção eficaz, ela deve ser combinada com uma função de planejamento de manutenção viável, que utilizará os dados para planejar e programar reparos apropriados. Além disso, depende da habilidade e conhecimento dos técnicos de manutenção. A menos que sejam feitos reparos ou ações corretivas adequadas, os dados fornecidos pelo programa de manutenção não podem ser eficazes. Tanto o planejamento ineficaz quanto os reparos inadequados restringirão severamente os benefícios da manutenção preditiva.

A manutenção preditiva utilizando a análise de vibração é baseada em dois fatores básicos: (1) todos os modos de falha comuns possuem componentes de frequência de vibração distintos que podem ser isolados e identificados e (2) a amplitude de cada componente de vibração é uma mudança na dinâmica de operação da máquina. A manutenção preditiva que utiliza a eficiência do processo, a perda de calor ou outras técnicas não destrutivas pode quantificar a eficiência operacional de equipamentos ou sistemas não mecânicos da planta. Essas técnicas usadas em conjunto com a análise de vibração podem fornecer ao gestor de manutenção ou ao engenheiro de fábrica informações factuais que permitirão obter confiabilidade e disponibilidade ideais.

Vibrações ocasionadas por equipamentos prestes a falhar podem contaminar outras partes de máquinas e equipamentos. Essas vibrações possuem diversas frequências que podem entrar em

ressonância com componentes eletroeletrônicos, placas ou mesmo partes mecânicas, ocasionando paradas inesperadas por falhas em componentes que não tinham a sua falha prevista.

GERENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

A manutenção preditiva pode ser uma ferramenta de gerenciamento de produção inestimável. Os dados derivados de um programa abrangente podem fornecer as informações necessárias para aumentar a capacidade de produção, a qualidade do produto e a eficácia geral da função

A eficiência da produção depende diretamente de vários fatores relacionados à máquina. A manutenção preditiva pode fornecer os dados necessários para obter confiabilidade, capacidade e eficiência ótimas e consistentes de sistemas de produção críticos. Embora esses fatores sejam vistos como responsabilidades de manutenção, muitos dos fatores que os afetam diretamente estão fora da função de manutenção. Por exemplo, procedimentos operacionais padrão ou erros do operador podem influenciar diretamente essas variáveis. A menos que o gerenciamento de produção use métodos de avaliação regulares, ou seja, manutenção preditiva, para determinar os efeitos dessas influências de produção, o desempenho de produção ideal não pode ser alcançado.

A qualidade do produto e os custos totais de produção são outras áreas em que a manutenção preditiva pode beneficiar o gerenciamento da produção. A avaliação regular de sistemas de produção críticos pode antecipar problemas potenciais que resultariam na redução da qualidade do produto e no aumento dos custos gerais de produção. Embora a única saída do programa de manutenção preditiva sejam fatos e dados, essas informações podem ser usadas para corrigir uma miríade de problemas de produção que afetam diretamente a eficácia e a eficiência do departamento de produção.

MELHORIA DE QUALIDADE

A maioria dos problemas de qualidade do produto é resultado direto de (1) sistemas de produção com problemas inerentes, (2) procedimentos operacionais deficientes, (3) manutenção inadequada ou (4) matérias-primas com defeito. A manutenção preditiva pode isolar esse tipo de problema e fornecer os dados necessários para corrigir muitos dos problemas que resultam na redução da qualidade do produto.

Um programa abrangente usará uma combinação de dados, como vibração, termografia, tribologia (a ciência da fricção, desgaste e lubrificação de superfícies que interagem), parâmetros de processo e dinâmica de operação, para antecipar desvios da condição de operação ideal dos sistemas críticos da planta, antes que possam afetar a qualidade do produto, a capacidade de produção ou os custos totais de produção.

TÉCNICAS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA

Há uma variedade de tecnologias que podem e devem ser usadas como parte de um programa abrangente de manutenção preventiva. Como os sistemas mecânicos ou máquinas são responsáveis pela maioria dos equipamentos da fábrica, o monitoramento de vibração é geralmente o componente chave da maioria dos programas de manutenção preditiva. No entanto, o monitoramento de vibração não pode fornecer todas as informações necessárias para um programa de manutenção preditiva. Esta técnica é limitada ao monitoramento da condição mecânica e não a outros parâmetros críticos necessários para manter a confiabilidade e a eficiência do maquinário. É uma ferramenta muito limitada para monitorar processos críticos e eficiências de maquinário e outros parâmetros que podem limitar severamente a produtividade e a qualidade do produto.

Portanto, conforme observado anteriormente, deve ser repetido que um programa abrangente de manutenção preditiva deve incluir outras técnicas de monitoramento e diagnóstico. Essas técnicas incluem (1) monitoramento de vibração (2) termografia, (3) tribologia, (4) parâmetros de processo, (5) inspeção visual e (5) outras técnicas de teste não destrutivo.

ANÁLISE VIBRATÓRIA

A análise de vibração é a técnica dominante usada para o gerenciamento de manutenção preditiva. Como a maior população de equipamentos típicos de uma planta é mecânica, essa técnica tem a mais ampla aplicação e benefícios em um programa total da planta. Essa técnica usa o ruído ou a vibração criada pelo equipamento mecânico e, em alguns casos, pelos sistemas da fábrica para determinar sua condição real. Usar a análise de vibração para detectar problemas na máquina não é novidade. Durante as décadas de 1960 e 1970, os setores da Marinha dos EUA e de geração de energia elétrica

petroquímica e nuclear investiram pesadamente no desenvolvimento de técnicas de análise baseadas em ruído ou vibração que pudessem ser usadas para detectar e identificar problemas mecânicos incipientes em máquinas críticas. No início dos anos 80, a instrumentação e as habilidades analíticas exigidas para manutenção preditiva baseada em ruído foram totalmente desenvolvidas. Essas técnicas e instrumentos provaram ser extremamente confiáveis e precisos na detecção do comportamento anormal da máquina.

No entanto, o custo de capital da instrumentação e a especialização necessária para adquirir e analisar dados de ruído impediu a aplicação geral desse tipo de manutenção preditiva. Como resultado, somente os equipamentos mais críticos em alguns setores selecionados poderiam justificar a despesa necessária para introduzir um programa de manutenção preditiva baseado em ruído

Avanços recentes na tecnologia de microprocessadores, combinados com a expertise de empresas especializadas em diagnósticos de máquinas e tecnologia de análise, desenvolveram os meios para fornecer à manutenção preditiva baseada em vibração que pode ser usada com eficiência de custo na maioria das aplicações de fabricação e processo.

Esses sistemas baseados em microprocessadores simplificaram a aquisição de dados, automatizaram o gerenciamento de dados e minimizaram a necessidade de especialistas em vibração interpretarem os dados.

Os sistemas comercialmente disponíveis são capazes de monitorar, analisar tendências e avaliar a condição mecânica de todos os equipamentos mecânicos em uma planta típica. Este tipo de programa pode ser usado para planejar a manutenção em todos os equipamentos mecânicos de processo rotativos e alternativos e meios contínuos. Monitorar a vibração do maquinário da planta pode fornecer uma correlação direta entre a condição mecânica e os dados de vibração registrados de cada máquina

Qualquer degradação da condição mecânica dentro do maquinário da planta pode ser detectada usando técnicas de monitoramento de vibração. Usada corretamente, a análise de vibração pode identificar componentes específicos da máquina em estados de degradação ou o modo de falha da máquina da fábrica antes que ocorram danos sérios.

A maioria dos programas de manutenção preditiva baseados em vibração se baseia em uma ou mais técnicas de análise e tendências. Essas técnicas incluem tendências de banda larga, tendências de banda estreita e análise de assinatura¹.

Tendência de banda larga.

Essa técnica adquire leituras de vibração gerais ou de banda larga de pontos selecionados em uma máquina². Esses dados são comparados com uma leitura de linha de base obtida de uma nova máquina ou gráficos de gravidade de vibração para determinar a condição relativa da máquina³. Normalmente, uma medição de banda larga não filtrada que fornece a energia de vibração total se situa entre 10 e 10.000 Hz é usada para este tipo de análise. Banda larga ou os dados *rms*⁴ globais são estritamente um valor bruto ou número que representa a vibração total da máquina no ponto de medição específico onde os dados foram adquiridos. Ele não fornece informações relativas ao problema real da máquina ou ao modo de falha. Idealmente, a tendência de banda larga pode ser usada como uma indicação simples de que houve uma mudança na condição mecânica ou na dinâmica de operação da máquina ou sistema. No máximo, essa técnica pode ser usada como uma varredura grosseira da condição operacional do processo crítico da maquinaria. No entanto, os valores de banda larga devem ser ajustados aos parâmetros reais de produção, como carga e velocidade, para serem efetivos mesmo neste papel reduzido. Mudanças na velocidade e na carga do maquinário terão um efeito direto nos níveis gerais de vibração da máquina.

¹ A Análise de Assinatura Elétrica (ESA) é um método de ensaio energizado, onde as formas de onda de tensão e corrente são capturadas enquanto o motor estiver funcionando e depois - com a Transformada Rápida de Fourier (FFT) - uma análise espectral é realizada utilizando um software específico. Com esses dados são detectadas falhas relacionadas à energia de entrada, o circuito de controle, o motor e as tendências de carga acionada.

² Evidentemente que a seleção dos diversos componentes a serem monitorados são os que realmente vão falhar. Componentes estruturais geralmente não são selecionadas, pois raramente falham. A expressão *power train* seria a mais adequada neste ponto. No Português, no entanto a expressão "trem de força da máquina" ou somente "trem" não é muito comum.

³ Conhecida como assinatura espectral. Isto é os novos dados são comparados com a assinatura espectral existente para detectar variações.

⁴ Root Mean Square. É a medida de nível mais relevante, porque leva em consideração o histórico no tempo da onda e dá um valor de nível o qual é diretamente relacionado à energia contida, e, portanto, à capacidade destrutiva da vibração.

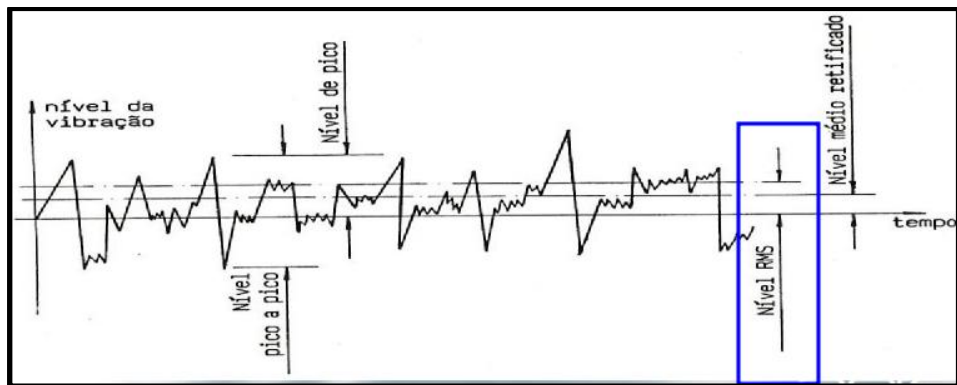


Fig. 1. Exemplificação das possibilidades de medição das vibrações pelo espectro da banda larga.

Tendência de banda estreita

A tendência de banda estreita, como a banda larga, monitora a energia total para uma largura de banda específica de frequências de vibração. Ao contrário da banda larga, a análise de banda estreita usa frequências de vibração que representam componentes específicos da máquina ou modos de falha. Este método fornece os meios para monitorar rapidamente a condição mecânica dos componentes críticos da máquina, não apenas a condição geral da máquina. Essa técnica fornece a capacidade de monitorar a condição de conjuntos de engrenagens, rolamentos e outros componentes da máquina sem a análise manual de assinaturas de vibração.

Como no caso da tendência de banda larga, mudanças na velocidade, carga e outros parâmetros do processo terão um impacto direto, muitas vezes dramático, na energia de vibração produzida por cada componente da máquina ou banda estreita. Para serem significativos, os valores de banda estreita devem ser ajustados aos parâmetros reais de produção.

Análise de Assinatura Espectral

Ao contrário das duas técnicas de tendências, a análise de assinaturas fornece uma representação visual de cada componente de frequência gerado por um “power train”. Com o treinamento, a equipe da fábrica pode usar as assinaturas de vibração para determinar a manutenção específica exigida pelo maquinário da fábrica. A maioria dos programas de manutenção preditiva baseados em vibração usa algum tipo de análise de assinatura em seu programa. No entanto, a maioria desses programas se baseia em análises comparativas, em vez de técnicas completas de causa raiz. Essa falha limita os benefícios que podem ser derivados desse tipo de programa.

TERMOGRAFIA

A termografia é uma técnica de manutenção preditiva que pode ser usada para monitorar a condição das máquinas, estruturas e sistemas da planta. Utiliza instrumentação projetada para monitorar a emissão de energia infravermelha, ou seja, temperatura, para determinar sua condição de operação. Ao detectar anomalias térmicas, isto é, áreas mais quentes ou mais frias do que deveriam, um avaliador experiente pode localizar e definir problemas incipientes dentro da planta. A tecnologia de infravermelho baseia-se no fato de que todos os objetos com temperatura acima do zero absoluto emitem energia ou radiação. A radiação infravermelha é uma forma dessa energia emitida. Emissões de infravermelho, ou abaixo do vermelho, são os comprimentos de onda mais curtos de toda a energia irradiada e são invisíveis sem instrumentação especial. A intensidade da radiação infravermelha de um objeto é uma função da sua temperatura superficial. Entretanto, a medição de temperatura usando métodos de infravermelho é complicada porque existem três fontes de energia térmica que podem ser detectadas a partir de qualquer objeto: energia emitida pelo próprio objeto, energia refletida do objeto e energia transmitida pelo objeto. Apenas a energia emitida é importante em um programa de manutenção preditiva. As energias refletidas e transmitidas distorcerão os dados infravermelhos brutos. Portanto, as energias refletidas e transmitidas devem ser filtradas dos dados adquiridos antes que uma análise significativa possa ser feita.

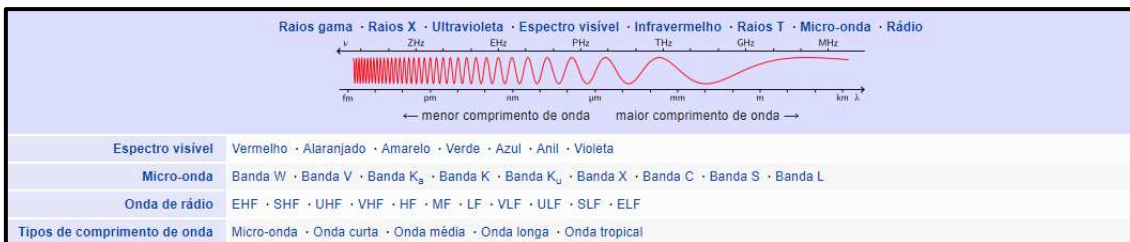


Fig. 2. Espectro Eletromagnético.

A superfície de um objeto influencia a quantidade de energia emitida ou refletida. Uma superfície emissora perfeita é chamada de corpo negro e tem uma emissividade igual a 1,0. Essas superfícies não refletem. Em vez disso, absorvem toda a energia externa e reemitem como energia infravermelha. As superfícies que refletem a energia infravermelha são chamadas de corpos de luz e têm uma emissividade menor que 1,0.

A maioria dos equipamentos da fábrica se enquadra nessa classificação. A consideração cuidadosa da emissividade real de um objeto melhora a precisão das medições de temperatura usadas para manutenção preditiva. Para ajudar os usuários a determinar a emissividade, as tabelas foram desenvolvidas para servir como diretrizes para os materiais mais comuns. No entanto, essas diretrizes não são valores absolutos de emissividade para todas as máquinas ou equipamentos da fábrica.

Variações na condição da superfície, pintura ou outros revestimentos de proteção e muitas outras variáveis podem afetar o fator de emissividade real do equipamento da planta. Além da energia refletida e transmitida, o usuário de técnicas termográficas também deve considerar a atmosfera entre o objeto e o instrumento de medição. O vapor de água e outros gases absorvem a radiação infravermelha. Poeira suspensa no ar, alguma luz e outras variáveis na atmosfera circundante podem distorcer a radiação infravermelha medida. Como o ambiente atmosférico está em constante mudança, o uso de técnicas termográficas requer extremo cuidado sempre que dados infravermelhos são adquiridos.

A maioria dos sistemas ou instrumentos de monitoramento de infravermelho fornece filtros especiais que podem ser usados para evitar os efeitos negativos da atenuação atmosférica dos dados de infravermelho. No entanto, o usuário deve reconhecer os fatores específicos que afetarão a precisão dos dados de infravermelho e aplicar os filtros corretos ou outro condicionamento de sinal necessário para negar esse fator atenuante específico ou fatores.

A coleta de ótica, detectores de radiação e alguma forma de indicador compreendem os elementos básicos de um instrumento infravermelho industrial. O sistema óptico coleta energia radiante e a focaliza em um detector, que converte em um sinal elétrico. A eletrônica do instrumento amplifica o sinal de saída e o processa em um formato que pode ser exibido. Existem três tipos gerais de instrumentos que podem ser usados para manutenção preditiva: termômetros infravermelhos ou radiômetros scanners de linha e sistemas de imagens.

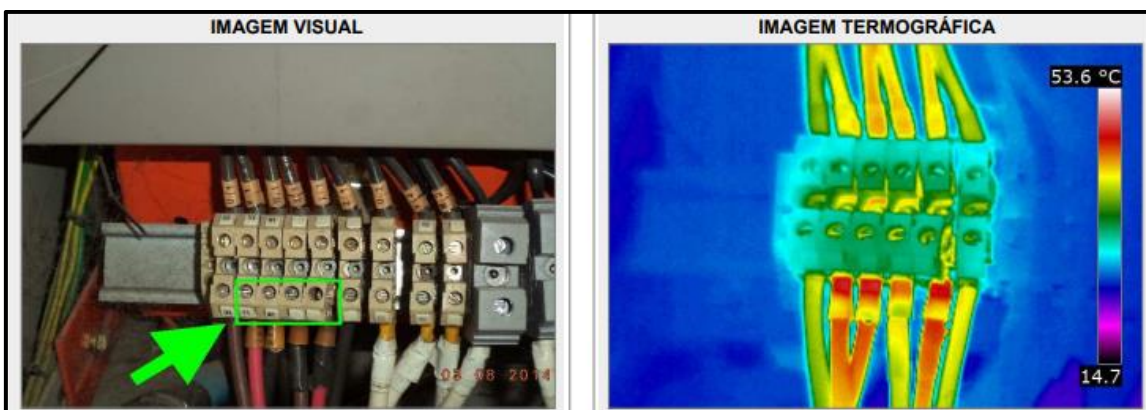


Fig. 3. Aspecto de uma termografia por imagem em bornes elétricos.

Um dos campos de aplicação da termografia são em painéis elétricos, transformadores, linhas de transmissão, etc. A temperatura não é detectável visualmente na maioria dos casos. E nos casos em que a detecção ocorre visualmente geralmente há já um comprometimento do elemento analisado. Caso por exemplo da fusão dos isolamentos em cabos elétricos.

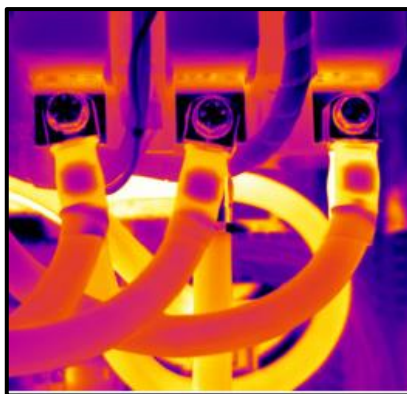


Fig. 4. Apecto de uma termografia por imagem em bornes elétricos.

Termômetros/Radiômetros e Escâneres de linha.

Termômetros ou radiômetros e scanner de linha tem aplicação restrita no campo da Termografia. Os primeiros por fazerem a medição em apenas um ponto da superfície emissora. Essa medição pode não ser efetiva suficiente para o real entendimento do aquecimento a que o componente está submetido. Idêntico aos primeiros, mas, com alguma vantagem são os scanners de linha, que como o nome sugestiona, medem através de uma linha. Pode também de alguma forma mascarar a leitura e a sua utilização deve ser feita por pessoal treinado e que consiga interpretar completamente a leitura realizada.

Imagem Infravermelha.

Ao contrário de outras técnicas de infravermelho, a imagem térmica ou infravermelha fornece os meios para digitalizar as emissões de infravermelho de máquinas, processos ou equipamentos completos em um tempo muito curto. A maioria dos sistemas de imagem funciona como uma câmera de vídeo. O usuário pode visualizar o perfil de emissão térmica de uma área ampla simplesmente olhando através da ótica do instrumento. Há uma variedade de instrumentos de imagem térmica disponíveis no mercado, desde escâner preto-e-branco, relativamente barato, até sistemas baseados em microprocessadores coloridos. Muitas das unidades menos caras são projetadas estritamente como scanners e não fornecem a capacidade de imagens térmicas de armazenamento e recuperação. A incapacidade de armazenar e recuperar dados térmicos anteriores limitará um programa de manutenção preditiva de longo prazo. A inclusão da termografia em um programa de manutenção preditiva permitirá monitorar a eficiência térmica de sistemas críticos de processo que dependem de transferência ou retenção de calor, equipamentos elétricos e outros parâmetros que melhorem a confiabilidade e a eficiência dos sistemas da fábrica. Técnicas de infravermelho podem ser usadas para detectar problemas em uma variedade de sistemas e equipamentos, incluindo painéis elétricos, caixas de engrenagens, subestações elétricas, transmissões, painéis de disjuntores, motores, envelopes de construção, rolamentos, linhas de vapor e sistemas de processo que dependem de retenção de calor ou transferência.

TRIBOLOGIA

Tribologia é o termo geral a que se refere à dinâmica de projeto e operação da estrutura de suporte de lubrificação do rolamento do maquinário. Várias técnicas de tribologia podem ser usadas para a manutenção preditiva: análise de óleo lubrificante, análise espectrográfica, ferrografia e análise de partículas de desgaste.

A análise do óleo lubrificante, como o nome indica, é uma técnica de análise que determina a condição dos óleos lubrificantes usados em equipamentos mecânicos e elétricos. Não é uma ferramenta para determinar a condição de operação do maquinário. Algumas formas de análise de óleo lubrificante fornecerão uma quebra quantitativa precisas de elementos químicos individuais, tanto aditivos de óleo como contaminantes, contidos no óleo. Uma comparação da quantidade de vestígios de metais em amostras de óleo sucessivas pode indicar padrões de desgaste de peças da fábrica e fornecerá uma indicação de falha iminente da máquina.

Até recentemente, a análise tribológica tem sido um processo relativamente lento e caro. As análises foram realizadas utilizando técnicas laboratoriais tradicionais e exigiram mão de obra extensa e qualificada. Estão agora disponíveis sistemas baseados em microprocessadores que podem automatizar a maior parte da análise de óleo lubrificante e espectrográfica, reduzindo assim o esforço manual e o custo de análise.

As principais aplicações da espectrografia de óleos lubrificantes é o controle de qualidade, a redução dos estoques de óleo lubrificante e a determinação do intervalo mais econômico para a troca de óleo.

Óleos lubrificantes, hidráulicos e dielétricos podem ser analisados periodicamente, usando estas técnicas, para determinar sua condição. Os resultados dessa análise podem ser usados para determinar se o óleo atende aos requisitos de lubrificação da máquina ou aplicação. Com base nos resultados da análise, os lubrificantes podem ser alterados ou atualizados para atender aos requisitos operacionais específicos. Além disso, a análise detalhada das propriedades químicas e físicas dos diferentes óleos usados na planta pode, em alguns casos, permitir a consolidação ou a redução do número e dos tipos de lubrificantes necessários para manter o equipamento da planta. A eliminação da duplicação desnecessária pode reduzir os níveis de estoque necessários e, portanto, os custos de manutenção.

Como uma ferramenta de manutenção preditiva, a espectrografia e a análise do óleo lubrificante podem ser usadas para programar os intervalos de troca de óleo com base nas condições reais do óleo. Em usinas de porte médio a grande, uma redução no número de trocas de óleo pode significar uma considerável redução anual nos custos de manutenção. Amostras e testes relativamente baratos podem mostrar quando o óleo de uma máquina atingiu um ponto que justifica a mudança. O benefício total da análise de óleo pode ser obtido apenas com amostras frequentes, com tendência para os dados de cada máquina na fábrica. Ele pode fornecer uma riqueza de informações sobre as quais as decisões de manutenção devem ser basear.

No entanto, o grande retorno é raramente possível sem um programa consistente de amostragem.

Análise do óleo de Lubrificação.

Óleos Básicos conceito e características principais

O principal constituinte do óleo lubrificante acabado é denominado óleo básico, que pode ser um derivado de petróleo obtido pelo processo de refino ou substâncias sintéticas geradas por reações químicas ou, até mesmo, óleos de origem vegetal. Na maioria das aplicações, as propriedades do óleo básico não atendem integralmente todos os requisitos de lubrificação.

Nestes casos, são adicionados na formulação *aditivos* que podem lhes conferir, com certa limitação, características superiores às do óleo básico. A escolha de qual óleo básico utilizar para formular um óleo lubrificante depende das características físico-químicas do básico e do desempenho almejado para o produto final. Dentre os parâmetros a serem avaliados, encontram-se a viscosidade, o índice de viscosidade, a volatilidade, o teor de saturados, o ponto de fluidez e a estabilidade à oxidação.

A análise de óleo tornou-se uma ajuda importante para a manutenção preventiva. Os laboratórios recomendam que amostras de lubrificante da máquina sejam tomadas em intervalos programados para determinar a condição do filme lubrificante que é crítico para a operação da máquina. Normalmente 10 testes são realizados em amostras de óleo lubrificante:

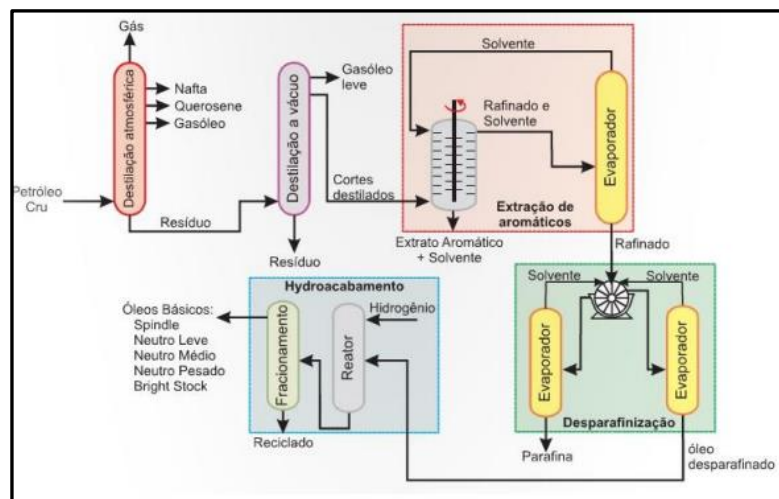


Fig. 5. Esquemático para a obtenção de óleos básicos numa refinaria

Viscosidade. Esta é uma das propriedades mais importantes de um óleo lubrificante. A viscosidade real das amostras de óleo é comparada com uma amostra não usada para determinar o afinamento ou espessamento da amostra durante o uso. A viscosidade excessivamente baixa reduzirá a resistência do filme de óleo, enfraquecendo sua capacidade de impedir o contato metal-metal. Uma viscosidade excessivamente alta pode impedir o fluxo de óleo para locais vitais na estrutura de suporte do rolamento, reduzindo sua capacidade de lubrificação.

A viscosidade é a propriedade que determina o valor da resistência ao cisalhamento do fluido, que é a tensão gerada por duas ou mais forças atuando na mesma direção e em sentido igual ou oposto. Essa propriedade se deve, primariamente, à interação entre as moléculas do fluido e depende da temperatura em que ele se encontra. As máquinas e equipamentos geram calor durante o seu funcionamento, no entanto, a lubrificação deve ser a mesma em qualquer situação de uso. A forma mais usual de expressar o comportamento da viscosidade em função da temperatura, na indústria do petróleo, é o *índice de viscosidade, IV*.

O *índice de viscosidade, IV*, é calculado a partir das viscosidades a 40 e 100 °C do óleo, e seu valor está relacionado à variação da viscosidade de um fluido com a temperatura. Quanto maior o IV de um dado óleo, menor a variação de sua viscosidade com a variação da temperatura. A Figura 6 mostra o comportamento da viscosidade de dois fluidos de acordo com a variação da temperatura. A inclinação da reta do fluido com IV igual a zero é maior que a daquele de IV igual a 100, ou seja, a variação da viscosidade é tanto menor quanto maior o IV. Portanto, quanto maior for o IV menor será a influência da temperatura sobre a viscosidade do fluido.

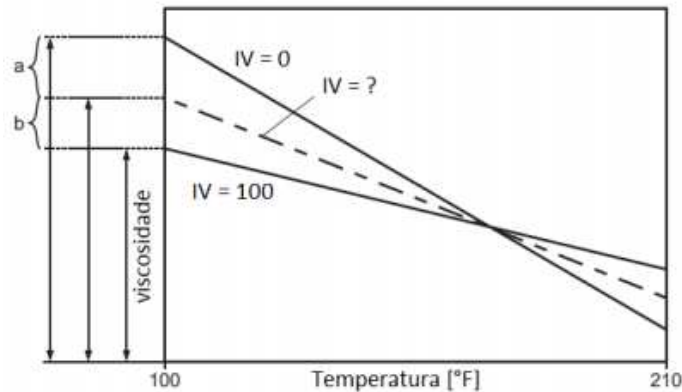


Fig.6. Gráfico ilustrando a relação do índice de viscosidade (IV) com a temperatura (6).

Contaminação. A contaminação do óleo pela água ou refrigerante pode causar grandes problemas em um sistema de lubrificação. Muitos dos aditivos agora usados na formulação de lubrificantes contêm os mesmos elementos usados nos aditivos de refrigeração. Portanto, o laboratório deve ter uma análise precisa do novo óleo para comparação.

Diluição de Combustível. A diluição do óleo em um motor enfraquece a força do filme de óleo, a capacidade de vedação e a detergência. Podem ser causados por operação incorreta, vazamentos no sistema de combustível, problemas de ignição, temporização inadequada ou outras deficiências. A diluição do combustível é considerada excessiva quando atinge um nível de 2,5 a 5%.

Partículas sólidas. Este é um teste geral. Todos os materiais sólidos no óleo são medidos como uma porcentagem do volume ou peso da amostra. A presença de sólidos em um sistema de lubrificação pode aumentar significativamente o desgaste das peças lubrificadas. Qualquer aumento inesperado nos sólidos relatados é motivo de preocupação.

Fuligem de Combustível. Um indicador importante para o óleo usado em motores a diesel, a fuligem de combustível está sempre presente em certa medida. Um teste para medir a fuligem de combustível no óleo do motor a diesel é importante, pois indica a eficiência de queima de combustível do motor. A maioria dos testes de fuligem de combustível é realizada por análise de infravermelho.

Oxidação. A oxidação do óleo lubrificante pode resultar em depósitos de verniz, corrosão do metal ou espessamento do óleo. A maioria dos lubrificantes contém inibidores de oxidação. No entanto, quando os aditivos são usados, a oxidação do próprio óleo começa. A quantidade de oxidação em uma amostra de óleo é medida por análise diferencial de infravermelho.



Fig. 7. Aspecto da formação de verniz por oxidação do óleo numa caixa diferencial.

Nitração⁵ Combustão de combustível em motores resulta da nitração. Os produtos formados são altamente ácidos e podem deixar depósitos em áreas de combustão. A nitração acelerará a oxidação do óleo. A análise infravermelha é usada para detectar e medir produtos de nitração.

Número total de ácido. Esta é uma medida da quantidade de ácido ou material ácido na amostra de óleo. Como os óleos novos contêm aditivos que afetam o número total de ácidos (TAN), é importante comparar as amostras de óleo usadas com óleo novo, não usado, do mesmo tipo. Análises regulares em intervalos específicos são importantes para essa avaliação.

Número Base Total. Este número indica a capacidade de um óleo para neutralizar a acidez. Quanto maior o número total de bases (TBN), maior a capacidade de neutralizar a acidez. Causas típicas de baixo TBN incluem o uso do óleo inadequado para uma aplicação, esperando muito tempo entre trocas de óleo, superaquecimento e uso de combustível com alto teor de enxofre.

Contagem de Partículas. Testes de contagem de partículas são importantes para antecipar problemas potenciais do sistema ou da máquina. Isto é especialmente verdadeiro em sistemas hidráulicos. A análise da contagem de partículas que faz parte de uma análise normal de óleo lubrificante é bastante diferente da análise de partículas de desgaste. Neste teste, altas contagens de partículas indicam que o maquinário pode estar sendo usado anormalmente ou que falhas podem ocorrer como resultado de orifícios bloqueados temporária ou permanentemente. Nenhuma tentativa é feita para determinar os padrões de desgaste, tamanho e outros fatores que identificariam o modo de falha dentro da máquina.

Análise Espectrográfica

A análise espectrográfica permite medições precisas e rápidas de muitos dos elementos presentes no óleo lubrificante. *Esses elementos são geralmente classificados como metais de desgaste, contaminantes ou aditivos.* Alguns elementos podem ser listados em mais de uma dessas classificações. As análises padrão de óleo lubrificante não tentam determinar os modos de falha específicos de desenvolvimento de problemas máquina. Portanto, técnicas adicionais devem ser usadas como parte de um programa abrangente de manutenção preditiva.

Análise de Partículas de Desgaste

A análise de partículas de desgaste está relacionada à análise de óleo apenas porque as partículas a serem estudadas são coletadas por meio de uma amostra de óleo lubrificante.

Enquanto a análise de óleo lubrificante determina a condição real da amostra de óleo, a análise de partículas de desgaste fornece informações diretas sobre a condição de desgaste da máquina. Partículas no lubrificante de uma máquina podem fornecer informações significativas sobre a condição da máquina. Esta informação é derivada do estudo da forma, composição, tamanho e quantidade de partículas.

A análise de partículas de desgaste é normalmente realizada em dois estágios. O primeiro método usado para análise de partículas de desgaste é o monitoramento de rotina e a tendência do teor de sólidos do lubrificante da máquina. Em termos simples, a quantidade, a composição e o tamanho do material particulado no óleo lubrificante são indicativos da condição mecânica da máquina.

Uma máquina normal irá conter baixos níveis de sólidos com um tamanho menor que 10 μm . À medida que a condição da máquina se degrada, o número e o tamanho do material particulado

⁵ A nitração é a introdução irreversível de um ou mais grupo nitro (NO₂) em uma molécula orgânica.

umentam. O segundo método de partículas de desgaste envolve a análise do material particulado em cada amostra de óleo lubrificante. Cinco tipos básicos de desgaste podem ser identificados de acordo com a classificação das partículas: desgaste por fricção, desgaste por cisalhamento, desgaste por fadiga rolante, desgaste combinado por fricção e cisalhamento e desgaste severo por deslizamento (ver Tabela 1). Somente o desgaste por desgaste e mecanismos de fadiga de rolamento precoce geram partículas predominantemente menores que 15 µm em tamanho

TABELA 1. Cinco tipos de desgaste.

Tipo.	Descrição
Desgaste por fricção/atrito.	Resultado do desgaste normal da máquina.
Desgaste por cisalhamento	Causada pela penetração de uma superfície da máquina em outra
Fadiga por rolagem ⁶	Resultado primário do contato entre as partes de rolamentos
Desgaste combinado entre Fricção e Cisalhamento	Resultado de movimento entre contato de um sistema de engrenagens
Desgaste de cisalhamento severo.	Causado por carregamento excessivo ou aquecimento.

Desgaste por Fricção/Atrito. Este é o resultado do desgaste normal de superfícies de contato em uma máquina. Durante o amaciamento normal de uma superfície de desgaste, uma camada única é formada na superfície. Enquanto esta camada é estável, a superfície se desgasta normalmente. Se a camada for removida mais rapidamente do que é gerada, a taxa de desgaste aumenta e o tamanho máximo de partícula aumenta.

Quantidades excessivas de contaminação em um sistema de lubrificação podem aumentar o desgaste da fricção em mais de uma ordem de grandeza sem remover completamente a camada mista de cisalhamento. Embora a falha catastrófica seja improvável, essas máquinas podem se desgastar rapidamente. Problema iminente é indicado por um aumento dramático em partículas de desgaste.

Partículas de desgaste por cisalhamento. Estas são geradas quando uma superfície penetra outra. Elas são produzidas quando uma superfície dura desalinhada ou fraturada produz uma aresta que corta uma superfície mais macia, ou quando o contaminante abrasivo fica embutido em uma superfície macia e corta uma superfície oposta. Partículas de desgaste por cisalhamento são anormais e sempre merecem atenção. Se elas tiverem apenas alguns micrometros de comprimento e uma fração de micrometro de largura, a causa provavelmente é um contaminante. Quantidades crescentes de partículas mais longas sinalizam uma falha potencialmente iminente do componente.

Fadiga de Rolagem. Isso está associada principalmente aos rolamentos de contato e pode produzir três tipos distintos de partículas: partículas de fragmentação por fadiga, partículas esféricas e partículas laminares. Partículas de fragmentação de fadiga são o material real removido quando uma cova ou entalhe se abre em uma superfície de rolamento. Um aumento na quantidade ou tamanho dessas partículas é a primeira indicação de uma anormalidade. A fadiga de rolagem nem sempre gera partículas esféricas, e elas podem ser geradas por outras fontes. Sua presença é importante na medida em que são detectáveis antes que ocorra qualquer fragmentação real. As partículas laminares são muito finas e acredita-se que sejam formadas pela passagem de uma partícula de desgaste através de um contato de rolagem. Partículas laminares geralmente tem orifícios (micro furos). Partículas laminares podem ser geradas ao longo da vida de um rolamento, mas no início da fragmentação da fadiga a quantidade aumenta.

Desgaste combinado de rolagem e cisalhamento. Isso resulta do contato móvel das superfícies nos sistemas de engrenagens. Essas partículas maiores resultam de tensões de tração na superfície da engrenagem, fazendo com que as trincas de fadiga se propagem mais profundamente no dente da engrenagem. Trincas por fadiga de engrenagem não geram esferas. O arrastamento de engrenagens é causado por uma carga ou velocidade muito alta. O calor excessivo gerado por essa condição quebra o filme lubrificante e causa a aderência dos dentes da engrenagem. À medida que as superfícies de desgaste se tornam mais duras, a taxa de desgaste aumenta. Uma vez iniciado, esse processo, geralmente afeta todos os dentes da engrenagem.

Desgaste por Cisalhamento Severo. Isso é causado por cargas excessivas ou calor em um sistema de engrenagens. Sob essas condições, partículas grandes se soltam das superfícies de desgaste, causando um aumento na taxa de desgaste. Se as tensões aplicadas à superfície forem aumentadas ainda mais, um segundo ponto de transição é atingido. A superfície se desfaz e o desgaste catastrófico segue.

⁶ A palavra rolagem foi usada em detrimento de rolamento, para não criar confusão entre a ação de rolar e o componente rolamento.

A análise espectrográfica normal é limitada à contaminação por partículas com um tamanho de 10 µm ou menos. Contaminantes maiores são ignorados. Este fato pode limitar os benefícios que podem ser derivados da técnica

Ferrografia.

Essa técnica é semelhante à espectrografia, mas há duas exceções principais.

Primeiro, a ferrografia separa a contaminação por partículas usando um campo magnético em vez de queimar uma amostra como na análise espectrográfica. Como um campo magnético é usado para separar contaminantes, esta técnica é principalmente limitada a partículas ferrosas ou magnéticas. A segunda diferença é que a contaminação por partículas maior que 10 µm pode ser separada e analisada. A análise ferrográfica normal irá capturar partículas de até 100 µm e fornecer uma melhor representação da contaminação total do óleo do que as técnicas espectrográficas.

Existem três grandes limitações ao usar a análise tribológica em um programa de manutenção preditiva: custos de equipamento, aquisição de amostras de óleo precisas e interpretação de dados.

Um fator que limita severamente os benefícios da tribologia é a aquisição de amostras precisas que representem o verdadeiro estoque de óleo lubrificante em uma máquina. A amostragem não é uma questão de abrir uma porta em algum lugar na linha de óleo e pegar uma amostra de cerveja. Cuidado extremo deve ser tomado para adquirir amostras que realmente representem o lubrificante que passará pelos mancais da máquina. Um exemplo recente é uma tentativa de adquirir amostras de óleo de um compressor centrífugo. O filtro de óleo lubrificante tinha uma porta de amostra no lado limpo, isto é, a jusante. No entanto, a comparação de amostras tomadas neste ponto e uma tomada diretamente do reservatório de óleo do compressor indicou que mais contaminantes existiam a jusante do filtro do que no reservatório. Qual local realmente representava a condição do óleo? Nenhuma das amostras foi verdadeiramente representativa da condição do óleo. O filtro de óleo havia removido a maior parte dos sólidos suspensos, isto é, metais e outros insolúveis, e, portanto, não era representativo da condição real. A amostra do reservatório não era representativa, uma vez que a maioria dos sólidos suspensos havia se depositado no reservatório.

Os métodos apropriados e a frequência de amostragem de óleo lubrificante são essenciais para todas as técnicas de manutenção preditiva que usam amostras de lubrificantes. Pontos de amostragem consistentes com o objetivo de detectar partículas grandes devem ser escolhidos. Em um sistema de recirculação, as amostras devem ser retiradas à medida que o lubrificante retorna ao reservatório e antes de qualquer filtração. Não extraia óleo do fundo de um poço, onde grandes quantidades de material se acumulam com o tempo. As linhas de retorno são preferíveis ao reservatório como a fonte de amostra, mas boas amostras de reservatório podem ser obtidas se práticas cuidadosas e consistentes forem usadas.

Mesmo equipamentos com altos níveis de filtração podem ser monitorados de forma eficaz, desde que as amostras sejam retiradas antes que o óleo entre nos filtros. As técnicas de amostragem envolvem a coleta de amostras sob condições operacionais uniformes. As amostras não devem ser tiradas mais de 30 minutos após o equipamento ter sido desligado.

A frequência da amostra é uma função do tempo médio de falha desde o início de um modo de desgaste anormal até uma falha catastrófica. Para máquinas em serviço crítico, a amostragem a cada 25 horas de operação é apropriada. No entanto, para a maioria dos equipamentos industriais em serviço contínuo, a amostragem mensal é adequada. A exceção à amostragem mensal são máquinas com cargas extremas. Nesse caso, a amostragem semanal é recomendada.

Entender o significado dos resultados da análise talvez seja o fator limitante mais sério. Na maioria das vezes, os resultados são expressos em termos totalmente estranhos aos engenheiros ou técnicos das fábricas. Portanto, é difícil para eles entender o verdadeiro significado, em termos de condição de óleo ou máquina. Um bom histórico em química quantitativa e qualitativa é benéfico. Como requisito mínimo, o pessoal da fábrica exigirá treinamento em química básica e instrução específica para interpretar os resultados da tribologia.

ANÁLISE DE MOTORES ELÉTRICOS

As avaliações de motores elétricos e outros equipamentos elétricos são fundamentais para um programa de manutenção preditiva global. Até certo ponto, os dados de vibração isolam alguns dos problemas mecânicos e elétricos que podem se desenvolver em motores de acionamento críticos. No entanto, a vibração não pode fornecer a cobertura abrangente necessária para atingir o desempenho ideal da planta. Portanto, um programa de manutenção preditiva total da planta deve incluir métodos de aquisição e avaliação de dados projetados especificamente para identificar problemas em motores e outros equipamentos elétricos.

Teste de Resistência de Isolação

Os testes de resistência de isolamento são importantes, embora possam não ser conclusivos, pois podem revelar falhas no isolamento, má qualidade do material de isolamento, presença de umidade e vários outros problemas. Esses testes podem ser aplicados ao isolamento de máquinas elétricas, desde os enrolamentos até a estrutura, a cabos subterrâneos, isoladores, capacitores e vários outros componentes elétricos auxiliares. Normalmente, esses testes são realizados usando (1) Testador (2) ponte de Wheatstone, (3) ponte dupla Kelvin, ou (4) uma série de outros instrumentos.

Um testador de resistência de isolação fornece os meios para medir diretamente a condição do isolamento do motor. Este método usa um dispositivo que gera uma saída conhecida, geralmente 500 V, e mede diretamente a resistência do isolamento dentro do motor. Quando a resistência de isolamento cai abaixo do valor prescrito, pode ser trazida para os padrões exigidos limpando e secando o estator e o rotor.

A precisão do aparelho de testes de resistência de isolamento varia amplamente com a temperatura, umidade e limpeza das peças. Portanto, eles podem não ser absolutamente conclusivos.

Testadores de resistência de isolação podem ser usados para determinar a integridade de circuitos e cabos em motores, transformadores, chaves de distribuição e instalações elétricas. O método de teste é determinado pelo tipo de equipamento sendo testado e a razão para o teste. Por exemplo, ao testar cabeamento elétrico ou chave de distribuição (equipamentos de baixa capacitância), as correntes de fuga capacitiva dependentes do tempo e de fuga de absorção tornam-se insignificantes e decrescem a zero quase instantaneamente. Um fluxo de corrente de fuga condutiva estável é alcançado quase instantaneamente (um minuto ou menos), fornecendo condições perfeitas para a leitura de ponto/teste de resistência de curta duração. Por outro lado, quando o equipamento a ser testado é uma grande extensão de cabo, um grande motor ou gerador (equipamentos de alta capacitância) as correntes dependentes de tempo irão durar horas. Estas correntes irão levar as leituras do medidor a mudar constantemente, tornando impossível a obtenção de uma leitura estável e apurada. Esta condição pode ser superada através de um teste que estabeleça uma tendência entre as leituras, como teste de voltagem progressiva ou de absorção dielétrica. Estes testes não dependem de uma leitura única, mas de um conjunto de leituras relativas. Seria uma perda de tempo executar tais testes em equipamentos de baixa capacitância uma vez que correntes dependentes do tempo diminuem rapidamente, resultando em todas as medições iguais.

Testes na Instalação. A mais importante razão para teste de isolação é garantir a segurança pública e pessoal. Executando um teste de alta voltagem DC entre condutores de correntes não energizados, na terra e condutores-terra, você pode eliminar a possibilidade de curtos circuitos ou curtos para terra, ameaçadores. Este teste geralmente é executado depois da instalação inicial do equipamento. Este processo protegerá o sistema contra equipamentos defeituosos e mal conectados por fios e irá garantir uma instalação de alta qualidade, proteção contra fogo ou choque.

Teste de manutenção. A segunda razão mais importante para o teste de isolação é proteger e prolongar a vida de sistemas elétricos e motores. Ao longo dos anos, sistemas elétricos são expostos a fatores ambientais como sujeira, graxa, temperatura, estresse e vibração. Tais condições podem levar a falhas de isolação, resultando em perda de produção ou mesmo incêndios. Testes de manutenção periódica podem fornecer informações valiosas sobre o estado de deterioração e ajudarão a prever possíveis falhas do sistema. A correção de problemas não somente evitará surpresas e aborrecimentos, mas também estenderá a vida útil de operação para uma variedade de equipamentos.

Outros Testes Elétricos

Um programa completo de manutenção preditiva deve incluir todos os métodos de teste e avaliação necessários para avaliar regularmente todos os sistemas críticos da planta. No mínimo, um programa total da fábrica também deve incluir (1) análise de perda dielétrica, (2) análise de gás em óleo, (3) monitoramento de campo perdido, (4) teste de alta tensão, descarga de chaveamento, (5) medições de resistência, (6) bobinas de Rogowski e (7) harmônicos de corrente da barra do rotor.

Análise de perda dielétrica. O teste de tempo-resistência é independente do tamanho do equipamento e da temperatura. Ele compara as características de absorção de isolações contaminadas com as características de absorção de boas isolações. A voltagem de teste é aplicada além de um período de 10 minutos, com os dados registrados a cada 10 segundos do primeiro ao último minuto. A interpretação da curva do gráfico esboçado irá determinar a condição da isolação. Um crescimento contínuo na resistência representada indica boa isolação. Uma curva

uniforme ou decrescente indica isolação danificada.

	Teste de Prova	Teste de leitura de ponto	Teste de voltagem em passos	Teste de absorção dielétrica	Teste de índice de polarização
Leitura única	o	o			
Alta voltagem de teste	o				
Executado periodicamente		o	o	o	o
Voltagens de teste variadas			o		
Com tempo				o	o

Fig. 7 Outros testes elétricos possíveis em máquinas e componentes elétricos.

INSPEÇÃO DOS QUATRO⁷ SENTIDOS

Os quatro sentidos (audição, visão, olfato e tato) podem ser utilizados para realização de inspeções em equipamentos.

A inspeção regular através dos quatro sentidos em máquinas e sistemas em uma fábrica é uma parte necessária de qualquer programa de manutenção preventiva. Em muitos casos, a inspeção dos sentidos detectará possíveis problemas que serão perdidos usando as outras técnicas de manutenção preditiva. Mesmo com as técnicas de previsão discutidas, muitos problemas potencialmente sérios podem permanecer indetectáveis.

A inspeção de rotina utilizando os quatro sentidos de todos os sistemas críticos da planta aumentará as outras técnicas e garantirá que problemas em potencial sejam detectados antes que possam ocorrer sérios danos. A maioria dos sistemas de manutenção preditiva baseados em vibração inclui a capacidade de registrar observações dos quatro sentidos como parte do processo de aquisição de dados de rotina.

Como os custos incrementais dessas inspeções são pequenos, essa técnica deve ser incorporada em todos os programas de manutenção preditiva. Todos os equipamentos e sistemas da fábrica devem ser inspecionados visualmente de forma regular. As informações adicionais fornecidas pela inspeção visual aumentarão o programa de manutenção preventiva, independentemente das principais técnicas utilizadas.

Audição. Os sons são os primeiros sinais a serem verificadas quando da inspeção de ativos em uma rota de manutenção. Motores elétricos, bombas hidráulicas, compressores de ar moto redutores e outros equipamentos, emitem sons típicos e uniformes quando estão em boas condições de operação e manutenção. Estalidos, cliques, som de batidas, som de chocalho, modulação de som não usual etc. indicam que algo de anormal está ocorrendo no equipamento como, por exemplo, desalinhamento de eixos, desbalanceamento de rotores, sobrecarga de mancais de rolamento ou de deslizamento, folgas internas com interferência, peças frouxas ou que se desprenderam etc. indicando que, se medida corretiva não for tomada de imediato, o equipamento poderá sofrer falha, catastrófica ou não. A Inspeção auditiva pode se incrementada pelo uso de um estetoscópio.

Olfato. Odores não usuais exalando de ativos indicam a ocorrência de anormalidades em sua operação. Odor de “queimado” é um forte indicador que está havendo instabilidade térmica em algum equipamento e caso seja possível extrair uma amostra de óleo lubrificante pode-se, ao verificar o seu odor, detectar-se indícios de oxidação, falha térmica (craqueamento) visto que as reações químicas oriundas destas formas de deterioração do óleo lubrificante fazem com que as amostras tenham odores peculiares (azedo, cáustico, acre) e que, muitas vezes, se assemelham a odor de “ovo podre”. Contaminação do óleo lubrificante por gás refrigerante (amônia, freon), por gás sulfídrico, por solventes, por compostos nitrogenados e sulfurosos ou por formação microbológica é, facilmente, detectáveis em amostras de óleo lubrificante sendo um olfato bem treinado valioso instrumento de manutenção.

Tato. Pode ser muito conveniente utilizar-se do tato para se analisar vibrações severas ou mudanças nas características térmicas de equipamentos industriais. Superfícies externas de máquinas podem atingir temperaturas muito elevadas devido às alterações em suas condições internas muito embora, por questões de segurança, não se recomende tocar em superfícies que se

⁷ O Sentido do paladar é único que não se presta para esta finalidade. Existem processos industriais, no entanto em que o paladar é o mais importante. Processos como a fabricação de vinhos, ou café o mesmo tem larga aplicação.

espera irão estar tão quentes que possa haver lesões nas mãos. Vibrações atípicas podem ser sinais de desalinhamento de eixos, desbalanceamento de rotores ou de peças que se desprenderam no interior da máquina. Este tipo de inspeção pode ser útil e realizada com segurança em algumas montagens de mancais planos e de rolamento e em redutores de velocidade. Podemos, ainda, tomar amostra de óleo lubrificante pelo registro de drenagem ou amostra de graxa do interior da caixa do mancal de rolamento e friccioná-la entre 02 dedos com vistas a se verificar presença de partículas duras, grumos pastosos ou textura pegajosa. Partículas duras podem indicar desgaste metálico ou contaminação por material externo abrasivo, grumos pastosos e textura pegajosa indicam a formação de borra oriunda da contaminação por água, oxidação ou bactérias. Obviamente, que a inspeção pelo tato deve ser realizada obedecendo-se normas de segurança de maneira a se evitar acidentes ou queimaduras. Caso este tipo de inspeção seja realizada deve-se tocar levemente a superfície metálica com o dorso da mão visto que a reação natural do cérebro humano em situações físicas adversas (ex: temperaturas muito elevadas ou muito frias), é a contração involuntária da mão provocando o seu fechamento.

Visão. O sentido da visão, sem dúvida, é o mais produtivo dos sentidos a ser utilizado nas inspeções de manutenção de ativos industriais e pode ser empregado nas rotinas de manutenção, sem muito esforço. Verificações de vazamentos devem ser a busca primária nas inspeções visuais dos ativos industriais e as verificações de visores e medidores de nível são de fundamental importância dado à facilidade em se verificar anormalidades tais como: mudanças no nível do óleo lubrificante; formação de espuma no visor de nível; escurecimento ou turvação do óleo lubrificante; formação de verniz no visor de nível sendo, quaisquer destas ocorrências, sinais indesejados que prenunciam falhas. Indicadores BS&W (Bottom Sediment and Water) devem ser verificados em busca da presença de água livre, óleo lubrificante de aparência turva, acúmulo de borra ou resíduos de desgaste visualmente detectáveis. Pode-se, ainda, verificar se há emanção de vapores, gases e fumaça em áreas onde estas exalações não deveriam estar ocorrendo. Figuras 10/11 – Os indicadores BS&W e visores de nível são fontes extremamente confiáveis nas inspeções visuais de ativos industriais Retirar e analisar visualmente uma amostra de óleo lubrificante do maquinário é procedimento que pode ser de grande auxílio como indicador da condição de operação e manutenção. Amostras de óleo lubrificante enviadas a laboratórios para análises podem levar dias ou, até mesmo, semanas para terem os laudos retornados e respostas emergenciais podem ser obtidas *por simples análise visual e conhecimento do equipamento por técnico bem treinado.*

MONITORAMENTO POR ULTRASSON

Essa técnica de manutenção preditiva usa princípios semelhantes à análise de vibração. Ambas as técnicas monitoram o ruído gerado por máquinas ou sistemas da fábrica para determinar sua condição operacional real. Ao contrário do monitoramento de vibrações, o ultrassom monitora as frequências mais altas, isto é, o ultrassom, produzido por dinâmicas únicas em sistemas de processos ou máquinas. A faixa de monitoramento normal para análise de vibração é de menos de 1 a 20.000 Hz. As técnicas de ultrassom monitoram a faixa de frequência entre 20.000 e 100 kHz. A principal aplicação para monitoramento ultrassônico é na detecção de vazamentos. O fluxo turbulento de líquidos e gases através de um orifício restrito, isto é, vazamento, produzirá uma assinatura de alta frequência que pode ser facilmente identificada usando técnicas ultrassônicas. Portanto, essa técnica é ideal para detectar vazamentos em válvulas, purgadores de vapor, tubulações e outros sistemas de processo. Dois tipos de sistemas ultrassônicos estão disponíveis e podem ser usados para manutenção preditiva: estrutural e aerotransportada. Ambos fornecem diagnósticos rápidos e precisos de operação anormal e vazamentos. Os detectores ultrassônicos aéreos podem ser usados em modo de varredura ou de contato. Como scanners, eles são mais usados para detectar vazamentos de pressão de gás. Como esses instrumentos são sensíveis apenas ao ultrassom, eles não estão limitados a gases específicos como a maioria dos outros detectores de vazamento de gás. Além disso, eles são frequentemente usados para localizar várias formas de vazamentos de vácuo. No modo de contato, uma haste de metal atua como guia de onda. Quando toca numa superfície, é estimulada pelas altas frequências (ultrassons) no lado oposto da superfície. Esta técnica é usada para localizar o fluxo turbulento e / ou restrição de fluxo na tubulação do processo. Alguns dos sistemas ultrassônicos incluem transmissores ultrassônicos que podem ser colocados dentro de tubulações ou vasos de plantas. Nesse modo, monitores ultrassônicos podem ser usados para detectar áreas de penetração sonora ao longo da superfície do contêiner. Este método de transmissão ultrassônica é útil em verificações rápidas de: costuras de tanques, escotilhas, vedações, calafetagem, gaxetas ou juntas de paredes de edifícios. Em uma máquina típica, muitas outras dinâmicas de máquina também geram frequências dentro da largura de banda coberta por um instrumento ultrassônico. Frequências de engrenamento de engrenagem, passagem de lâmina e outros componentes da máquina também criarão energia ou ruído que não podem ser separados das frequências de manobra monitoradas por este tipo de instrumento.

O único método confiável para determinar a condição de componentes específicos da máquina, incluindo rolamentos, é a análise de vibração. O uso de ultrassons para monitorar a condição do rolamento não é recomendado.

ANÁLISE DE OPERAÇÃO DINÂMICA

Esse método de análise é orientado pelo projeto da máquina ou do sistema e não se limita às técnicas tradicionais de análise. A lógica de diagnóstico é derivada do design específico e das características operacionais do sistema de trem ou máquina de produção. Com base na dinâmica única de cada trem ou sistema de máquinas, todos os parâmetros que definem as condições operacionais ideais são rotineiramente medidos e avaliados. Usando a lógica da condição de operação normal, a dinâmica de operação pode detectar, isolar e fornecer ação corretiva econômica para qualquer desvio do ótimo.

A análise de dinâmica de operação combina técnicas tradicionais de manutenção preditiva em uma técnica de avaliação holística que isolará qualquer desvio das condições ótimas dos sistemas críticos da planta. Esse conceito usa dados brutos derivados de vibração, infravermelho, ultrassom, parâmetros de processo e inspeção visual, mas aplica uma lógica de diagnóstico exclusiva para avaliar sistemas de plantas.

AUDITORIA DE INSPEÇÃO

As técnicas de inspeção foram introduzidas, o programa foi implantado com sucesso e os benefícios do programa estão sendo colhidos.

Como fazer para que o programa se mantenha, e seja aperfeiçoado.

CUSTO DE UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA.

Os custos iniciais e recorrentes necessários para estabelecer e manter um programa abrangente de manutenção preditiva irão variar com a tecnologia e o tipo de sistema selecionado para uso da planta. Embora o custo inicial ou de capital seja o mais visível, o custo real de um programa é a mão-de-obra, o treinamento e o suporte técnico recorrente, necessários para manter um programa total da fábrica.

A seleção das técnicas requeridas passa pela análise de um expert neste tipo de manutenção. Não necessariamente todas as técnicas precisam estar presentes. Avaliações periódicas para equipamentos críticos podem ser contratadas externamente, reduzindo os custos iniciais de investimento de equipamentos e treinamentos.

Se a empresa optar pela aquisição de equipamentos para o monitoramento de vibração ou ultrassom, por exemplo, a indicação do que adquirir e as condições específicas de aplicação bem como o treinamento do pessoal de manutenção para utilização dos mesmos, a forma de análise de tendências e outras nuances requerem necessariamente o acompanhamento de um expert.

Vendedores de equipamentos podem “empurrar” coisas desnecessárias que acabam ficando na prateleira sem uso.

Na avaliação da Shark Consulting, os custos iniciais devem ser reduzidos e os ganhos com a manutenção preditiva devem ser primeiramente contabilizados.

Um bom programa de manutenção preditiva começa pela inspeção dos quatro sentidos.

O que se quer num programa como este, principalmente é chegar antes da quebra. Os ganhos com um programa de manutenção preditivo podem ser classificados da seguinte forma.

Tabela 2. Reduções esperados de Manutenção com um Programa de Manutenção Preditiva

BENEFÍCIOS	REDUÇÃO ESPERADA
Redução dos Custos de Manutenção	50 a 80%
Redução em Falhas de Máquinas	50 a 60%
Redução de Peças Sobressalentes	20 a 30%
Redução de Horas Extras para Manutenção	20 a 50%
Redução por Paradas Inesperadas (quebras)	50 a 80%
Aumento da vida Útil de Maq. e Equip.	20 a 40%
Aumento da Produtividade	20 a 30 %
Aumento dos Lucros	20 a 60 %

SUGESTÕES E CONCLUSÕES.

1. Um bom programa de Manutenção Preditiva deve ter como objetivo principal mudar a cultura da Manutenção dentro da planta.
2. Um Programa de Manutenção Preditiva nunca será eficiente o suficiente se não envolver toda a planta, principalmente a Produção e a área de Processos Industriais (Desenvolvimento e Engenharia de Fábrica)
3. Um Programa de Manutenção Preditiva não pode ser uma ilha, corroborando o dito no item dois. Não se pode ter excelência em manutenção se outras áreas não tem a mesma condição. Não funciona desta forma.
4. Um Programa de Manutenção Preditiva tem que vir necessariamente acompanhado de um Método Robusto de Análise de Falhas. Pode ser o próprio MASP ou FTA. Não importa o método, importa é a implantação e mais do que isso, o treinamento. Sem uma análise e eliminação da causa raiz, nenhum programa de manutenção será suficiente.
5. As técnicas a serem utilizadas passam pela indicação e implantação de especialistas.
6. Normalmente “santo de casa não faz milagres”, e a contratação de uma boa consultoria, além de trazer a expertise de outras configurações de plantas, ajuda a acelerar a implantação do sistema como um todo.
7. Um Sistema de Manutenção Preditiva deve se basear em fatos e dados e o tratamento adequados dos dados oriundos, principalmente da inspeção, devem ser tratados adequadamente. Dados sem análise e tratamento adequado não servem para absolutamente nada.
8. Manutenção Preditiva deve estar focada nos quatro pilares que a sustentam. Inspeção, Planejamento, Treinamento e envolvimento das outras funções como Produção, Processos, Compras, Qualidade.