

MANUTENÇÃO CORRETIVA NAS BOMBAS DO CIRCUITO PRIMÁRIO DO REATOR IEA-R1

Algeny V. Leite, Erion L. Benevenuti, Gílson F. Maciel, Mauro O. Martins, Marcos Yovanovich,
Marcos R. Carvalho e Emanuel Nascimento B. Santos

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Av. Prof. Lineu Prestes 2.242
05508-000 Butantã, São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

O trabalho apresenta todas as etapas da manutenção corretiva das bombas do circuito primário do Reator IEA-R1, as análises e a importância de um sistema de monitoração de vibração contínua para prevenção de avarias.

Keywords: nuclear reactor research, pumps, maintenance.

I. INTRODUÇÃO

O objetivo do Circuito Primário é prover o resfriamento adequado do núcleo do reator assegurando que os critérios de projeto do combustível não sejam excedidos durante qualquer condição normal de operação da planta.

O Circuito Primário consiste da piscina com o núcleo do reator, válvula de convecção e difusor de alimentação, um tanque de decaimento de N^{16} e dois circuitos de troca de calor em paralelo (A e B). Cada circuito contém uma bomba de circulação, um trocador de calor, tubulações, válvulas e instrumentação de controle operacional.

As bombas de circulação de refrigerante apresentam as mesmas características, e são providas de volantes de inércia de modo a manter resfriamento por tempo suficiente para a adequada redução do calor residual de decaimento.

Para garantir o funcionamento das bombas de recirculação o reator dispõe do Sistema de Monitoração de Equipamentos Rotativos (SMER), que é composto basicamente de sensores de vibração e temperatura que monitoram as condições operacionais destes equipamentos em tempo real.

Após 5 anos de operação das bombas de recirculação, através do SMER detectou-se a necessidade de manutenção corretiva. Para tanto, as bombas foram desmontadas e seus internos (eixo, rotor, rolamento, mancal) substituídos de acordo com a necessidade. Posteriormente, foram montadas, alinhadas, balanceadas e testadas operacionalmente de acordo com as especificações técnicas para este tipo de equipamento. O trabalho de manutenção foi dividido em duas partes:

- Manutenção da bomba CP-BOM-01.
- Manutenção da bomba CP-BOM-02.

II. MANUTENÇÃO DA BOMBA CP-BOM-01

A bomba CP-BOM-01 é do tipo centrífuga com eixo horizontal e vedação por gaxeta, acionada através de motor elétrico, cujas características estão mostradas na tabela 1.

TABELA 1. Características do Equipamento

Fabricante:	KSB do Brasil
Modelo:	SPK-250-31
Tipo:	Centrífuga
Rotor:	Helicoidal
Eixo:	Horizontal
Vedação:	Gaxetas
Vazão Máxima:	890 m ³ /h
Vazão de Operação:	681 m ³ /h
Altura Manométrica:	27,4 a 18,5 m.c.a
Rotação:	1760 r.p.m
Potência consumida:	57 kW
Acionamento:	Motor elétrico Arno Carcaça tipo AR-315 AB Potência: 100 CV - 73,6 kW Tensão: 440 V - 60 Hz Corrente elétrica: 111 A
Volantes:	Diâmetro: 650 mm Largura: 210 mm Momento de Inércia: 29 kgf.m ²

Desmontagem. A desmontagem da bomba foi realizada, em função da alteração do nível de ruído do seu funcionamento, detectado pelo SMER, levantando a suspeita de avarias mecânicas no equipamento.

O conjunto moto bomba foi retirado do local e enviada a empresa contratada para a desmontagem.

Análise técnica. Durante desmontagem, constatou-se a necessidade da troca e manutenção dos seguintes componentes do conjunto moto-bomba:

- Substituição dos rolamentos do rotor do motor modelo SKF- 6318-Z e execução do balanceamento do rotor do motor.

- Substituição dos rolamentos do eixo da bomba, NU2311 (lado do acoplamento) e NU6311 (lado oposto ao acoplamento).

- Recuperação com solda e usinagem do eixo da bomba, na região do rolamento do lado do acoplamento.

- Correção através do embuchamento com um anel metálico, da folga axial que havia na caixa mancal do lado do rolamento NU2311: de 2,50mm para 0,05mm.

- Foram substituídos também os rolamentos 2312K do volante de inércia.

Montagem. Durante a montagem do conjunto moto-bomba, houve a necessidade de reusinagem do impelidor da bomba, para ser possível realizar o balanceamento do conjunto, juntamente com o seu eixo e os rolamentos novos.

Teste de funcionamento. Após a montagem do conjunto moto bomba foram realizado os testes de funcionamento em regime normal de operação, para medida da corrente do motor. O valor medido foi de 110A, próximo do nominal que é de 111A.

Monitoração da vibração. Com os sensores devidamente colocados no equipamento iniciou-se a análise de vibração. Foram realizadas duas análises de vibração, uma pela empresa contratada e outra pelo SMER do reator. Na análise efetuada pela empresa contratada, foi usado um coletor SKF, modelo MICROLOG. Os sinais foram analisados através do software PRISM4. Os resultados obtidos foram:

- Motor: níveis globais de vibração não excederam a 1mm/s, considerando-se aceitável até 5mm/s. Os picos indicaram influências do engaxetamento mas nada muito preocupantes.

- Disco de Inércia: vibrações provenientes de rolamentos mas com níveis muito baixos.

- Bomba: o sinal apresentou um pequeno desbalanceamento e influências vindas de rolamentos, porém em níveis despreocupantes .

Na análise feita pelo SMER do reator, os resultados obtidos foram:

Mancal da Bomba

Velocidade Radial. Aumento geral dos primeiros harmônicos da frequência fundamental de giro do conjunto,

de ~30Hz até ~300Hz; aumento contínuo da vibração ('corcova') em torno de 300Hz e diminuição na amplitude dos harmônicos, a partir daí. As vibrações praticamente sumiram a partir de aproximadamente 6kHz, tendo havido uma elevação em torno de 3kHz . O nível global, RMS até 1.0kHz, aumentou de ~1.5mm/s para ~2.1mm/s .

Os primeiros harmônicos podem estar relacionados com o alinhamento e/ou balanceamento da bomba com seu eixo.

Velocidade Axial. Aumento no pico de ~30Hz; diminuição nos picos de ~240Hz e ~360Hz, que poderiam ser o 2º e o 3º harmônicos da frequência de batida das pás do rotor da bomba. Observou-se também um aumento ('corcova') em torno de 6kHz e uma diminuição geral dos níveis de vibração após 9kHz.

O nível global, RMS até 1.0kHz, diminuiu de ~3.1mm/s para ~1.8mm/s. Esta diminuição, juntamente com a diminuição dos picos em torno de 240 e 360Hz, pode ser devida ao conserto efetuado na folga axial que havia na caixa mancal, do lado do rolamento NU2311.

Mancal do Volante de Inércia do Lado da Bomba

Velocidade Radial. Aumento nos primeiros harmônicos de 30Hz até ~300Hz; 'corcova' em ~300Hz; diminuição em ~240Hz e ~360Hz (pode ser do rotor da bomba; e concorda com o observado no ponto MBP.VX.A); pequena 'corcova' em ~400Hz. Observado pequeno aumento em torno de 1.5kHz e 6kHz, e diminuição geral principalmente depois de ~13kHz. O nível global RMS até 1.0kHz, aumentou um pouco, de ~0.5mm/s para ~0.8mm/s.

Mancal do Volante de Inércia do Lado do Motor

Velocidade Radial. Aumento global até 500Hz; aumento com aparente pico (quase 'corcova') para frequências abaixo de 25Hz. Os picos, até 500Hz, aumentaram um pouco (2º,3º,4º,5º e 6º harmônicos); houve diminuição em ~240Hz. Observou-se um aumento da vibração em torno de 3kHz e de 6kHz.

O nível global RMS até 1.0kHz, apresentou oscilações muito acentuadas, principalmente após a reforma da bomba. O seu valor médio parece não ter mudado, mantendo-se em torno de 0.3mm/s, no entanto não existiam dados para datas anteriores a maio deste ano, e que pudessem indicar um problema no canal .

O aumento da vibração abaixo de 25Hz pode ser ruído, o qual seria ocasionado por problemas com o transdutor ou mesmo no cabo que conduz o sinal, já que o mesmo teria sido consertado na remontagem da bomba.

Mancal do Motor

Velocidade Radial. Foi observada pouca modificação geral até 500Hz, com a principal diminuição ocorrendo de 200 até 250Hz. Também houveram pequenas diminuições em torno de 150Hz, de 300Hz e de 350Hz, e alguns aumentos em torno de 60, 120, 170, 370 e 490Hz. Pode-se observar uma diminuição geral acima de aproximadamente 3kHz . O nível global, RMS até 1.0kHz, manteve-se aproximadamente o mesmo, de ~2.5mm/s para ~2.4mm/s.

Velocidade Axial. Foi observada pouca modificação geral com leve diminuição de alguns picos, em torno de 30, 60, 90, 180 e 240Hz, e aparente diminuição geral. Alguns picos aumentaram um pouco, em torno de 200, 270 e 420Hz.. Houve uma diminuição geral acima de aproximadamente 3kHz. O nível global RMS até 1.0kHz, diminuiu de ~2.0mm/s para 1.2mm/s.

III. MANUTENÇÃO DA BOMBA CP-BOM-02

A bomba CP-BOM-02 é do tipo centrífuga com eixo horizontal e vedação por gaxeta, acionada através de motor elétrico, cujas características estão mostradas na tabela 2.

TABELA 2. Características do Equipamento

Fabricante:	KSB do Brasil
Modelo:	SPK-250-31
Tipo:	Centrífuga
Rotor:	Helicoidal
Eixo:	Horizontal
Vedação:	Gaxetas
Vazão Máxima:	890 m ³ /h
Vazão de Operação:	681 m ³ /h
Altura Manométrica:	27,4 a 18,5 m.c.a
Rotação:	1760 r.p.m
Potência consumida:	57 kW
Acionamento:	Motor elétrico Arno Carcaça tipo AR-315 AB Potência: 100 CV - 73,6 kW Tensão: 440 V - 60 Hz Corrente elétrica: 111 A
Volantes:	Diâmetro: 650 mm Largura: 210 mm Momento de Inércia: 29 kgf.m ²

Desmontagem. A desmontagem da bomba foi realizada, em função da alteração do nível de ruído do seu funcionamento, detectado pelo SMER, levantando a suspeita de problemas com os rolamentos.

Durante desmontagem constatou-se, não só a necessidade da troca destes rolamentos, como também, que o rotor apresentava trincas visíveis por toda sua extensão.

Análise técnica. O fabricante da bomba foi contatado para a aquisição do rotor. Devido a falta de registros do equipamento (projeto de 1970), o fabricante forneceu um rotor standard com o diâmetro de 325mm, sem os quatro furos do balanceamento hidráulico. Sendo que o rotor original possuía 280mm de diâmetro.

Como o rotor apresentava um diâmetro superior ao original foi decidido que o rotor teria de ser reusinado pelo fabricante, até o diâmetro num valor que se aproximasse da capacidade de 100CV, e atendesse os valores do Relatório de Análise de Segurança para vazão e altura manométrica.

O novo diâmetro calculado para o rotor foi de 308mm, sendo efetuados a reusinagem do rotor, juntamente com os quatro furos hidráulicos

Montagem. Durante montagem do rotor, houve a necessidade de uma nova reusinagem por esmerilhamento no interno da carcaça (caracol), pois o rotor na sua parte traseira apresentou interferência de montagem. O trabalho foi executado e a interferência eliminada.

Foram trocadas as guarnições do acoplamento FLK-9F, os rolamentos da caixa de mancais da bomba NU-2311 e NU-6311, e os dois rolamentos do volante de inércia 2312K.

Teste de funcionamento. Após a montagem do conjunto moto bomba foram realizado os testes de funcionamento em regime normal de operação, para medida da corrente do motor. O valor medido foi de 120A, acima do nominal que é de 111A.

Após nova análise foi decidido então, que o rotor voltaria novamente para o fabricante, e que o mesmo teria reusinado o seu diâmetro foi reduzido de 308mm para o valor original de 280mm.

Após a montagem do conjunto moto bomba foram realizado os testes de funcionamento em regime normal de operação, para medida da corrente do motor. O valor medido foi de 100A, abaixo do valor nominal que é de 111A.

Monitoração da vibração. Com os sensores devidamente colocados no equipamento iniciou-se a análise de vibração, pelo SMER. Após os testes de funcionamento chegou-se aos seguintes resultados:

-Diminuição considerável no nível RMS global da velocidade radial de vibração nos mancais do volante de inércia, de 1,2mm/s para 0,6mm/s, no lado da bomba, e de 1,0mm/s para 0,5mm/s, no lado do motor. A causa provável foi a troca dos rolamentos do volante de inércia.

-Diminuição da amplitude nas frequências de defeito na pista externa do rolamento, 139HZ e seus primeiros harmônicos, nos mancais do volante de inércia. A causa provável foi a troca dos rolamentos do volante de inércia.

-Redução geral e acentuada da vibração e de série de picos igualmente espaçados, em altas frequências, nos mancais do volante de inércia. A causa provável foi a troca dos rolamentos do volante de inércia.

IV.CONCLUSÃO

Bomba CP-BOM-01. Analisando os resultados de medida de vibração obtidos através do SMER do reator, constatou-se um aumento nos níveis de vibração do conjunto moto-bomba, principalmente para os primeiros harmônicos da frequência fundamental de giro do sistema. No entanto, os aumentos de vibração observados provavelmente estão dentro dos limites toleráveis e dizem respeito às incertezas e tolerâncias nas medidas das folgas e excentricidades quando da remontagem, balanceamento e alinhamento do conjunto.

Cabe ressaltar que o limite tolerável para os níveis globais de vibração estão em torno de 5mm/s, enquanto que os nossos valores não ultrapassam 2.5mm/s, segundo as normas ISO 2372,1940,10816-1 E 395 (DE 1985).

Bomba CP-BOM-02. Após esta manutenção corretiva, o equipamento apresentou um resultado de funcionamento satisfatório, porém, não foi possível determinar com exatidão um diâmetro do rotor que pudesse obter um máximo de aproveitamento para 100CV, com consequente aumento da vazão desejada, pois o circuito não possui instrumentação adequada para retirar dados que permitisse executar com maior exatidão o cálculo do diâmetro do rotor.

Após 5 anos sem manutenção corretiva, foi necessária uma força tarefa para devolver as bombas de recirculação de refrigerante do reator IEA-R1 até um patamar satisfatório de funcionamento. No entanto a tarefa de manutenção não está encerrada. Agora cabe ao grupo de manutenção manter registros de todas as medidas preditivas (análise de vibração e execução de manutenção preventivas periódicas, lubrificação, troca de gaxetas, etc), para garantir o bom funcionamento dos equipamentos e dar subsídios técnicos para as futuras manutenções.

REFERÊNCIAS

- [1] THE BABCOCK & WILCOX CO., **Open-Pool Research Reactor – Instruction Book**, 1957.
- [2] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN), **Relatório de Análise de Segurança**, 1999.
- [3] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN), **Manual de Rotinas de Operação e Manutenção do Reator IEA-R1**.
- [4] MÉTODOS EM TECNOLOGIA DE MANUTENÇÃO (MTM), **Relatório no. 80098**, 2000.

ABSTRACT

The work introduce every step of IEA-R1 reactor research as concerns about the analysis and the importance of a systems to observe continuous oscillation to avoid damages.