



**GRUPO II
PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - (GPT)**

DETECÇÃO DE PERDAS NA GERAÇÃO ELETRONUCLEAR: SIMULAÇÃO DO CIRCUITO ÁGUA-VAPOR DE ANGRA 1

Fernando Luiz Futuro * Cassia Daniele S. Silva Adão L. Muniz Alexandre F. Ogando

ELETRONUCLEAR

RESUMO

A simulação do comportamento de plantas de geração de eletricidade retratando as condições reais de operação é hoje uma ferramenta de auxílio indispensável para o acompanhamento e diagnóstico do desempenho destas plantas. A análise comparativa de tais simulações frente à resposta real da planta, possibilita a identificação de componentes e/ou processos pontuais com contribuição negativa para a eficiência global do circuito água-vapor. A verificação desses pontos e a determinação das respectivas causas de tais comportamentos permitem a contínua otimização da planta.

PALAVRAS-CHAVE

ENERGIA – NUCLEAR – ANGRA – SIMULAÇÃO – TERMOGERAÇÃO.

1.0 - INTRODUÇÃO

Como normalmente ocorre com qualquer unidade industrial ao longo dos anos de operação, a Usina Nuclear de Angra 1 teve afetada sua capacidade máxima nominal de geração elétrica. O objetivo deste trabalho é apresentar as ferramentas que estão sendo desenvolvidas para análise dos sistemas de maior importância termodinâmica e dos diversos equipamentos correspondentes, visando a recuperação do nível de potência da planta, conservando as características de segurança da unidade.

A documentação técnica relativa ao desempenho da unidade 1 da Central Nuclear Almirante Álvaro

Alberto para operações em plena carga (100%) e potências parciais (75%, 50%, e 25%), também conhecida como "Kit Térmico", juntamente com os resultados dos testes de aceitação, foram entregues a Furnas Centrais Elétricas S.A., no escopo do processo de aceitação da planta, em forma de relatórios com listagens de computador resultantes de cálculos desenvolvidos pela WESTINGHOUSE.

A repetição dos pontos de operação da planta tanto nas condições de projeto como nas condições de garantia aceitas nos testes de aceitação não foram repetidas em todo o tempo de operação da planta até hoje.

Foi escolhida uma alternativa simplificada para a simulação do cálculo do balanço termodinâmico do circuito água-vapor de Angra 1, com a aplicação do programa de cálculo de projeto para plantas térmicas – KREISL. O programa KREISL foi desenvolvido pela SIEMENS/KWU com a finalidade de cálculo de simulação do balanço termodinâmico para circuito água-vapor de centrais térmicas projetadas pela própria SIEMENS/KWU. Foi transferido para NUCLEN S.A., no escopo do contrato de transferência de tecnologia do programa nuclear brasileiro.

A aplicação deste programa para a simulação do balanço térmico na Usina de Angra 1 é possível mediante uma série de adaptações no processo de cálculo do programa, como o desenvolvimento da configuração específica do circuito água-vapor para Angra 1, a implementação dos parâmetros para casos reais e ainda a adaptação e/ou correção de correlações empíricas específicas para os componentes de Angra 2 (projeto SIEMENS/KWU), de forma que o programa possa simular as características dos componentes de Angra 1 (projeto WESTINGHOUSE).

Como ferramenta comparativa foi adotada uma alternativa paralela para a simulação do balanço térmico da Usina de Angra 1 que é a utilização de correlações parametrizadas para os diversos equipamentos como as turbinas e os trocadores de calor, com auxílio de planilhas feitas em MS-Excel¹. Esta simulação foi desenvolvida exclusivamente para o cálculo do balanço termodinâmico para o circuito água-vapor de Angra 1.

A operação de Angra 1 conta hoje em dia, com uma ferramenta computadorizada de aquisição de dados de operação (SICA), desenvolvida pela COPPE/RJ, que permite o acompanhamento de diversas variáveis termodinâmicas basicamente a intervalos de 4 segundos.

O trabalho tomou como base esses dados coletados em três níveis de potência, com o objetivo de compará-los com valores oriundos da simulação dos casos de carga com o programa.

2.0 - METODOLOGIA EMPREGADA

A utilização do programa KREISL para a simulação do balanço térmico de Angra 1 requer algumas ações, como segue:

- Desenvolvimento da configuração específica do circuito água-vapor para Angra 1.
- Implementação de todos os parâmetros para os casos de cargas pertencentes ao "Kit térmico".
- Adaptação e/ou correção de correlações empíricas específicas para os componentes de Angra 1.

Uma vez concluídas as etapas acima foram realizados os seguintes cálculos:

- Simulação do "Kit Térmico" para plena carga (100%) e cargas parciais (75%, 50% e 25%).
- Simulação do teste de aceitação.
- Simulação das medições realizadas no período anterior à parada P8 da Usina de Angra 1 para troca de combustível, em outubro de 1998.

A configuração específica do circuito água-vapor de Angra 1 apresenta algumas diferenças em relação à Angra 2:

- separador de umidade referente a Angra 1 é composto de 3 partes; o separador físico de

gotículas por meio de chicanas; o primeiro nível de reaquecimento com vapor proveniente do primeiro estágio de extração da turbina de alta pressão; e um segundo reaquecedor, com vapor proveniente da linha de vapor principal.

- Tanto a turbina de alta pressão quanto a de baixa pressão apresentam diferenças em seus projetos com significativas variações dos níveis de pressão em seus estágios de expansão com suas respectivas extrações para os aquecedores, bem como nas eficiências do processo de expansão do vapor para cada estágio.
- A maior diferença dos dois projetos no circuito água-vapor diz respeito aos trens de pré aquecimento de baixa pressão (incluindo as turbinas de baixa pressão) que Angra 2 tem 3 enquanto Angra 1 apenas 2 trens. Isso porém, não interfere no estágio atual da simulação.
- O vácuo no condensador, também apresenta um valor diferente de Angra 2, apesar da temperatura da água do mar ser a mesma.
- O projeto dos aquecedores apresentam diferenças nos parâmetros gradientes de temperatura de condensação e subresfriamento (TD e TDT).
- O circuito água-vapor de Angra 1 não apresenta o tanque de água de alimentação como no caso de Angra 2. Em contrapartida Angra 1 possui tanque de coleta de drenos dos dois últimos aquecedores juntamente com o dreno do reaquecedor e/ separador de umidade e da água de resfriamento da purga do gerador de vapor. Além disso o circuito água-vapor de Angra 1 apresenta um aquecedor a mais, em relação a Angra 2.
- A bomba de água de alimentação é inserida no circuito antes do último pré aquecedor e recebe cerca de 1/3 da água de alimentação proveniente do tanque de drenos descrito acima.

A simulação das turbinas de alta e baixa pressão se desenvolveu a partir dos valores de entalpia em cada extração a partir do "Kit Térmico" para 100% de carga, por falta de informação do projeto original. Isso tornou difícil a adaptação das expansões internas nas turbinas para os casos de carga parcial.

Por fim a configuração do circuito para Angra 1 apresenta diferentes perdas de carga para todo o conjunto de tubulações de vapor e água de alimentação bem como das pressões de descarga das bombas.

Todas essas adaptações foram introduzidas no arquivo

¹ MS-Excel é marca registrada da Microsoft Corporation.

de entrada de dados, para o programa KREISL. Desta forma desenvolveu-se uma configuração específica para Angra 1, de modo a tornar possível a simulação do balanço termodinâmico do circuito água-vapor para Angra 1.

3.0 - SIMULAÇÃO PARA O PONTO DE PROJETO.

Em uma primeira etapa, a simulação do balanço termodinâmico para o circuito água-vapor de Angra 1, com os parâmetros de 100% do "Kit Térmico", calculado através do programa KREISL, apresentou valores de potência do eixo da turbina e das vazões mássicas das extrações para os aquecedores próximos dos valores esperados.

A diferença entre os valores calculados e os valores do "Kit Térmico" pode ser explicada pela diferença no dimensionamento das turbinas WESTINGHOUSE e das turbinas da SIEMENS/KWU. Como os projetos são diferentes, a eficiência dos drenos nas expansões da turbina também diferem, principalmente no que se refere a quantidade de água retirada em cada expansão. Essa parcela de água retirada calculada durante a simulação do programa afeta significativamente a potência gerada no eixo da turbina.

Em uma etapa posterior, calculou-se através do programa KREISL o balanço termodinâmico do circuito água-vapor de Angra 1, para os casos de cargas parciais (75%, 50% e 25%). Observou-se também diferenças entre os valores calculados e os valores do "Kit Térmico", pelo mesmo motivo mencionado acima.

Na etapa final dos cálculos, foi feito o cálculo para o caso em plena carga válido como teste de aceitação. Novamente foram observadas diferenças entre os valores calculados e os valores do teste de aceitação.

Uma forma encontrada para minimizar essas diferenças obtidas, foi a mudança no programa fonte do KREISL, de modo que as equações do programa se adaptassem melhor às turbinas projetadas pela WESTINGHOUSE, para a unidade de Angra 1.

Após concluídas as mudanças em algumas subrotinas do programa, calculou-se o balanço termodinâmico do circuito água-vapor de Angra 1 novamente, para os casos do "Kit Térmico" (carga total e cargas parciais) e para o caso do teste de aceitação. Desta vez os resultados apresentaram diferenças menores entre os valores calculados e os valores do "Kit Térmico".

As diferenças apresentadas nesta fase do cálculo foram consideradas aceitáveis permitindo que se utilize o

programa KREISL para cálculos em cargas parciais fora dos pontos conhecidos.

4.0 - UTILIZAÇÃO DE ROTINAS EM PLANILHA ELETRÔNICA.

As rotinas utilizadas nas planilhas eletrônicas foram criadas a partir de equações parametrizadas. Os dados necessários para estas equações foram obtidos através do programa KREISL variando-se a potência térmica do reator entre 75% e 100% de carga, em intervalos de 1%. As planilhas eletrônicas permitem calcular o balanço térmico da usina de Angra 1 sem necessidade de um número muito grande de variáveis de processo (temperatura, pressão, entalpia e vazão) como dados de entrada.

A planilha conta também com uma rotina que calcula um fator de correção para o rendimento da planta em função da temperatura de água do mar e do fluxo de vapor que entra no condensador.

A faixa entre 75% e 100% foi escolhida por ser a faixa na qual as variáveis de processo se relacionam de forma "bem comportada" (normalmente monótona, contínua), e ainda por ser a faixa em que a usina deve operar a maior parte do tempo (mais rentável), e portanto objeto de nossa otimização.

Através destas rotinas pode-se calcular o balanço termodinâmico teórico do circuito água-vapor de Angra 1, tendo como dados de entrada a potência térmica do reator e a temperatura de entrada da água de circulação (água do mar), que é a fonte fria do sistema.

As outras variáveis do sistema que estão disponíveis através do SICA são alimentadas diretamente na planilha. Cada variável alimentada pelo SICA é calculada como a média em um período de tempo pré determinado em que o reator esteja estável e portanto não haja alteração das condições gerais da usina.

Uma comparação automática com a tabela dos valores do balanço termodinâmico teórico para mesma potência e mesma temperatura de água do mar aponta os desvios dos valores em faixas percentuais, através de uma escala de cores que vai do vermelho ao azul.

Na realidade o comportamento de equipamentos paralelos (inclusive turbinas) não é idêntico, apesar de igualmente projetados. Portanto as variáveis termodinâmicas lidas pelo SICA para cada equipamento são usadas como se os equipamentos (ou trens) paralelos fossem um único e é tomada a média das temperaturas ou pressões e somada as vazões para efeitos de comparação com o calculado pela simulação.

5.0 - CONCLUSÕES

A utilização do programa KREISL em conjunto com as planilhas eletrônicas em MS-Excel simplificam sobremaneira o cálculo teórico do balanço térmico de Angra 1, permitindo a avaliação do desempenho dos aquecedores de água de alimentação, reaquecedores de vapor e da potência produzida nos estágios das turbinas de alta e baixa pressão.

A utilização da simulação em planilhas eletrônicas vai permitir o refinamento e otimização dos cálculos pela própria engenharia da Usina, de acordo com as necessidades que vierem surgir, através da substituição das equações parametrizadas por equações termodinâmicas mais realistas. Adicionalmente, uma etapa posterior do trabalho prevê a simulação independente de cada turbina e trem de pré aquecimento (de baixa e alta pressão) individualizando o acompanhamento de desempenho de cada equipamento.

A aplicação deste processo de simulação pode ser estendida a qualquer planta térmica convencional ou ciclo combinado para operação à nível constante de potência, sem transientes.

6.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) Relatório Kit Térmico – Balanço térmico original da WESTINGHOUSE para Angra 1.
- (2) Gebert, R., Relatório interno - KREISL - Nrº: T 121/93/009, Erlangen, 1993.
- (3) Dietzel, F., Technische Wärmelehre, Vogel, Würzburg, 1998.
- (4) Schmidt, E., Properties of Water and Steam in SI-Units, Springer, München, 1972.
- (5) Dietzel, F., Dampfturbinen: Berechnung, Konstruktion, Kondensation, Teillast und Betriebsverhalten, Hanser, München, 1980.
- (6) SICA 2.0 – Sistemas Integrados dos Computadores de Angra 1 versão 2.0 – Especificação funcional do Sistema de Supervisão de Parâmetros de Angra 1 (SSPA) – outubro/1997 – LMP – PEN/COPPE.

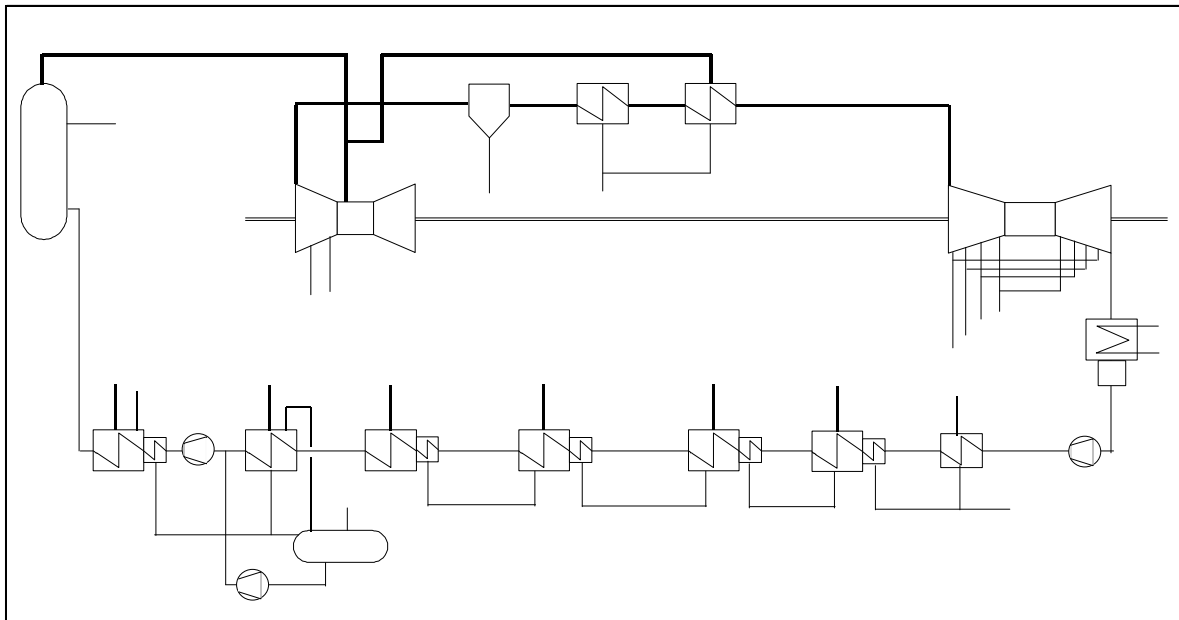


Figura 1: NOTA: Configuração específica para o circuito água-vapor de Angra 1.