OTIMIZAÇÃO "ON-LINE" DO SISTEMA TERMOELÉTRICO DA COPENE

José Hélio F. Pinto
FIGENER S/A Engenheiros Associados
Av. Paulista, 2644 cj. 32, 01310-300, São Paulo, SP, Brasil
figener@ibm.net

On-line optimization of COPENE´s thermoelectric system

Abstract – This paper presents practical aspects of COPENE´s thermoelectric system optimizator implementation, which has the task of determining operating conditions that minimize fuel and electric power costs. The focus is on system modeling, data base and simulation and on the interface with the supervisory system.

Resumo – Este trabalho discute os aspectos práticos de implantação do otimizador do sistema de geração termoelétrica da COPENE, que tem por objetivo determinar as condições operacionais que minimizam os custos de combustíveis e de energia elétrica. O enfoque será dado na modelagem, simulação e banco de dados do sistema e na interface com o sistema supervisório.

I. INTRODUÇÃO

A Central de Geração Termoelétrica da COPENE - Companhia Petroquímica do Nordeste, tem uma capacidade instalada para geração de 2.300 t/h de vapor, e de 270 MW de potência életrica, sendo constituída por:

- cinco geradores de vapor de 400 t/h cada (120 bar e 530 °C);
- dois geradores de vapor de 100 t/h cada (42 bar e 390 °C);
- quatro turbogeradores de contrapressão (120 / 42 / 15 bar) de 42 MW;
- um turbogerador de condensação (15 bar) de 42 MW
- duas turbinas a gás "heavy -duty" de 32 MW;
- uma caldeira de recuperação de 100 t/h (120 bar e 530 °C) acoplada a uma turbina a gás;

O sistema termoelétrico da COPENE opera interligado à CHESF, fornecendo vapor e energia elétrica não só para o consumo interno, mas também para diversas outras empresas que operam no Pólo Petroquímico de Camaçari.

Além da diversificação dos equipamentos, a COPENE dispõe de uma ampla gama de combustíveis que podem ser utilizados na Central Termoelétrica (UTE), passando por gás natural, gás de processo, óleo combustível 1A a 5A, e outros combustíveis líquidos residuais derivados do processo petroquímico.

Neste quadro, a necessidade de decidir qual a melhor configuração para operação da Central Termoelétrica (UTE), buscando minimizar seus custos, obrigou a aplicação de ferramentas de cálculo mais elaboradas. Em 1992/1993, a COPENE começou a aplicar programação linear mista para a minimização dos custos operacionais da UTE, quando foi desenvolvido o primeiro otimizador para seu parque de geração termoelétrica, já então em conjunto com a FIGENER S/A. Tal sistema de otimização foi desenvolvido para ser utilizado como uma ferramenta gerencial, orientando as decisões relativas à operação dos geradores de vapor, turbogeradores e principais auxiliares. Com ele é possível determinar a melhor distribuição de carga entre os equipamentos e dos combustíveis a serem utilizados, buscando minimizar os custos operacionais e atendendo às restrições impostas a cada equipamento. Sua utilização, porém, depende de um levantamento sistemático e atualizado das variáveis operacionais do sistema termoelétrico, sem o qual fica incerta a validade dos resultados do otimizador.

Prosseguindo com o seu desenvolvimento, em 1994/1995 o sistema de otimização foi ampliado e adaptado para ser utilizado como ferramenta de operação da central termoelétrica, passando a utilizar um sistema de aquisição de dados "on-line", que agora monta automaticamente a base de dados necessária para processar o otimizador. Executada a otimização, seus resultados são passados agora diretamente aos operadores. Já está preparado também para gerar os "set-points" para os controladores dos equipamentos do sistema termoelétrico, fechando a malha de controle, etapa que será executada à medida que os operadores ganhem familiaridade com o otimizador.

II. O MODELO MATEMÁTICO DO SISTEMA TERMOELÉTRICO

A Otimização do Sistema Termoelétrico é realizada essencialmente por meio de um sistema de equações linearizadas, construídas a partir das equações de balanço de massa e energia de cada equipamento e da sua malha de interligação. A Figura 2.1 a seguir ilustra resumidamente o sistema de geração termoelétrica da COPENE que foi modelado.

Adicionam-se às equações de balanço as restrições operacionais de cada equipamento, como carga de operação mínima e máxima, e tem-se um conjunto de equações que representam todo o domínio possível das condições operacionais que podem ser fixadas para o sistema termoelétrico.

Existe ainda uma série de particularidades que complementam o modelo, como balanço de energia reativa para aproveitar os geradores para compensar fator de potência (o sistema elétrico da COPENE é interligado à CHESF), o que implica em tomada de decisões do tipo deixar de gerar energia ativa para não pagar multa de ultrapassagem de fator de potência (que pode acabar

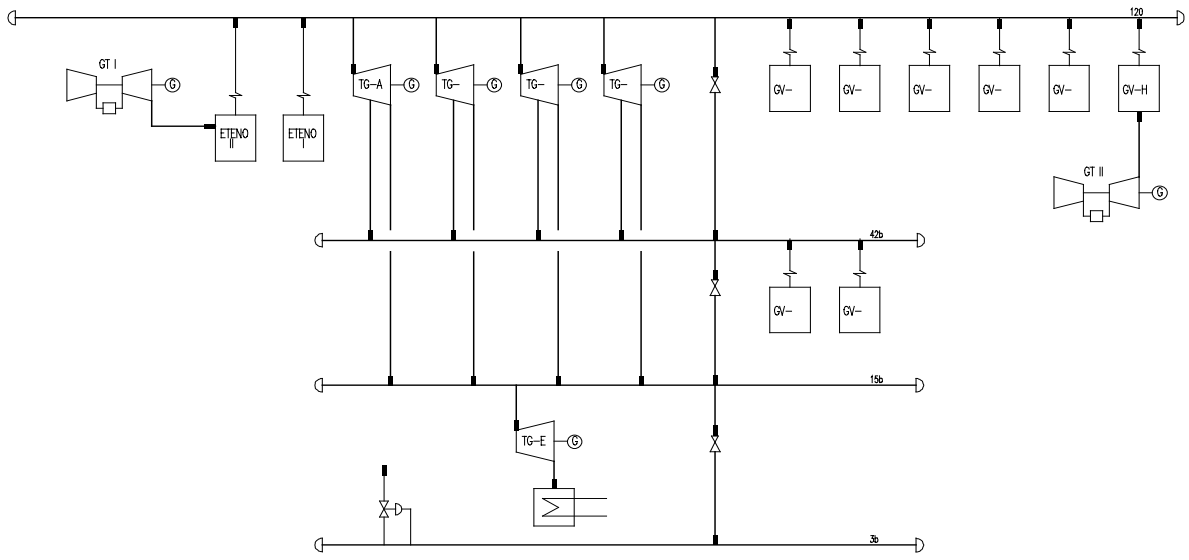

Figura 1 – O Sistema de Geração Termoelétrica da COPENE

resultando em ultrapassagem de demanda), mas o essencial é dado pelas equações de balanço de massa e energia e restrições de carga dos equipamentos.

Definidas as cargas que devem ser atendidas (demandas de energia elétrica e de vapor nos diversos níveis de pressão), pode-se verificar que o sistema de equações obtido tem um número de variáveis maior que o número de equações, tendo infinitas soluções (se houver uma única solução não há o que otimizar).

Completa-se então o equacionamento com as relações de custos dos insumos energéticos, e o modelo matemático está pronto para ser procurada a solução - representada pela carga que deve ser fixada em cada equipamento - que resulta na minimização do custo operacional.

A técnica utilizada para determinar a solução de menor custo no Otimizador da COPENE foi programação linear mista, sendo empregado um software específico denominado "SCICONIC", desenvolvido pela EDS - Scicon Limited.

A sistematização e linearização do modelo matemático, por sua vez, foi executada utilizando o software "EMSY - Flexibel" desenvolvido pela FICHTNER Development Engineering GMBH. Trata-se de software dirigido para o desenvolvimento de modelos de otimização de sistemas de geração termoelétrica, dispondo de interface gráfica que permite a construção do modelo po meio da inserção e interligação de todos os elementos que compõem um sistema termolétrico (como geradores de vapor, turbogeradores, bombas e trocadores de calor), num procedimento similar à construção do fluxograma do processo.

Com o modelo matemático assim construído, dispõe-se de uma ferramenta gerencial que permite determinar como operar o sistema termoelétrico de forma otimizada. Destaca-se que até aqui o otimizador, conforme descrito, só dá para ser utilizado como ferramenta gerencial, porque o seu processamento depende de um levantamento sistemático das condições de operação atuais do sistema termoelétrico, essencialmente para definir as cargas que devem ser supridas. Este levantamento, se tiver que ser feito manualmente é bastante moroso, dado o grande número de variáveis que precisam ser obtidas para caracterizar o sistema.

III. O OTIMIZADOR "ON-LINE" (OTIMIZAÇÃO INSTANTÂNEA)

Em 1995, foi instalado na COPENE um novo sistema de supervisão e de rejeição de carga elétrica (SISUP), com o qual foi ampliada e centralizada a aquisição de dados de toda a UTE, além de incluir variáveis térmicas para permitir a avaliação da vazão de vapor disponível para a geração elétrica.

Com a inclusão das variáveis térmicas nesta nova aquisição de dados, toda a base de dados necessária para processar o Otimizador já ficou disponível no banco de dados do SISUP. Coube então ao Otimizador somente construir sua própria base de dados a partir das informações disponíveis no SISUP.

De modo a caracterizar a instalação, adianta-se que o processamento do SISUP se dá em uma rede de Workstation Sun, onde foi construída também toda a interface de entrada e saída de dados do Otimizador (Interface Homem Máquina - IHM). Esta é composta por fluxogramas do sistema termoelétrico, onde são apresentadas e continuamente atualizadas as medições de campo, e tabelas (atualizadas pelos operadores) para configuração do sistema termoelétrico.

Resumidamente pode-se dizer que os fluxogramas registram as condições operacionais existentes, e servem de base para determinar as cargas que devem ser atendidas pela Central Termolétrica. Já as tabelas contêm os limites operacionais que restringirão a liberdade do otimizador para encontrar a solução de menor custo.

Já o Otimizador propriamente dito foi desenvolvido para ser executado em microcomputador 486 DX4 100 (compatível c/ IBM PC), permanecendo interligado à

rede das Workstations para acessar o banco de dados do SISUP. O microcomputador utilizado pelo Otimizador dedica-se somente a esta tarefa, processando continua e automaticamente o Otimizador em intervalos de 15 minutos. Ao iniciar um processo de otimização sua primeira tarefa é buscar na rede do SISUP todas as informações utilizadas para montar sua base de dados, atualizando seu sistema de equações, disparando a seguir o processamento do software SCICONIC para determinar a solução ótima. Determinada esta solução, o Otimizador passa os resultados para o SISUP, que são apresentados nas mesmas telas de fluxogramas do sistema termoelétrico utilizadas para visualizar a aquisição das medições de campo, e sinaliza através de alarme do SISUP o término da otimização para que os operadores tomem conhecimento.

O Otimizador desenvolvido está apto inclusive para gerar os "set-points" de controle dos geradores de vapor e turbogeradores. Todavia, por questões de segurança estes "set-points" somente serão passados para os equipamentos com confirmação dos operadores.

Mesmo com a aquisição de dados "on-line", o Otimizador continuará dependendo do acompanhamento contínuo dos operadores do sistema termoelétrico, a quem caberá também manter atualizadas as informações relativas aos preços dos insumos energéticos, bem como a evolução das restrições operacionais de cada equipamento. São informações cujas mudanças ocorrem mais lentamente, facilitando o trabalho de atualização, mas que também são vitais para a obtenção de resultados corretos.

A otimização "on-line" do sistema termoelétrico conforme descrita tem porém uma limitação importante quando comparado com um otimizador utilizado como ferramenta gerencial. Ao se amarrar a base de dados a um sistema de aquisição "on-line", representando uma condição momentânea do sistema termoelétrico, bem como a intenção de se gerar "set-points" para os controles dos geradores de vapor e turbogeradores, obrigam que o Otimizador analise somente o universo de soluções em que não há mudança de estado dos equipamentos, isto é, não é permitida a partida e tampouco a parada de nenhum equipamento. Sabe-se que na prática talvez os principais resultados que podem ser obtidos do uso de um otimizador reside na possibilidade de remanejar os equipamentos em operação.

IV. Planejamento Semanal

Para recuperar a possibilidade de analisar o aspecto de partir e/ou parar os equipamentos, o Otimizador foi desenvolvido também com uma função denominada Planejamento Semanal, que calcula a otimização com base num histórico de cargas do sistema termoelétrico de sete dias (também armazenado no banco de dados do SISUP). Este histórico, utilizado como uma projeção da carga que será imposta nos próximos sete dias, permite avaliar não só a distribuição de carga que resulta no menor custo, mas principalmente determinar neste período de sete dias quais equipamentos devem estar parados e quais devem estar em operação. Apesar de também utilizar a aquisição de dados "on-line", esta função não é mais considerada como Otimização "On-Line" uma vez que a implementação dos seus resultados não poderá ser feita automaticamente. A partida e/ou parada de qualquer turbogerador ou gerador de vapor só pode ser feita com a ação dos operadores, e mais do que isso, a sua decisão envolve outros fatores que não estão ao alcance do modelo do otimizador, sendo imprescindível uma análise crítica dos seus resultados.

V. Conclusões

A implantação do Otimizador descrito foi concluída no segundo semestre de 1995. Desde então foram realizados diversos testes para verificar sua funcionalidade e a consistência dos seus resultados. Os principais problemas encontrados, de cuja solução ainda depende a utilização rotineira do Otimizador, foram os seguintes:

- A aquisição de dados "on-line" foi construída tendo por base a instrumentação ja existente na instalação, e algumas medições de vazão estão com erros que impedem o fechamento de um balanço de massa do sistema de vapor. Falta compensação de pressão e temperatura do vapor sobre a medição de vazão em alguns casos, e em outros a placa de orifício existente precisa ser redimensionada.
- A falta de consistência nas medições de vazão de vapor poderia ser compensada, ao menos parcialmente, ajustando-se os balanços de massa com o auxílio das curvas de potência dos turbogeradores. O Otimizador foi construído com meios para realizar a verificação do balanço, descartando algumas das medições. Todavia, as curvas de potência disponíveis para os turbogeradores eram as originais entregues pelo fabricante das turbinas, sem que houvesse uma avaliação do desgaste ocorrido pelo envelhecimento dos equipamentos. Nos testes do Otimizador foi encontrado um desvio das condições de operação deste turbogeradores em relação à curva original que acaba impedindo a obtenção de um balanço de massa e energia consistente.

Em resumo, os dois problemas encontrados estão inter-relacionados, e na prática impedem a obtenção de uma base de dados do sistema termoelétrico consistente, o que é essencial para a operação do Otimizador desenvolvido. A solução destes problemas todavia não é simples, e exige investimentos por parte da COPENE principalmente em instrumentação, para eliminar os erros de medição de vazão. De posse de uma medição confiável, a reconstrução das curvas de potência dos turbogeradores, essenciais também para que os resultados do Otimizador estejam corretos, poderá ser realizada com o auxílio do sistema de aquisição de dados do próprio Otimizador.

Até o momento da elaboração do presente trabalho, portanto, não foi possível portanto avaliar com rigor os reais ganhos operacionais proporcionados pelo Otimizador. A expectativa inicial que deu respaldo para o seu desenvolvimento, contudo, avaliada em US$ 2.500.000,00 anuais, continua válida, representando cerca de 3,0 % dos custos dos insumos energéticos (combustíveis e energia elétrica fornecida pela CHESF).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a equipe técnica da COPENE Petroquímica do Nordeste, representada pelo Eng. Giancarlo Losápio, e a equipe técnica da MAXITEC pelo apoio técnico e logístico geral para a execução dos trabalhos que originaram este artigo.

BIBLIOGRAFIA

[1] FIGENER S.A. "Software de Gerenciamento Energético", Projeto MAXITEC-94271, Sâo Paulo, 1994

[2] EMSY.*User´s Manual*, Manual, FICHTNER Beratende Ingenieure, Stuttgart, 1994