



ARCAL LXVIII "SEGURIDAD DE REACTORES DE INVESTIGACION"

WORKSHOP:

"GESTION DE ENVEJECIMIENTO DE REACTORES DE INVESTIGACION"

**"SAFETY OF RESEARCH REACTORS:
THE IEA-R1 ROTATING EQUIPMENT CONTINUOUS VIBRATION
MONITORING SYSTEM."**

**Erion de Lima Benevenuti
Daniel K. S. Ting**

IPEN-CNEN/SP - BRASIL

**IPEN, LIMA, PERU
25 - 29, NOVIEMBRE, 2002**

**ACUERDO REGIONAL DE COOPERACION PARA LA PROMOCION DE LA
CIENCIA Y LA TECNOLOGIA NUCLEARES EN
AMERICA LATINA Y EL CARIBE**

290
10416

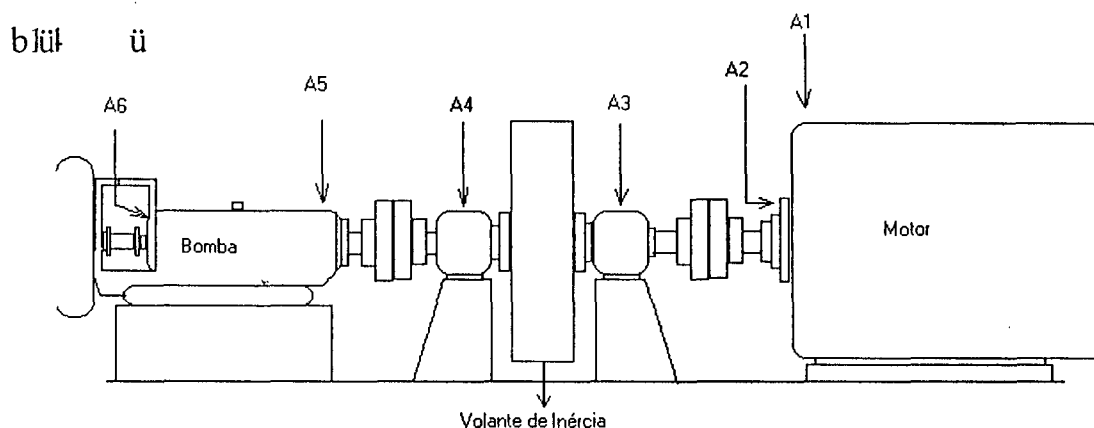
INDICE

1. Introdução.....	3
2. Instrument de Monitor ção.....	4
3. Método de Aná ise.....	6
4. Resu t dos.....	8
5. Conclusões.....	15
6. Referências.....	18

1. Introdução

O Objetivo deste relatório é a descrição da forma como tem sido feita a monitoração de vibração das bombas do circuito primário de refrigeração do Reator IEA-R1 do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN-SP), assim como de seus principais resultados.

Abaixo vê-se um esquema da máquina monitorada e de seus pontos de aquisição de dados de vibração.



Todos os pontos, de A1 a A6, possuem instalados acelerômetros da B&K, Type 6325.

Principais características do conjunto moto-bomba:

- bomba hidráulica da KSB, com vazão de 636 a 890 m³/h
- motor assíncrono trifásico da ARNO de 100CV, 440V, 60Hz e 1780rpm
- possui um volante de inércia e dois acoplamentos flexíveis

Diferentemente do que foi exposto nos relatórios anteriores, neste último ano a análise de vibração tem sido feita exclusivamente através de um sistema portátil de aquisição e análise de dados de vibração, com o uso do software matlab.

Há praticamente um ano o sistema de monitoração on-line de vibração (Compass da B&K) está inoperante por falta de verba para a aquisição do software atualizado. O software antigo não pode mais ser utilizado tendo em

vista que ele só opera em um ambiente UNIX ultrapassado e desconhecido, estando assim inoperante. Além disso o software antigo está em fita streamer, cujas unidades leitoras já há algum tempo se encontram em desuso. Note-se que tentamos transferir o conteúdo da fita para CD mas também não fomos bem sucedidos. Ou seja, a única opção seria mesmo a aquisição de novo software.

2. Instrumental de Monitoração

2.1 Acelerômetros:

Inicialmente utilizamos duas vias de aquisição de dados: uma através dos acelerômetros pré-amplificados e fixos do sistema on-line e outra através de acelerômetros de carga e portáteis com fixação através de base magnética.

Pudemos observar que houve uma diferença acentuada nos espectros originados destas duas formas distintas de captação dos sinais, o que por sua vez está de acordo com o que se encontra na literatura técnica pertinente: os acelerômetros fixos tem uma resposta muito melhor em altas frequências (acima de 2kHz) do que os com fixação magnética, como se pode ver pela comparação entre os gráficos das figuras 1 e 2.

Pode-se ver também, pela comparação entre estes dois sinais uma distorção geral do sinal captado pelo acelerômetro portátil, com uma transferência de energia (aumento das amplitudes) para as baixas frequências. Este fato é especialmente importante na utilização da técnica do envelope para a detecção de defeitos em rolamentos. Pela comparação dos gráficos das figuras 3 e 4 conclui-se que este tipo de informação é altamente prejudicada no caso do sinal captado pelo acelerômetro portátil, o que certamente tem relação com a distorção do sinal e a perda de energia em altas frequências ocasionada por esta via de captação.

Assim sendo, optamos pela utilização predominante dos acelerômetros fixos, do sistema on-line, para a monitoração e análise de vibração das bombas do primário.

2.2 O sistema de aquisição:

Os sinais vindos dos acelerômetros seguem a seguinte cadeia de elementos eletrônicos até poderem ser adquiridos por um computador portátil através da linguagem de programação Labview:

- o sinal é amplificado e filtrado por um condicionador de sinais alemão: a amplificação depende do ponto monitorado e tem um ganho que varia entre 4 e 16 vezes o do sinal de entrada; os filtros passa alta e passa baixa são estabelecidos respectivamente para as frequências de 10Hz e de 10kHz;
- depois do condicionador de sinais o sinal passa por uma caixa de conexão que adapta um cabo do tipo BNC a um cabo achatado que o leva para a placa de aquisição;
- a placa de aquisição é um cartão DAQCard-AI-16E-4 (16 inputs, 500kS/s, 12 bits) da National Instruments.

2.3 Os programas de análise;

Foram elaborados os seguintes programas de análise no ambiente de programação do Matlab:

- Integrador : este programa utiliza-se do método da transformada de Fourier para realizar a integração do sinal, possibilitando passar de aceleração para velocidade e, por dupla integração, para deslocamento;
- Espectro: faz a transformada de Fourier do sinal, podendo-se realizar a sua segmentação e escolher o tamanho do segmento com vistas a obtenção de um espectro médio para o sinal completo;
- Envelope: realiza a demodulação do sinal, através da transformada de Hilbert; pode-se escolher a banda de filtragem (passa alta e passa baixa) diretamente ou através da escolha de sua frequência central e de sua largura em quantidade de oitavas; também neste caso se pode segmentar o sinal em quantas partes quiser e obter-se o espectro médio dos envelopes resultantes;
- RMS: através deste programa escolhe-se uma banda de filtragem e calcula-se o RMS global do sinal dentro desta banda;
- Amplitude: permite escolher uma banda estreita, ou várias bandas harmônicas, e se determinar a amplitude da maior componente dentro desta(s) banda(s) assim como sua(s) frequência(s) associada(s). Este

programa pode ser utilizado tanto para o espectro direto dos sinais quanto para o espectro de seus envelopes.

3. Método de Análise

As ferramentas de análise tem ligação direta com os tipos de defeitos que se procura e estão de acordo com o que há de mais difundido e já consagrado tanto no meio técnico quanto científico. Os defeitos procurados são: desalinhamentos, desbalanceamentos, folgas e defeitos em rolamentos.

- Os desalinhamentos são procurados diretamente no espectro de velocidade do sinal em baixas frequências pela elevação dos primeiros harmônicos da rotação, em especial os de ordem par. Espera-se que, quando acentuados, provoquem também uma elevação do RMS global da velocidade até 1kHz.
- O desbalanceamento, como indicado de forma unânime por toda a literatura da área, deve aparecer como uma elevação isolada e acentuada do primeiro harmônico da rotação no espectro da velocidade. Também deverá, quando acentuado, provocar uma elevação do RMS global da velocidade até 1kHz.
- As folgas podem ser indicadas tanto pela elevação de inter-harmônicos quanto dos primeiros harmônicos da rotação no espectro da velocidade em baixas frequências (até 500Hz), tendo em vista que elas tendem a agravar vibrações já presentes e originadas principalmente de desbalanceamentos e desalinhamentos;
- Os defeitos em Rolamentos estão sendo monitorados através das seguintes características:

1) Amplitude das frequências características dos defeitos nos rolamentos, nos espectros de velocidade em baixas frequências (até 500Hz).

2) Valores globais da aceleração (RMS) em duas regiões do espectro, acima de 1kHz: de 1kHz a 5kHz e de 5kHz a 9kHz; este tipo de detecção é especialmente sensível a problemas de lubrificação, quando se espera pela geração de um ruído em alta frequência originado pelo aumento do atrito no rolamento;

3) Amplitude dos primeiros harmônicos das frequências características de rolamentos no espectro do envelope da aceleração em bandas de alta frequência, determinadas individualmente para cada mancal.

A determinação da banda de filtragem para o envelope foi feita em duas etapas:

1ª - Determinação da frequência central da banda através de experimento visando encontrar as frequências naturais de excitação dos componentes físicos dos mancais. De todas as frequências encontradas a que foi escolhida é a que apresentou melhor relação sinal-ruído para as frequências características do rolamento no espectro do envelope correspondente, para uma largura de banda de filtragem de uma oitava ;

2ª - Determinação da largura da banda: tendo sido fixada a frequência central procura-se agora pela largura de banda que resulte também na melhor relação sinal-ruído para as frequências características do rolamento no espectro do envelope correspondente;

Chamando a relação sinal ruído de Fator de Modulação (pois relaciona-se com uma frequência modulante), representado por F_m , o seu valor é dado por:

$$F_m = \frac{\sum^n f_n}{N}; \text{ onde } f_n = \frac{A_n}{m_n}$$

sendo que:

- A_n é a amplitude do n ésimo harmônico da frequência característica em questão
- m_n é a média das amplitudes para as frequências que ficam em uma banda em torno do harmônico em questão, tendo ele como centro e uma largura igual a distância entre os harmônicos;
- N é o número de harmônicos considerados: como em geral os mais destacados são os três primeiros, tomaremos $N=3$.

Mensalmente são feitas tomadas de dados de vibração da bomba do primário que está em operação. Logo a seguir é feita a análise destes dados e emitido um relatório, entregue ao responsável pela operação da instalação.

Com vistas a se otimizar a análise e a se ter um histórico do comportamento de vibração dos equipamentos monitorados estão sendo elaborados gráficos históricos de diversas medições, são elas:

- Amplitude dos quatro primeiros harmônicos da frequência de rotação no espectro da velocidade, para todos os pontos monitorados.
- Amplitude dos quatro primeiros harmônicos da frequência de batida das pás do impelidor da bomba no espectro da velocidade, para os mancais da bomba.
- Amplitude dos três primeiros harmônicos das frequências características de defeitos em rolamentos que aparecerem no espectro da velocidade. Esta medição é efetuada para todos os mancais, dando-se preferência ao sinal radial quando houver os dois (radial e axial).
- Valor do RMS global da velocidade entre 10Hz e 1kHz, que é o valor sugerido e tabelado pela norma ISO10816 de classificação de condição de máquina por severidade de vibração. Esta medição é efetuada para todos os pontos monitorados.
- Valores do RMS global da aceleração para as bandas que vão de 1kHz a 5kHz e de 5kHz a 9kHz. Esta medição é efetuada para todos os pontos monitorados.
- Amplitude dos três primeiros harmônicos das frequências características de defeitos em rolamentos, no espectro do envelope da aceleração. Esta medição é efetuada para todos os mancais, dando-se preferência ao sinal radial quando houver os dois (radial e axial).

4. Resultados

Pela comparação do histórico de vibração dos equipamentos monitorados com o seu histórico de manutenção e ocorrência de problemas, pode-se relatar os seguintes resultados provisórios para as bombas do primário:

4.1 Bomba A

17/07/00 – Reforma da Bomba A

- foi balanceado o rotor do motor;

Na figura 5 pode-se observar a queda na amplitude do primeiro harmônico da rotação (~30Hz) e sua estabilização abaixo de 1,2mm/s. A partir desta observação estipulamos um limite de alerta para esta vibração

de 1,4mm/s, que é a média, arredondada para duas casas decimais, dos valores antes e depois da correção.

Este critério será, sempre que possível, utilizado para o estabelecimento de limites para amplitudes e níveis de vibração: a média, arredondada para dois algarismos significativos, entre o valor associado ao defeito (antes da correção) e o valor associado ao funcionamento adequado (depois da correção).

- trocaram-se os dois rolamentos do motor (6318Z);

Não foi constatada nenhuma alteração significativa da vibração relacionada com esta correção.

- trocaram-se os dois rolamentos do volante de inércia (2312K);

Pode-se notar, pela figura 6, que houve uma diminuição imediata na amplitude dos três primeiros harmônicos da frequência característica de defeito na pista externa para o rolamento do volante que fica do lado do motor. No entanto observa-se também que logo em seguida, nas próximas medições, estas amplitudes voltaram a subir, inclusive a valores algumas vezes superiores aos de antes da reforma. Estas amplitudes oscilaram muito até que se constatou e corrigiu um problema no engraxamento daqueles mancais. Em 16 de abril de 2001 foi trocada a graxa dos rolamentos do volante de inércia da bomba A, quando então houve nova diminuição e uma estabilização maior para as amplitudes daqueles harmônicos. Até agora não possuímos uma explicação completa para esta série de eventos, a única coisa que se sabe com certeza é que havia um problema com a graxa, que estava altamente ressecada, e que isto teve uma ligação direta com a grande oscilação nas amplitudes dos três primeiros harmônicos das frequências características de defeitos em rolamentos observada. Os níveis atingidos por aquelas frequências depois do engraxamento serão melhor discutidos no item específico que trata deste engraxamento.

No mancal do volante do lado do motor observou-se também, no mesmo período, que vai da reforma (jul/00) ao engraxamento dos rolamentos (abr/01), uma grande oscilação para os três primeiros harmônicos da rotação (figura 7) e para o RMS global da velocidade entre 10Hz e 1kHz (figura 8).

Por outro lado as modificações na vibração ocorridas no mancal do volante do lado da bomba foram sensivelmente diferentes. As frequências características da pista externa deste rolamento (figura 9) mantiveram

níveis semelhantes após a reforma, o que sugere que o problema do engraxamento não surgiu neste mancal da mesma forma e na mesma época que o do volante do lado do motor, embora também tenha se constatado o ressecamento de sua graxa quando se abriram os mancais em abril de 2001.

Quanto aos harmônicos da rotação, notou-se um aumento e uma relativa estabilização em níveis mais elevados que o de antes da reforma: o primeiro harmônico, que tinha um nível em torno de 0,15mm/s, chegou a atingir mais de 0,7mm/s e acabou estabilizando em torno de 0,3mm/s, como se pode ver na figura 10. Este comportamento também pode estar associado a problemas de desbalanceamento e de desalinhamento, embora a vibração não tenha atingido níveis preocupantes segundo o entendimento da norma ISO10816 para este tipo de máquina.

Por outro lado, comparando-se a evolução do comportamento da vibração em altas frequências para os dois mancais do volante de inércia (figuras 11, 12 e 13 para o mancal do lado do motor e figuras 14, 15 e 16 para o mancal do lado da bomba) podemos constatar que houve uma diminuição inicial, logo após a reforma, imediatamente seguida de um aumento, o que sugere um padrão de vibração característico de problemas ligados a aumento de atrito (aumento aleatório do ruído em uma banda larga em altas frequências), o que condiz com o problema de lubrificação mais tarde confirmado: aparentemente a graxa teve uma deterioração muito rápida nestes mancais. A questão que se levanta é: ela já estava deteriorada por ocasião da troca dos rolamentos ou alguma coisa acelerou o seu processo de deterioração? Pode-se notar que o problema foi mais acentuado no mancal do lado do motor, com um aumento maior dos níveis de vibração em altas frequências do que para o outro mancal em questão. O que tem uma correspondência com o comportamento das frequências características que, como discutido acima, também sofreram uma variação maior para este mancal. Ou seja, aparentemente o problema ligado a lubrificação foi mais acentuado no mancal do volante do lado do motor.

- trocaram-se os dois rolamentos do eixo da bomba (NU2311 e 6311);

Não foi constatada nenhuma alteração significativa da vibração relacionada com esta correção.

- foi recuperado com solda e usinagem o eixo da bomba, na região do rolamento do lado do acoplamento, assim como também foi corrigida, com embuxamento metálico, uma folga axial que havia na caixa mancal

dos rolamentos da bomba, do lado do acoplamento (de 2,50mm para 0,05mm);

Observou-se uma diminuição nas frequências características de batidas das pás da bomba (120Hz), como se pode ver pela comparação da figura 17 com a 18. Estas frequências geralmente estão presentes em mancais próximos ao rotor da bomba, no entanto os problemas de folga tendem a aumentar a amplitude das vibrações já existentes, o que está de acordo com a diminuição de suas amplitudes após a correção das folgas acima referidas. No entanto também se observa, através das mesmas figuras, um aumento nos dois primeiros harmônicos da rotação, associados normalmente a problemas de desbalanceamento e de desalinhamento, semelhantemente ao que ocorreu para o mancal adjacente, do volante de inércia. É possível que este aumento tenha relação com os problemas de lubrificação ocorridos nos mancais do volante assim como também com um aumento na condição de desalinhamento depois da reforma. Isto se justificaria tendo em vista que a correção da folga pode ter significado uma aumento na rigidez de fixação do eixo da bomba, o que pode ter agravado o efeito de um provável desalinhamento sobre a vibração da mesma.

- foi balanceado o eixo da bomba, juntamente com o impelidor e os rolamentos novos;

Aparentemente não houve melhora na vibração relacionada ao desbalanceamento na bomba, o que sugere que a mesma já se encontrava balanceada antes da reforma. Acompanhando os níveis históricos registrados na figura 19 podemos ver que, a partir da lubrificação dos rolamentos, o nível de 0,86mm/s nunca foi ultrapassado para esta vibração. Tomando a média entre o valor histórico mais alto, de 1,84mm/s, e este limite de 0,86 podemos estabelecer um limite de alerta para esta vibração de 1,4mm/s. No entanto é bem provável que o valor mais elevado, de 1,84mm/s, para este mancal não estivesse indicando um defeito no mesmo e sim no mancal vizinho, do volante de inércia, relacionado ao problema de engraxamento já comentado acima.

- o conjunto todo foi alinhado, com instrumento eletrônico a laser.

Aparentemente houve uma piora no estado de alinhamento da bomba baseado na verificação de um aumento no segundo harmônico da rotação após a reforma (figura 21). No entanto, como já foi discutido acima, isto

pode estar associado ao problema surgido na lubrificação dos rolamentos e a correção da folga na caixa mancal da bomba. O que se pode dizer é que não existia, antes da reforma, uma condição sensivelmente pior de desalinhamento do que depois da reforma, ou seja, ou a bomba já estava alinhada ou o seu alinhamento não foi adequado.

17/04/01 – Engraxamento dos rolamentos do volante de inércia.

O engraxamento foi solicitado devido ao alto nível de ruído na vibração em altas frequências detectado nos mancais do volante.

Como já foi exposto acima, havia uma oscilação acentuada nos primeiros harmônicos da frequência característica de defeito na pista externa principalmente para o rolamento do volante do lado do motor. Esta oscilação diminuiu bastante após o engraxamento (figura 6). Para o mesmo mancal também notou-se uma grande diminuição na vibração aleatória em altas frequências (figuras 13 e 20), na oscilação das amplitudes dos primeiros harmônicos da rotação (figura 7) e na oscilação dos níveis globais de vibração (RMS) entre 10Hz e 1kHz (figura 8).

No mancal do volante do lado da bomba, logo após o engraxamento do rolamento, notou-se um aumento inicial dos dois primeiros harmônicos da frequência característica de defeito na pista externa, seguido de uma diminuição e conseqüente estabilização daquelas vibrações em níveis levemente superiores aos registrados antes do engraxamento (figura 9). Por outro lado, para este mesmo mancal, notou-se uma leve diminuição no RMS global entre 10 Hz e 1kHz (figura 22) e nos primeiros harmônicos da rotação (figura 10), assim como uma diminuição um pouco mais acentuada na vibração em alta frequência (comparar as figuras 23 e 24), para a condição após o engraxamento. Esta seqüência de informações pode ser compreendida se admitirmos que com o engraxamento teria havido uma diminuição na geração de ruído por atrito, o que corresponde a diminuição da vibração aleatória em altas frequências, mas também que a condição do rolamento em questão teria piorado em função do tempo em que ele ficou submetido a uma lubrificação inadequada, o que corresponde ao aumento no nível médio das amplitudes nos dois primeiros harmônicos da frequência característica de defeito na pista externa.

No entanto as suposições acima somente poderão ser confirmadas no momento em que se trocarem os rolamentos e se fizer neles uma inspeção visual, até lá estaremos acompanhando a evolução de seus sinais de vibração inclusive através do uso da técnica do envelope.

4.2 Bomba B

07/01 – Reforma da Bomba B

Esta reforma foi motivada por alteração no nível de ruído (auditivo) durante o funcionamento da bomba, ocorrendo suspeita de problemas com seus rolamentos. Foram executadas as seguintes ações:

- o impelidor da bomba foi refeito, pois o antigo apresentava trincas visíveis;

Não foi constatada nenhuma alteração significativa na vibração que tenha sido possível relacionar com esta correção.

- os rolamentos do eixo da bomba foram trocados, não tendo sido constatados danos visíveis em seu elementos;

Não foi constatada nenhuma alteração da vibração relacionada com esta correção, provavelmente porque os rolamentos estavam bons.

- o eixo da bomba foi balanceado, juntamente com o impelidor e seus rolamentos novos;

Não foi constatada nenhuma alteração da vibração relacionada com esta correção, provavelmente porque não havia nenhuma condição significativa de desbalanceamento antes da reforma.

- os rolamentos do volante de inércia foram trocados, e pode-se constatar, por inspeção visual, a presença de esburacamento avançado em suas pistas externas;

Notou-se uma diminuição considerável nos três primeiros harmônicos da frequência característica de defeito na pista externa nos espectros da velocidade para ambos os mancais do volante, como se pode ver pelas figuras 25 e 26. Desta forma podemos estipular os limites de alerta como sendo de 0,11mm/s, 0,041mm/s e 0,056mm/s para os três primeiros harmônicos da frequência característica de defeito na pista externa para o rolamento do mancal do volante do lado do motor, e de 0,25mm/s, 0,26mm/s e 0,18mm/s para os mesmos harmônicos no rolamento do volante do lado da bomba.

Foi constatado, também para os dois mancais do volante, uma diminuição geral nas vibrações em altas frequências: comparar as figuras

- o acoplamento do volante com a bomba apresentou um desalinhamento radial elevado (0,50mm para uma volta completa);

Observou-se uma elevação acentuada no primeiro harmônico da rotação para ambos os mancais do volante de inércia assim como para o mancal da bomba do lado do acoplamento. Pode-se notar também uma elevação de alguns inter-harmônicos para estes mesmos mancais. Veja as figuras 36, 37 e 38.

Em 26 de junho de 2002 remontou-se a bomba B do primário:

- foram colocados calços nos dois rolamentos do volante de inércia de modo a evitar a reincidência do problema;
- a bomba foi alinhada

Todas as frequências citadas acima diminuíram, como se pode ver pela comparação das figuras já referidas, 36,37 e 38, com as figuras 40, 41 e 42, que correspondem aos sinais tirados após a correção do problema.

No gráfico histórico da figura 43, referente ao sinal de vibração tomado no mancal do volante do lado da bomba, também se percebe claramente a elevação e a subsequente queda na amplitude do primeiro harmônico da rotação, correspondendo respectivamente ao surgimento e a correção do problema neste mancal.

5. Conclusões

Segundo os resultados acima relatados já se pode esperar os seguintes indicativos de defeitos nas bombas do primário:

1) Defeitos nos rolamentos do volante de inércia

- problemas na lubrificação dos rolamentos:
 - oscilação acentuada dos níveis globais de vibração (RMS) entre 10Hz e 1kHz;
 - elevação aleatória das amplitudes em uma banda larga nas altas frequências (entre 1kHz e 10kHz) do espectro da aceleração;
 - grande oscilação nos primeiros harmônicos da frequência característica de defeito na pista externa dos rolamentos, no espectro da velocidade (até 500Hz);

- desgaste e deformação de seus elementos:
 - elevação das amplitudes em uma banda larga nas altas frequências (entre 1kHz e 10kHz) do espectro da aceleração;
 - elevação das amplitudes das frequências características de defeitos dos rolamentos, no espectro da velocidade (até 500Hz);

2) Folgas de partes rotativas nos mancais do volante:

- aparecimento de inter-harmônicos da rotação no espectro da velocidade até 500Hz;
- elevação do primeiro harmônico da rotação (30Hz) no espectro da velocidade até 500Hz;

3) Folgas na caixa mancal da bomba:

- elevação da amplitude nos primeiros harmônicos da frequência de batida das pás da bomba (119Hz);

4) Desbalanceamentos mecânicos:

- elevação do primeiro harmônico da rotação (30Hz) no espectro da velocidade até 500Hz no mancal mais próximo a região desbalanceada;

Obs. Este último defeito é o mais simples de ser detectado e a sua forma é consenso em toda a literatura que trata do assunto.

Para que se tenham mais resultados outros gráficos históricos estarão sendo gerados: como os do RMS da aceleração em altas frequências e os das amplitudes dos primeiros harmônicos das frequências características de defeitos em rolamentos nos espectros de envelope.

Assim que terminarem os estudos relativos as bandas de filtragem para o envelope, este método será aplicado a todos os mancais monitorados e poderemos ter uma melhor noção da efetividade de sua utilização na detecção de problemas com os rolamentos das bombas do primário.

Por outro lado, ainda está para ser realizado um estudo experimental com uma máquina de simulação de defeitos da Spectra Quest. Este estudo será usado principalmente para confirmar a eficiência e a forma de utilização das ferramentas analíticas acima citadas, no sentido de se monitorarem aqueles

defeitos já indicados no início deste relatório, quais sejam: desbalanceamentos, desalinhamentos, folgas e problemas em rolamentos.

Talvez o defeito mais complexo de se monitorar seja o de desalinhamento. No entanto este pode não ser um grave problema para as bombas do primário tendo em vista que o seu acoplamento é flexível, o que minimiza os efeitos danosos de um possível desalinhamento. Além disso, segundo observação dos próprios técnicos que realizaram a última reforma nas bombas, não existe muita possibilidade de movimentação para o conjunto devido a rigidez da estrutura onde ele está montado, o que dificulta o seu desalinhamento após a montagem. Ainda assim, espera-se que os estudos experimentais com a máquina da Spectra Quest tragam um pouco mais de informação e esclarecimento para esta questão.

6. Referencias

- 1- Padovese, Linilson R., Apostila do Curso de “Processos Aleatórios e Análise de Sinais Aplicados a Engenharia Mecânica”, PMC5827, Escola de Engenharia Mecânica – USP, 2000.
- 2- Hines, J.W., Course Title: “Advanced Monitoring and Diagnostic Techniques”, The University of Tennessee, College of Engineering, Course Syllabus – Summer 1998.
- 3- Bendat, J.S., Persol, A.G., “Random Data”, Wiley Interscience, New York, USA, 1971.
- 4- Serra, R.C., Tecco, D.G., “Shaft Crack Detection on Centrifugal Pumps by Vibration Analysis”, SMiRT 13, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, August 13-18, 1995.
- 5- “COMPASS Machine Monitoring Software – Version 4.0 or higher – System Overview”, Brüel & Kjaer, November 1994.
- 6- “COMPASS Machine Monitoring Software – Version 4.0 or higher – Operators Manual”, Brüel & Kjaer, November 1994.
- 7- “COMPASS Machine Monitoring Software – Version 4.0 or higher – Machine View Editor Manual”, Brüel & Kjaer, November 1994.
- 8- “COMPASS Machine Monitoring Software – Version 4.0 or higher – Software Installation Manual for Central Vibration Monitor”, Brüel & Kjaer, November 1994.
- 9- “User Operating Manual for Machinery Fault Simulator”, Version 2.0, SPECTRA QUEST, INC, August 1997.
- 10- Faloppa, A. A. & Ting, D.K.S. – “Ageing Management Self Assessment Report of the IPEN IEA-R1 Reactor”, presented at The Workshop on Ageing Management of Research Reactors, 2-6 of August, 1999, Santiago, Chile.
- 11- Instituto de Energia Atômica - RAS - Relatório de Análise de Segurança do IEA-R1, São Paulo, Maio de 1974.