

O USO DA ANÁLISE DE ENVELOPE PARA DIAGNÓSTICO DE ATRITO EM SOPRADORES DE LÓBULOS

Wilton Silva De Matos (1)

RESUMO

Atrito dos impelidores de sopradores de lóbulos entre si ou com a carcaça é um problema frequente e que resulta quase sempre em paradas prolongadas e alto custo de manutenção. A detecção e diagnóstico deste problema em seu estágio inicial através da técnica convencional de análise dos espectros das vibrações são difíceis, devido ao mascaramento das componentes de vibrações geradas pelas pulsações de pressão do gás e outros defeitos mecânicos.

Este trabalho apresenta uma descrição simplificada das características construtivas deste tipo de equipamento e de seu princípio de operação, bem como uma listagem das principais causas de atrito. São apresentadas ainda uma descrição de suas características normais de vibrações, método para diferenciar as vibrações geradas pelas pulsações de pressão do gás e atrito, revisão da técnica de análise de envelope e resultados experimentais de análises utilizando espectros de vibrações obtidos diretamente do sinal e do envelope.

1. INTRODUÇÃO

Sopradores de lóbulos são compostos basicamente por dois impelidores em forma de duplo lóbulo montados no interior de uma carcaça cilíndrica longa através de eixos paralelos, conforme mostrado na figura 1. Engrenagens de sincronização controlam a posição angular de cada impelidor e asseguram uma folga de operação entre eles. As folgas entre os impelidores e a carcaça são muito pequenas, para evitar o retorno do gás da descarga para a sucção.

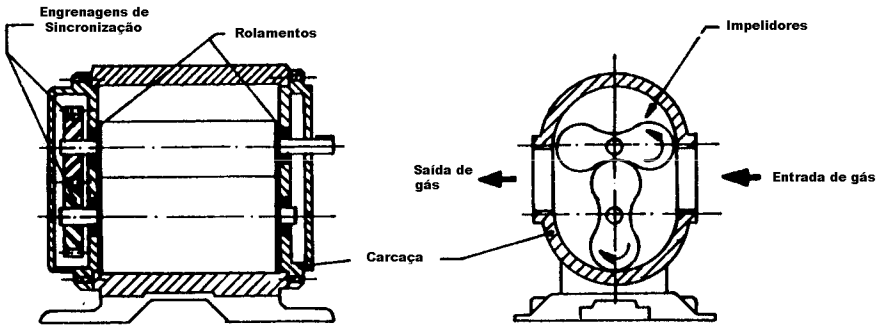


Figura 1 - Principais componentes de um soprador de lóbulos

À medida que cada lóbulo passa pela sucção arrasta um determinado volume de gás e o transporta através da carcaça até a secção de descarga. Este ciclo repete-se quatro vezes em cada rotação do eixo, conforme mostrado na figura 2. No momento de cada descarga parte do gás em alta pressão contido na linha de descarga retorna para a câmara de baixa pressão formada entre o impelidor e a carcaça, provocando choque e pulsação de pressão no gás e, conseqüentemente, ruído e vibração. Alguns sopradores, a exemplo do modelo mostrado na figura 2, possuem uma câmara na secção de descarga da carcaça e duas ou mais ranhuras abertas para as câmaras A e B formadas entre os impelidores e a carcaça, para permitir que a pressão de descarga seja transierida progressivamente para o interior de cada câmara à partir de determinada posição do impelidor. O crescimento progressivo da pressão no interior da câmara para um nível próximo da pressão de descarga reduz o retorno do gás no instante da descarga, o que atenua o ruído e as vibrações geradas pelo choque e pulsação do gás (1).

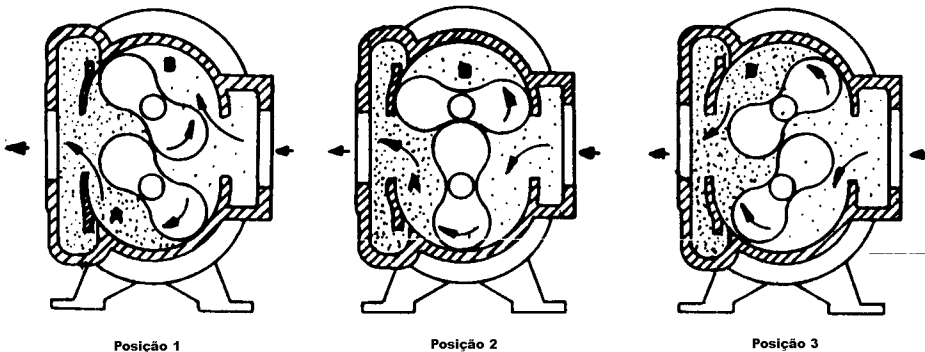


Figura 2 - Fluxo de gás em um soprador de lóbulos

As principais causas de atrito em sopradores de lóbulos são (2):

- a) Entrada de corpos sólidos ou acúmulo de sujeira nos impelidores ou carcaça.
- b) Deformações da carcaça devido a tensões de tubulações, erro de paralelismo e nivelamento entre os pontos de apoio da base metálica, tensão excessiva de correias ou desalinhamento de acoplamento.
- c) Desgaste dos rolamentos ou engrenagens de sincronização.
- d) Erros de montagem (folgas ou sincronismo dos rotores)
- e) Deflexão dos eixos devido a pressão excessiva na descarga.
- f) Superaquecimento causado por ventilação insuficiente no ambiente onde está instalado o soprador, folga excessiva entre os lóbulos devido a desgaste e corrosão (reduz a eficiência volumétrica elevando a temperatura), pressão diferencial (DP) excessivamente elevada ou queda na pressão de sucção (reduz a eficiência volumétrica).

O controle rigoroso das condições operacionais destes equipamentos é fundamental para prevenir a ocorrência de atrito. Sabemos que em operação existe uma diferença de temperatura entre a sucção e a descarga, causada pelo calor de compressão e recirculação do gás no interior da carcaça. A elevação do diferencial de temperatura (DT) provoca uma expansão dos impelidores e secção de descarga da carcaça, o que reduz as folgas entre os impelidores e entre os impelidores e a carcaça, podendo resultar em atrito. O diferencial de temperatura (DT) é diretamente proporcional à potência e inversamente proporcional à pressão de sucção, conforme podemos ver na equação abaixo (3):

$$DT = \frac{T_s \times BHP \times Ft}{0,01542 \times P_s \times Q_s}$$

sendo: T_s = Temperatura de sucção, °R

BHP = Potência no eixo, HP

Ft = Fator de elevação de temperatura para cada soprador (adimensional)

P_s = Pressão de sucção, PSIA

Q_s = Vazão de sucção, CFM

Como a potência no eixo é a soma da potência mecânica com a potência requerida para comprimir e transportar o gás e esta última é diretamente proporcional à elevação de pressão através do soprador (DP), concluímos que para uma rotação constante o DT através do soprador irá aumentar com o aumento de DP e/ou queda na pressão de sucção (4). Ocorrendo elevação de DP deve-se parar o equipamento e verificar se existem obstruções nas linhas de sucção ou descarga (por exemplo, obstrução do filtro de sucção).

2. CARACTERÍSTICAS DAS VIBRAÇÕES

As vibrações de sopradores de lóbulos, mesmo quando bem instalados, em boas condições mecânicas e com carga moderada, são relativamente elevadas e os espectros apresentam muitos picos em frequências múltiplas da rotação de operação. Amplitudes globais na faixa de 5,0 a 12,0 mm/s-pico são encontradas normalmente em sopradores de lóbulos operando há longo tempo sem sintomas aparentes de defeitos e mesmo em sopradores novos ou após manutenção.

Os picos na frequência de rotação e suas harmônicas são geradas por uma combinação de forças de origens mecânicas e aerodinâmicas, tais como desbalanceamento dos impelidores, desalinhamento entre mancais, desalinhamento entre acionador e soprador, empeno de eixo, excentricidades, folgas, pulsações de pressão do gás e atrito entre impelidores e entre impelidores e carcaça, entretanto, as maiores contribuições são dadas normalmente pelo atrito dos impelidores e pulsação de pressão do gás.

O atrito intermitente dos impelidores (impactos) gera componentes a 1xRPM ou 2xRPM e suas harmônicas e as pulsações de pressão do gás geram componentes principalmente a 4xRPM w suas harmônicas (ocorrem 4 pulsos de descarga do gás a cada rotação). entretanto, componentes na frequência de rotação e suas harmônicas também podem ser geradas pela pulsação de pressão, devido a pequenas assimetrias nos impelidores. Todos estes componentes somam-se para formar espectros ricos em harmônicas, algumas amplificadas por ressonâncias estruturais, o que torna muito difícil a detecção e diagnóstico do atrito em seus estágios iniciais através das técnicas convencionais de análises das vibrações no domínio do tempo e da frequência.

3. DIFERENCIAÇÃO ENTRE AS VIBRAÇÕES GERADAS PELO ATRITO E PELAS PULSAÇÕES DE PRESSÃO DO GÁS

Sabemos que o espectro de frequências de uma função no tempo, caracterizada por impulsos retangulares periódicos, é formado por uma série infinita de picos com espaçamento correspondente ao inverso do tempo decorrido entre impulsos consecutivos, conforme mostrado na figura 3. Um único impulso de curta duração resultará num espectro contínuo, ou seja, com energia espalhada sobre todas as frequências de zero a infinito, com a forma definida pela linha externa da figura 3. Um impulso com duração média resultará num espectro também contínuo com a forma da segunda linha externa da figura 3 (4).

Quando os impelidores entram em contato entre si ou com a carcaça ocorrem impactos que excitam as frequências naturais do equipamento e de elementos estruturais, tais como base metálica e tubulações. Tais frequências naturais são acompanhadas por bandas laterais com espaçamento correspondente à frequência de ocorrência dos impactos e suas harmônicas, conforme mostrado na figura 4.

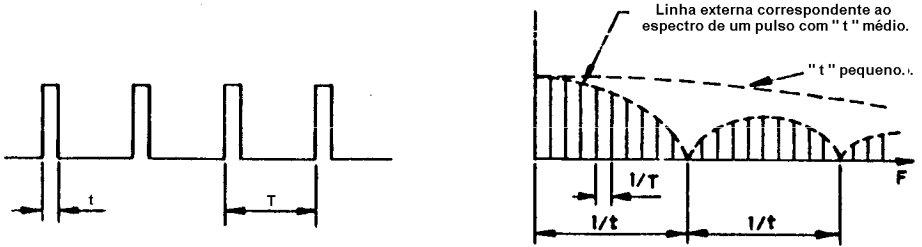


Figura 3 - Espectro de frequência de uma série de impulsos periódicos

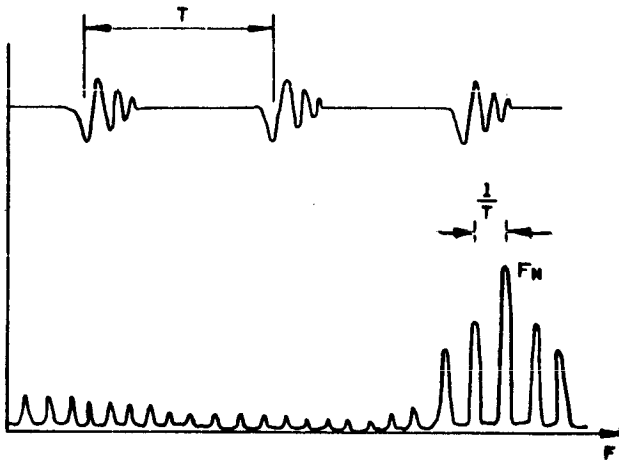


Figura 4 - Frequência natural e bandas laterais excitadas por impacto

Os impulsos de pressão do gás excitam vibrações com características similares àquelas geradas pelos impactos dos impelidores, contudo, seus efeitos são limitados às baixas frequências do espectro, não excitando as frequências naturais elevadas do equipamento e elementos estruturais. Concluímos daí que a presença de bandas laterais em torno das frequências naturais mais elevadas do espectro é um forte indicador de atrito dos impelidores, entretanto, os sinais aleatórios de banda larga gerados por turbulência do fluido e atrito nos rolamentos, bem como o espalhamento das harmônicas mais elevadas devido a pequenas flutuações de rotação, mascaram as bandas laterais, dificultando sua identificação.

Para encontrar um método prático e confiável de detectar e diagnosticar este tipo de problema, comum em sopradores de lóbulos, passamos a fazer análises dos espectros das

vibrações com fundo de escala de frequências de 60.000 CPM e 300.000 CPM e análises de envelope do sinal, comparando seus resultados.

4. ANÁLISE DE ENVELOPE

A análise de envelope consiste em extrair a ressonância de interesse do espectro através de filtros analógicos passa-alta e passa-baixa, obter o envelope do sinal no domínio do tempo através de circuito analógico ou análise digital (transformada de Hilbert) e determinar o espectro do envelope do sinal em baixas frequências. O espectro assim obtido irá mostrar os picos de vibrações na frequência dos impactos e suas harmônicas, sem mascaramento de outras vibrações como ocorre no espectro obtido diretamente do sinal (5). A figura 5 mostra os passos necessários para a obtenção do espectro do envelope.

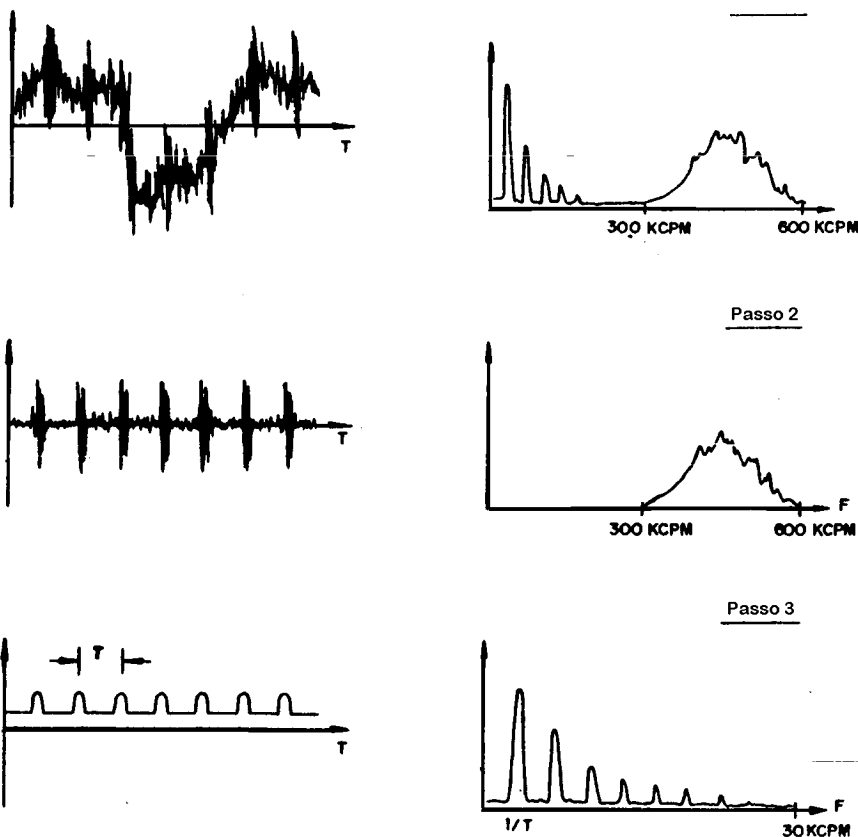


Figura 5 - Análise de envelope

1. O sinal no domínio do tempo é medido na caixa de mancal e o espectro é calculado para localização de possíveis ressonâncias em altas frequências.
2. As frequências abaixo e acima da faixa de frequências que contém a ressonância estrutural são eliminadas através de filtros analógicos passa-baixa e passa-alta. O sinal no domínio do tempo irá conter apenas a frequência de ressonância que é modulada pela frequência dos impactos.
3. O envelope do sinal no domínio do tempo é obtido através de circuito analógico ou análise digital (transformada de Hilbert). O envelope irá conter apenas a componente de modulação de baixa frequência relacionada com a taxa de ocorrência dos impactos.
4. O espectro do envelope é calculado.

5. CASOS ANALISADOS

5.1 Caso 1 - Soprador S1

As figuras 6 e 7 mostram os espectros de velocidade das vibrações com fundo de escala de 60.000 CPM e 300.000 CPM e o espectro de envelope da vibração de um soprador de lóbulos OMEL modelo SR/2745, operando com 1.189 RPM e pressão de descarga de 0,90 kg/cm². Este soprador descarrega o ar para um reator e no início da campanha sua pressão de descarga é de aproximadamente 0,45 kg/cm². Após cerca de 4,0 meses de operação a perda de carga causada pelo acúmulo de sujeira no leito do reator eleva esta pressão para valores próximos do limite recomendado pelo fabricante (1,0 kg/cm²), o que provoca elevação da temperatura e, conseqüentemente, aumenta o risco de falha por atrito dos impelidores.

Embora o nível global de velocidade da vibração fosse elevado (9,01 mm/s-pico) e existissem amplitudes significativas em muitas harmônicas da frequência de rotação e numa banda larga de frequência compreendida entre 60.000 e 180.000 CPM aproximadamente, não foi possível diagnosticar com segurança a ocorrência de atrito. O espectro de envelope obtido através da transformada de Hilbert do sinal filtrado com filtros analógicos passa alta de 1 KHZ e passa baixa de 10 KHZ também apresentava alguns picos nas harmônicas da frequência de rotação, entretanto, suas amplitudes eram baixas, indicando claramente que não existia atrito ou, se existia, não chegava a colocar em risco a integridade do equipamento. Com base nesta análise decidimos manter o soprador em operação contínua sob observação.

5.2 Caso 2 - Soprador S2

Um outro soprador de lóbulo idêntico ao primeiro e operando no mesmo sistema com pressão de descarga de 0,85 kg/cm² foi analisado 04 meses após a manutenção preventiva, conforme mostrado nas figuras 8 e 9, sendo encontrados níveis globais de velocidade das vibrações de até 12,7 mm/s-pico e amplitudes significativas nas harmônicas da frequência

de rotação e na banda de frequência compreendida entre 60.000 e 180.000 CPM aproximadamente. Embora as amplitudes envolvidas neste caso fossem mais elevadas que aquelas registradas no primeiro soprador, não nos pareceu possível assegurar que existia atrito apenas pelas análises destes espectros. Já o espectro do envelope apresentava amplitudes elevadas nas frequências de 2xRPM, 3xRPM, 5xRPM, 6xRPM, 7xRPM, 9xRPM e 10xRPM, indicando claramente a ocorrência do problema em nível aparentemente preocupante.

O equipamento foi parado para inspeção visual, confirmando-se que os impelidores apresentavam acentuado desgaste em consequência de atrito entre si e com a carcaça. Após a substituição dos impelidores, ajuste do sincronismo e limpeza do leito do reator a pressão de descarga caiu para $0,67 \text{ kg/cm}^2$ e o espectro do envelope apresentou uma queda das amplitudes nas frequências harmônicas da rotação para níveis considerados excelentes, indicando que o problema foi corrigido. As amplitudes globais e as amplitudes na faixa de frequências entre 60.000 e 180.000 CPM aproximadamente caíram em todos os pontos medidos, conforme mostrado na tabela I, contudo, a melhora não foi tão significativa quanto aquela apresentada pelo espectro do envelope. O mesmo aconteceu com o espectro com fundo de escala de 60.000 CPM, no qual se observa que houve uma queda acentuada das amplitudes com frequências superiores a 22xRPM mas permaneceram elevadas as harmônicas inferiores, dificultando a avaliação dos benefícios obtidos com a manutenção. As figuras 10 e 11 mostram os espectros registrados após a correção do problema.

Tabela I - Amplitudes globais de vibrações do soprador S2 nas faixas de frequências de 0 a 60 KCPM e de 60 a 180 KCPM antes e após a manutenção.

PONTOS		Amplitude global (mm/s-pico)		Amplitude entre 60 e 180 KCPM (mm/s-pico)	
		Original	Após manutenção	Original	Após manutenção
A	H	11,5	10,18	4,77	3,55
	V	12,7	8,29	-	-
	A	7,3	7,10	-	-
B	H	8,83	5,59	3,57	1,44
	V	8,76	7,29	-	-
	A	6,92	6,67	-	-

Legenda: A - Mancal lado acoplado

B - Mancal lado não acoplado

H, V, A - direções horizontal, vertical e axial

6. CONCLUSÕES

Atrito em sopradores de lóbulos é um fenômeno relativamente comum, em consequência de erros de montagem, desgaste natural de componentes ou sobrecarga.

Se este problema for detectado em seu estágio inicial os reparos poderão ser feitos rapidamente e com um custo moderado. Se não for detectado ou se for detectado após operar longo tempo nesta condição os danos podem ser severos e os custos dos reparos muito elevados, sendo necessário, nos casos mais graves, a substituição do equipamento.

A comparação dos espectros de vibrações obtidos diretamente do sinal e do envelope mostraram que a análise de envelope isola as componentes geradas pelos impactos dos impelidores das vibrações geradas por outros defeitos, tais como desbalanceamento, desalinhamento, turbulência, pulsação de pressão, etc., possibilitando a detecção do atrito em seu estágio inicial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Roots Rotary Blower Manual, Dresser Industries, Inc.
- (2) Manual de sopradores de lóbulos OMEL
- (3) Jacobs, R. W., "Detection of mechanical faults in rotary blowers", Proceedings, Machinery Vibration Monitoring and Analysis Meeting, Vibration Institute, 1983.
- (4) Ralph A. Collacott, "Vibration monitoring and diagnosis"
- (5) Joelle Courrech e Mark Gaudet, "Envelope analysis - The Key to rolling element bearing diagnosis", BRUEL & KJAER application notes.

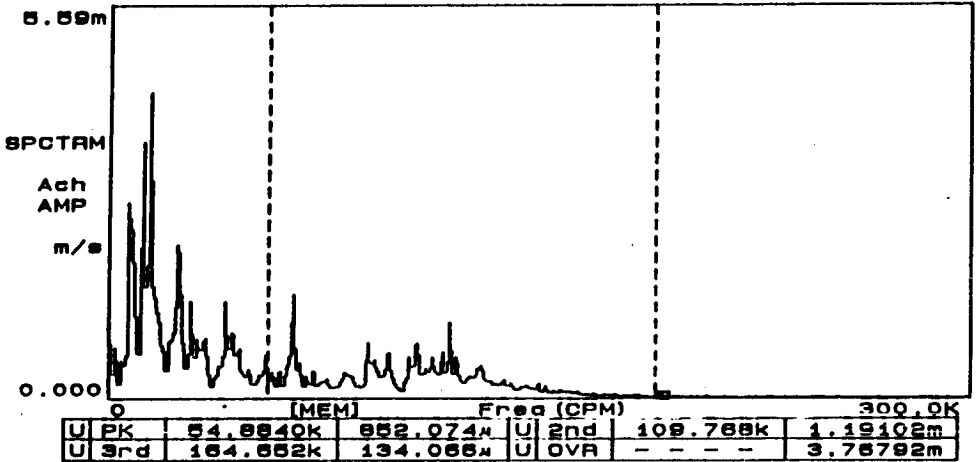
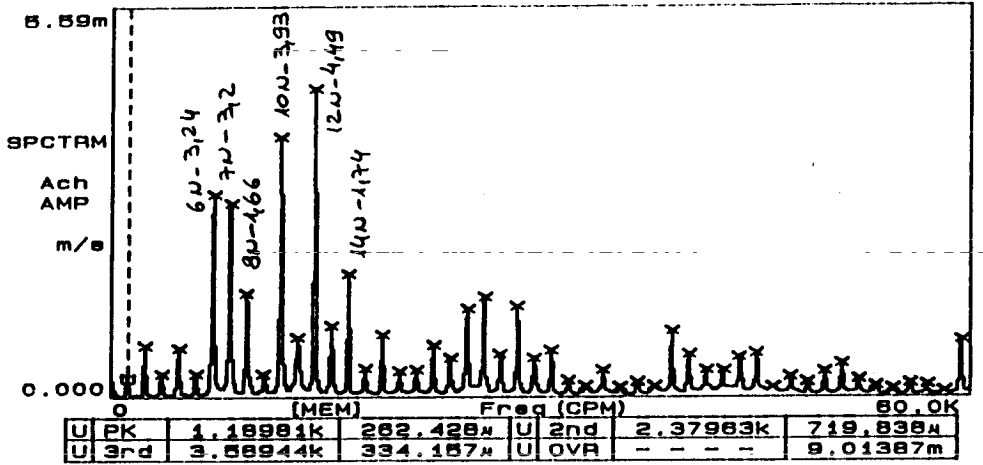


Figura 6 - Espectros das vibrações do soprador S1 com fundo de escala de 60 KCPM e 300 KCPM - Mancal A horizontal.

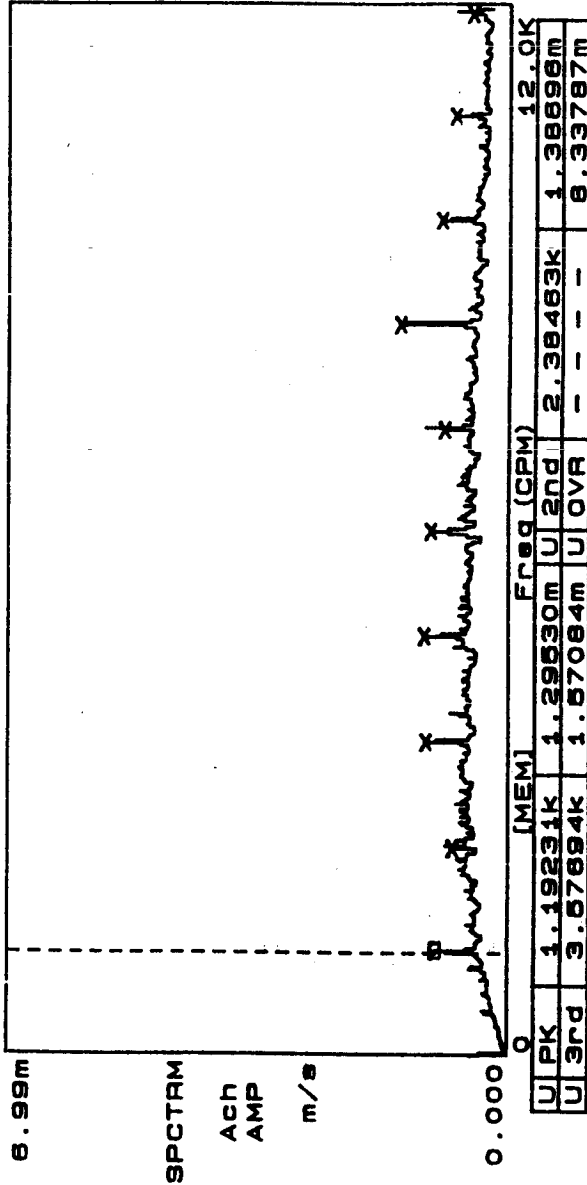


Figura 7 - Espectro do envelope da vibração do soprador S1, Mancal B horizontal.

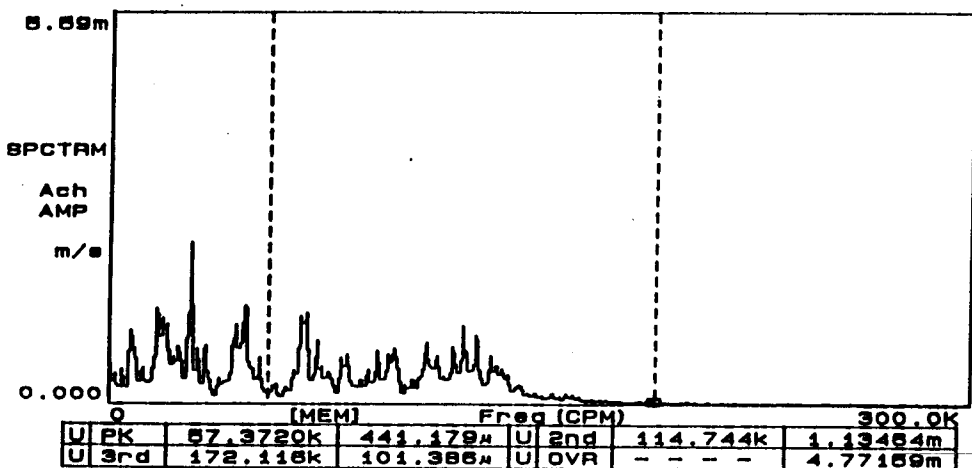
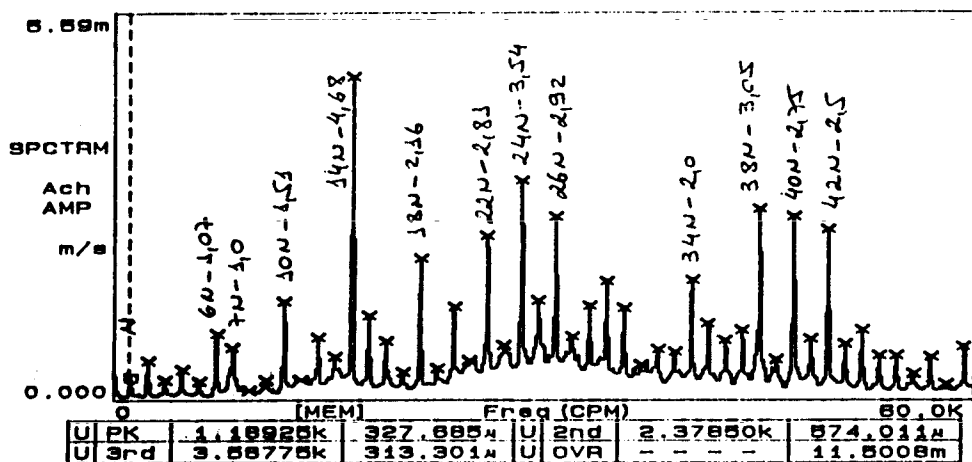


Figura 8 - Espectros das vibrações do soprador S2 com fundo de escala de 60 KCPM e 300 KCPM, antes da manutenção - Mancal A horizontal.

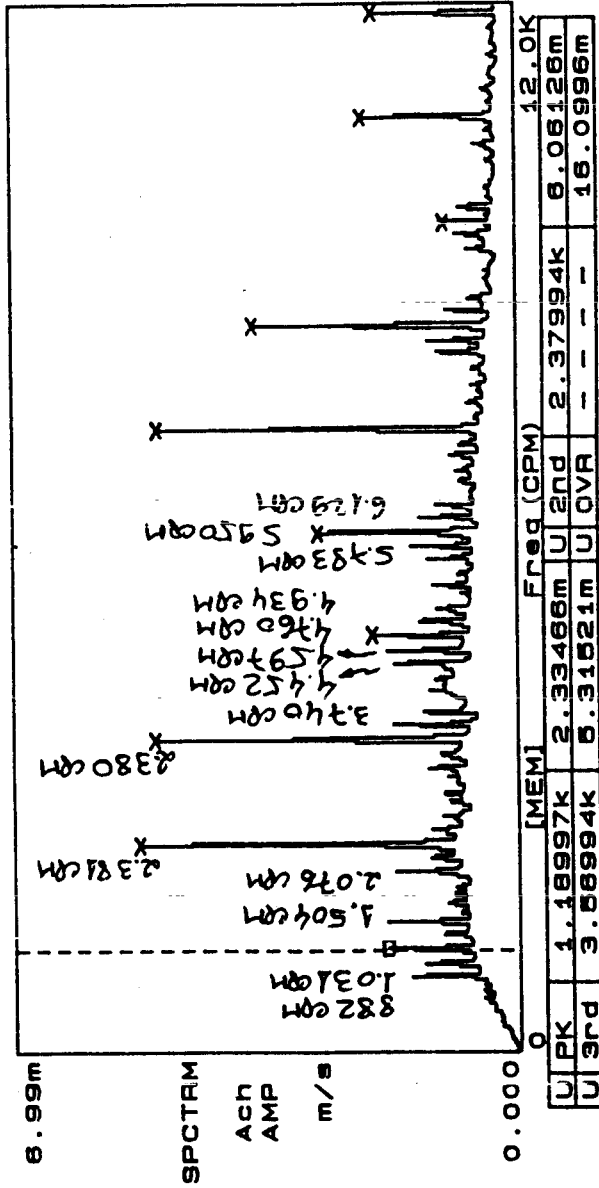


Figura 9 - Espectro do envelope da vibração do soprador S2 antes da manutenção - Mancal B horizontal.

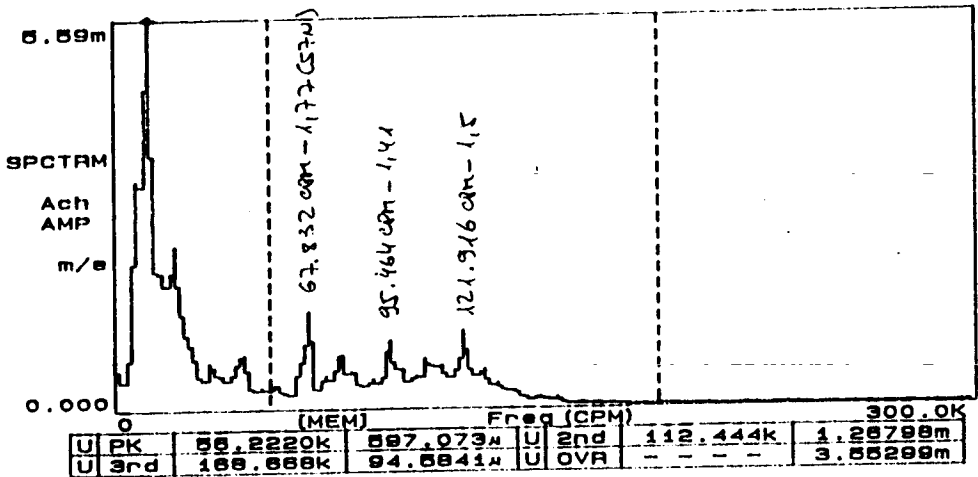
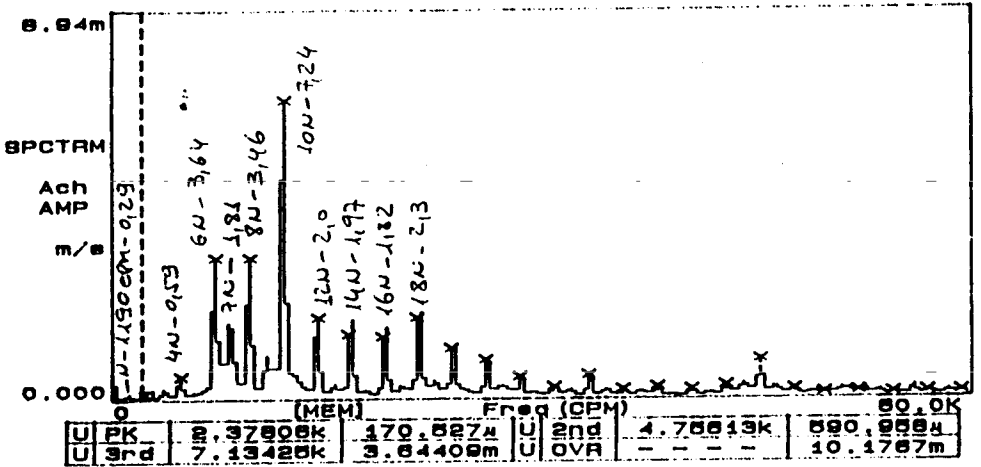


Figura 10 - Espectros das vibrações do soprador S2 com fundo de escala de 60 KCPM e 300 KCPM, após a manutenção - Mancal A horizontal.

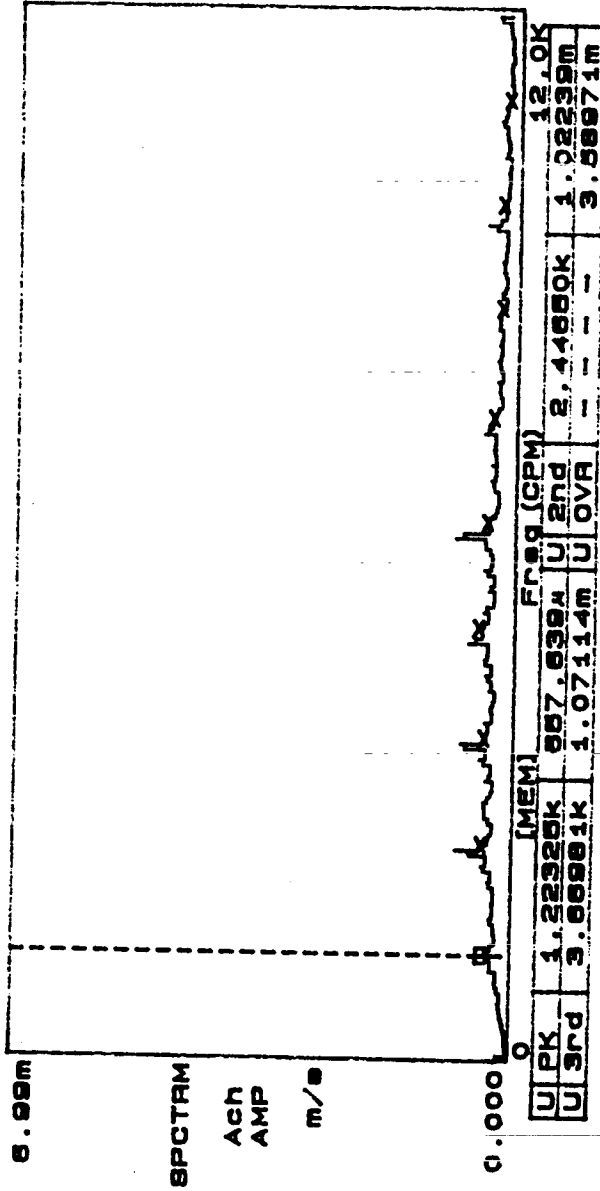


Figura 11 - Espectros do envelope da vibração do soprador S2 após manutenção - Mancal B horizontal.