



A experiência da Itaipu Binacional no treinamento do corpo técnico de manutenção, com formação convencional, em sistemas digitais de controle

**Marco Aurélio
Siqueira Mauro**

Itaipu Binacional

mmauro@itaipu.gov.br

**Nilton Sergio Ramos
Quoirin**

Itaipu Binacional

quoirin@itaipu.gov.br

**Armando Luiz Ortiz
Torres**

Itaipu Binacional

alot@itaipu.gov.py

**Juan Carlos Obelar
Benitez**

Itaipu Binacional

carletict@itaipu.gov.py

Resumo:

A Usina Hidrelétrica de Itaipu (UHI) é atualmente responsável por 19% da energia consumida no Brasil e 77% da energia consumida no Paraguai. Para assegurar este fornecimento, dispõe de vinte unidades geradoras de 700 MW, totalizando uma potência instalada de 14000 MW, cujos equipamentos devem garantir alta disponibilidade. Suas unidades geradoras foram instaladas em duas fases bem distintas, a primeira na década de 1980 que contemplou dezoito unidades, e a segunda na década de 2000 com mais duas unidades.

A UHI tem seus sistemas projetados na década de 1970 e encontram-se em funcionamento com indicadores de desempenho plenamente satisfatórios, porém começam a apresentar dificuldades de manutenção e reposição de componentes, muitas vezes por desativação da produção destes componentes. Em virtude deste fato iniciaram-se, há algum tempo, estudos de modernização da usina visando a conservação da confiabilidade dos sistemas.

Com a implantação das duas novas unidades geradoras pode-se ter uma boa experiência de como as equipes de manutenção se comportariam na transição da tecnologia convencional, utilização de controle analógico baseado na lógica de relés aplicada na primeira etapa, para a tecnologia digital, baseada em controlador lógico programável (CLP) aplicada na segunda etapa.

Podemos observar que para a utilização do sistema digital teríamos que quebrar alguns paradigmas, tais como: “Eu não tenho mais cabeça para esta nova tecnologia”, “Vai ser difícil de solucionar problemas emergenciais, pois o sistema é uma caixa preta”, “Como vamos implementar melhorias neste sistema?”, “Esta linguagem de programação é muito complicada”, etc. Estes fatos se devem a formação dos profissionais de manutenção elétrica, os quais tem idade média de 40 anos, e que na grande maioria foram treinados e possuem experiência em diagrama de relés.

Afim de minimizar os impactos desta transição, familiarizando as equipes com os novos equipamentos, foi desenvolvido um simulador que contempla o sistema automatizado para controle e supervisão do sistema de água pura, onde a equipe poderia ser treinada e familiarizada, onde realmente coloca a mão na massa sem o receio de estar cometendo algum erro ou inserindo um erro oculto que prejudique o bom funcionamento do sistema em questão, o qual está diretamente associado ao funcionamento da unidade geradora. Os grandes ganhos que encontramos com este simulador foram:

- possibilidade de treinamento no sistema em questão, sem a dependência do tempo de máquina parada para manutenção, o que hoje é muito restrito devido aos compromissos da empresa para com o sistema elétrico brasileiro.
- Facilidade de visualização e entendimento do sistema, qual o seu comportamento quando em funcionamento e quais os impactos na produção da Unidade Geradora, auxiliando o treinamento dos mais novos que estão recentemente integrando o quadro, contribuindo para o processo de Gestão do Conhecimento que já vem sendo desenvolvido, a algum tempo, na Itaipu Binacional.
- Possibilidade de efetuar validação de alterações no software embarcado do CLP no simulador antes de implementação no campo, fato que reduz o tempo de máquina parada para uma intervenção pois a maioria dos testes após a alteração já estariam contemplados no simulador.

PALAVRAS CHAVES: Água Pura, Simulador, Sistemas de Supervisão e Controle, CLP..



1. INTRODUÇÃO

A Usina Hidrelétrica de ITAIPU é atualmente responsável por 19% da energia consumida no Brasil e 91% da energia consumida no Paraguai. Para assegurar este fornecimento, dispõe de vinte unidades geradoras de 700 MW, totalizando uma potência instalada de 14000 MW (1), cujos equipamentos devem garantir alta disponibilidade. Suas unidades geradoras foram instaladas em duas fases bem distintas, a primeira na década de 1980 que contemplou dezoito unidades, e a segunda na década de 2000 com mais duas unidades.

Os sistemas da Usina Hidrelétrica da ITAIPU, projetados na década de 1970, encontram-se em funcionamento com indicadores de desempenho plenamente satisfatórios, porém começam a apresentar dificuldades de manutenção e reposição de componentes, muitas vezes por desativação da produção. Em virtude deste fato iniciaram-se, há algum tempo, estudos de modernização da usina visando a conservação da confiabilidade dos sistemas.

Com a implantação das duas novas unidades geradoras pode-se ter uma boa experiência de como as equipes de manutenção se comportariam na transição da tecnologia convencional, utilização de controle analógico baseado na lógica de relés aplicada na primeira etapa, para a tecnologia digital, baseada em controlador lógico programável (CLP) aplicada na segunda etapa.

Apesar das equipes receberem diversos treinamentos prático/teórico na área de automação e sistemas digitais, não haviam ainda experimentado no campo tal tecnologia. Pode-se observar que para a efetiva familiarização e utilização dos sistemas digitais utilizados para os controles dos equipamentos das novas unidades, recém inauguradas, ter-se-ia que quebrar alguns paradigmas, tais como: “Eu não tenho mais cabeça para esta nova tecnologia”, “Vai ser difícil de solucionar problemas emergenciais, pois o sistema é uma caixa preta”, “Como vamos implementar melhorias neste sistema?”, “Esta linguagem de programação é muito complicada”, etc. Estes fatos se devem à formação dos profissionais de manutenção elétrica, os quais têm idade média de 40 anos, e que na grande maioria foram treinados e possuem larga experiência em diagrama de relés.

Afim de minimizar os impactos desta transição, familiarizando as equipes com os novos equipamentos, foi desenvolvido um simulador que contempla o sistema automatizado para controle e supervisão do sistema de água pura, com o qual a equipe pode ser treinada e familiarizada, realmente realizando intervenções e parametrizações, atuando sem o receio de estar cometendo algum erro ou inserindo um erro oculto que prejudique o bom funcionamento do sistema em questão, o qual é essencial para o desempenho das unidades geradoras. Caso os geradores não possuíssem este sistema, a potência gerada por cada unidade seria aproximadamente igual a apenas 170 MW. (2)

2. O SISTEMA DE ÁGUA PURA

Para se obter um controle efetivo da temperatura no enrolamento estatórico das Unidades Geradoras de ITAIPU durante sua operação, foi projetado e instalado um sistema auxiliar, conhecido por sistema de água pura, que consiste da circulação forçada de fluido refrigerante pelas barras estatóricas. Este fluido consiste em água desmineralizada, com maior grau de pureza possível, pH básico e baixos valores de condutividade.

A finalidade do sistema de água pura é aumentar a eficiência do gerador retirando o calor do enrolamento estatórico, para isto efetua a regulação através da variação da vazão de água bruta nos trocadores de calor. Nas unidades de 1 a 18 os valores de temperatura da água pura na saída do estator e de corrente no enrolamento estatórico são utilizados para regular a abertura ou fechamento da válvula na entrada do circuito de água bruta (20WI), enquanto que nas duas novas unidades (9A e 18A) utiliza-se a temperatura de água pura na entrada do estator e a corrente no enrolamento estatórico para regular a válvula na entrada do circuito de água bruta (20RWI). Esta regulação aumenta ou diminui a vazão de água bruta, variando consequentemente a eficiência da transferência de calor dos trocadores de calor. A Figura 1 ilustra como se realiza o controle de temperatura.

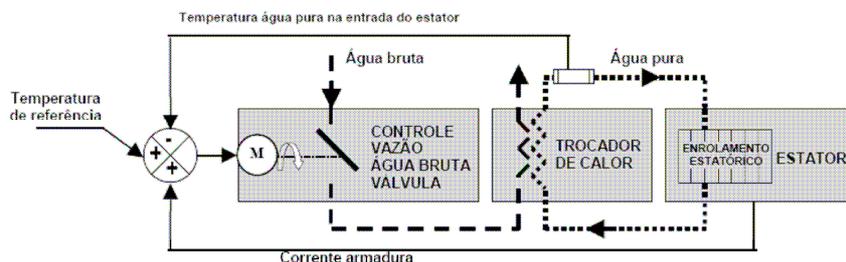


Figura 1 - Controle da válvula de água bruta das unidades 9A e 18A

2.1 Circuito Elétrico

O enrolamento estatórico das unidades geradoras de Itaipu é do tipo ondulado, composto de 1008 barras dispostas em 504 ranhuras. Estas barras, por sua vez, são constituídas internamente por 30 condutores elementares isolados entre si, sendo seis destes condutores ocios, permitindo a circulação de água pura. A Figura 2 mostra a seção das barras estatóricas.

As barras têm formato especial que facilita a construção do enrolamento. Nos terminais de cada barra pode-se distinguir as conexões elétricas e hidráulicas, como mostra a Figura 3.



Figura 2 - Seção da barra estatórica

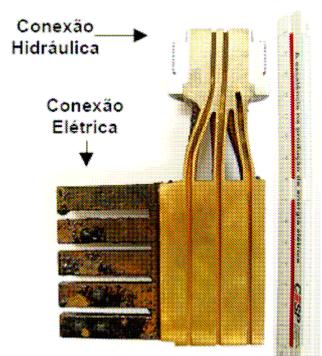


Figura 3 - Corte da cabeça da barra estatórica

2.2 Circuito Hidráulico

Como visto anteriormente, o enrolamento estatórico é composto de 1008 barras, e para possibilitar a circulação de água pura nos condutores ocios de cada barra foi necessária a montagem de circuitos hidráulicos distintos.

São ao todo 168 circuitos, composto pela interligação de seis barras. Dentro do gerador os circuitos hidráulicos assumem várias configurações, entre elas a mais utilizada está representada na Figura 4. A alimentação destes circuitos é realizada pelo anel distribuidor, que fica disposto sobre o estator e fornece água pura com temperatura de aproximadamente 40° C. Em paralelo está instalado o anel coletor, que por sua vez interliga todas as saídas dos circuitos hidráulicos. Este anel recolhe a água aquecida que circulou ao longo das barras de cada circuito hidráulico.

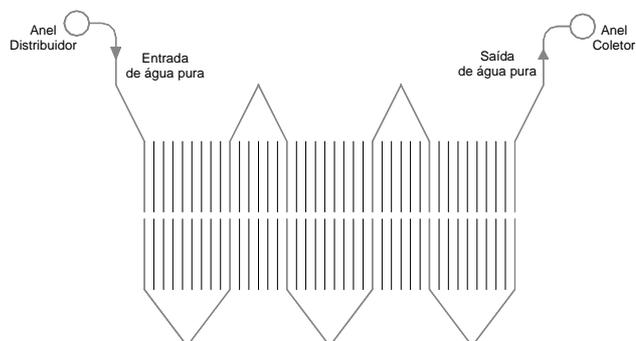


Figura 4 - Circuito hidráulico mais utilizado

A alimentação destes circuitos é realizada pelo anel distribuidor, que fica disposto sobre o estator e fornece água pura com temperatura de aproximadamente 40° C. Em paralelo está instalado o anel coletor, que por sua vez interliga todas as saídas dos circuitos hidráulicos. Este anel recolhe a água aquecida que circulou ao longo das barras de cada circuito hidráulico.

Para que o objetivo do sistema de água pura seja atendido existem duas bombas centrífugas conectadas em paralelo, das quais apenas uma opera de cada vez. A bomba em funcionamento é responsável por manter o fluxo de água pura no circuito hidráulico principal. Caso ocorra alguma falha na bomba principal a outra é ligada imediatamente para manter a configuração do sistema. Toda a água pressurizada pela bomba é dividida entre dois trocadores de calor, dos quais sai resfriada e entra no anel distribuidor alimentando os 168 circuitos hidráulicos do enrolamento estatórico, efetuando, desta maneira, o resfriamento dos condutores. Em cada circuito hidráulico a água completa seu caminho passando por seis barras estatóricas, e chegando ao anel coletor.

Neste ponto a água pura tem sua temperatura elevada devido à troca de calor efetuada no enrolamento estatórico. Ela volta ao circuito hidráulico principal passando pela bomba, pelos trocadores de calor, pelo filtro mecânico e retorna ao estator, formando um circuito fechado, conforme ilustra a Figura 5.(3)

Existe uma derivação após os trocadores de calor, pela qual circula uma pequena proporção de água para efetuar o controle de condutividade e manter as condições químicas da água.

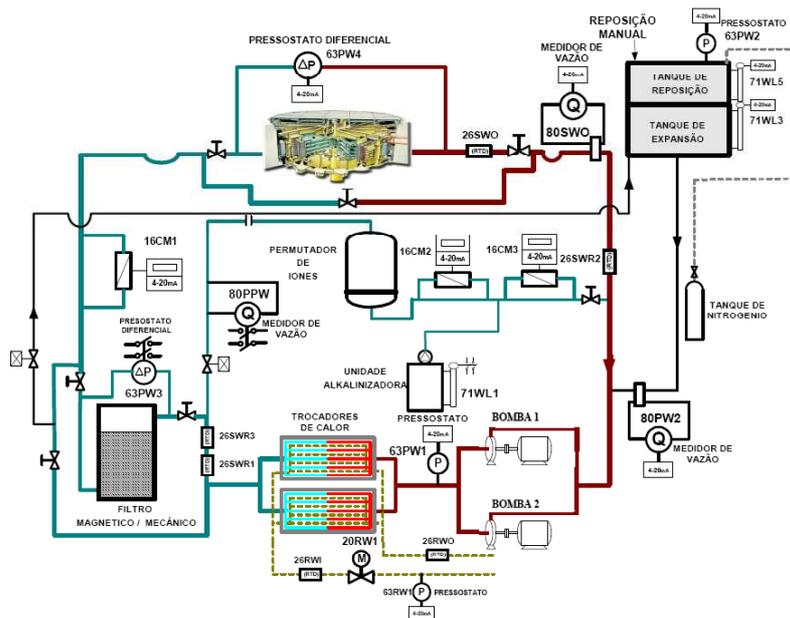


Figura 5 - Diagrama Hidráulico das Unidades 9A e 18A

3. O TREINAMENTO DO CORPO TÉCNICO EM SISTEMAS DIGITAIS

Durante a implantação das duas novas unidades, na fase de comissionamento, o corpo técnico teve os primeiros contatos com a nova tecnologia digital para supervisão e controle de sistemas industriais. Apesar da equipe já ter passado por treinamentos específicos de sistemas digitais e controladores lógicos programáveis (CLPs), ainda não tinha vivenciado em campo tal tecnologia, e quando se deparou com a mesma durante o comissionamento, pré-operação e manutenções programadas as dúvidas e indagações começaram a aparecer, tais como, “Vai ser difícil de solucionar problemas emergências pois o sistema é uma caixa preta”, “Como vamos implementar melhorias neste sistema?”, etc.

Com o propósito de minimizar as dúvidas e indagações do corpo técnico, iniciou-se de imediato uma política de treinamento específico para o sistema de controle digitalizado empregado no sistema de água pura das novas unidades geradoras que contemplava duas etapas:

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Primeira Etapa – treinamento em sala de aula, com exposição teórica do sistema, mostrando as diversidades e particularidades, efetuado pelo profissional que teve maior contato com o sistema durante o comissionamento.

Segunda Etapa – treinamento prático, com visita a instalação, verificação de funcionamento e interação entre os participantes e equipamento durante paradas preventivas nas unidades 9A ou 18A.

Como as paradas preventivas para manutenção das unidades geradoras possuem períodos extremamente otimizados (anual – 9 dias, bienal – 11 dias, quadrienal – 13 dias), percebeu-se que o tempo para a realização da segunda etapa do treinamento era insuficiente, e que tanto os participantes quanto o instrutor ficavam receosos em realmente por a mão na massa devido à preocupação de inserir problemas ocultos ou danificar a programação existente no CLP.

Para tentar flexibilizar os treinamentos e torná-los mais eficientes, surge a idéia da confecção de um simulador, no qual poder-se-ia efetuar a segunda etapa do treinamento sem depender da unidade geradora estar parada para manutenção preventiva. Ou seja, a realização do treinamento poderia ser feita em uma melhor oportunidade, onde as equipes envolvidas estariam disponíveis em tempo integral ao treinamento, de preferência em períodos onde não se tenha manutenção preventiva em unidades geradoras.

3.1 O Simulador

Com a confecção do equipamento pretende-se reduzir a "distância tecnológica" entre as novas e as antigas unidades geradoras facilitando o trabalho dos técnicos de manutenção.

Para o projeto do simulador pensou-se em:

- reproduzir fielmente as instalações de campo, ou seja, o software instalado no CLP do simulador deveria ser o mesmo do instalado no campo;
- aproveitar as sobras de materiais disponíveis na central hidrelétrica;
- utilizar o CLP do simulador como sobressalente em caso de emergências;
- portabilidade, ou seja, o simulador poderia ser transportado facilmente para qualquer sala ou oficina de campo para efetuar-se simulações e treinamento.
- Para o controle e supervisão do sistema de água pura instalado nas unidades 9A e 18A foi utilizado o CLP de fabricação Siemens, família S7-300, com a estrutura de hardware mostrada na Figura 6.(4)

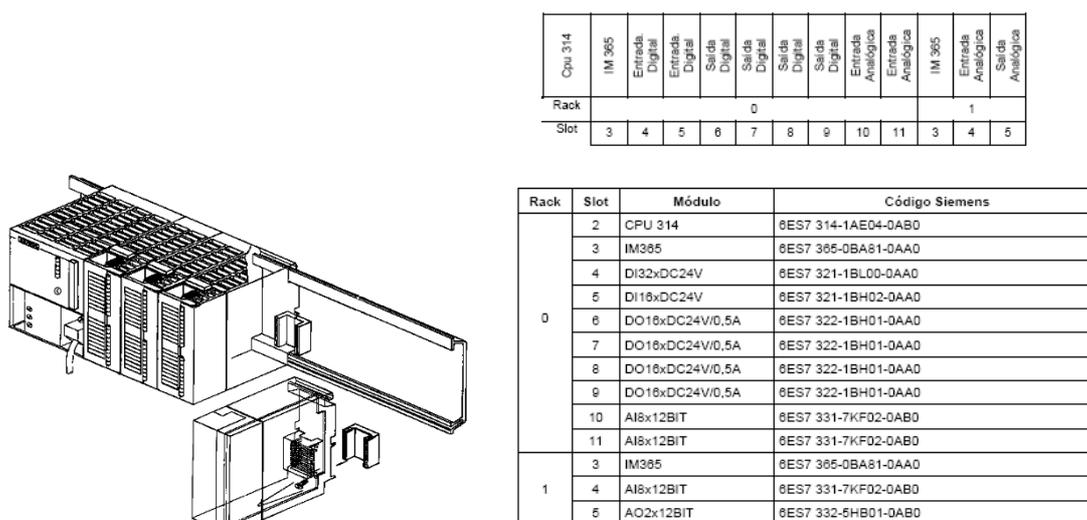


Figura 6 - Hardware Utilizado nas Unidade 9A e 18A

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Afim de atender a lógica de controle exigida pelo sistema de água pura, foi necessário distribuir as entradas e saídas disponíveis no CLP da seguinte maneira:

Tabela 1 – Distribuição de Entradas e Saídas no CLP

	Disponíveis	Utilizadas	Livres no CLP
Entradas Digitais	48	35	13
Saídas Digitais	64	58	06
Entradas Analógicas	24	18	06
Saídas Analógicas	02	01	01

Para que se pudesse reproduzir fielmente as situações de campo dever-se-ia disponibilizar atuadores para as referidas entradas digitais e analógicas, e indicadores para as saídas analógicas e digitais utilizadas no sistema. Logo utilizou-se chaves de alavanca para simular as entradas digitais e potenciômetros para as analógicas, enquanto que para a saídas utilizou-se leds e display de sete segmentos. De maneira esquemática e representativa ilustra-se o descrito acima na Figura 7.

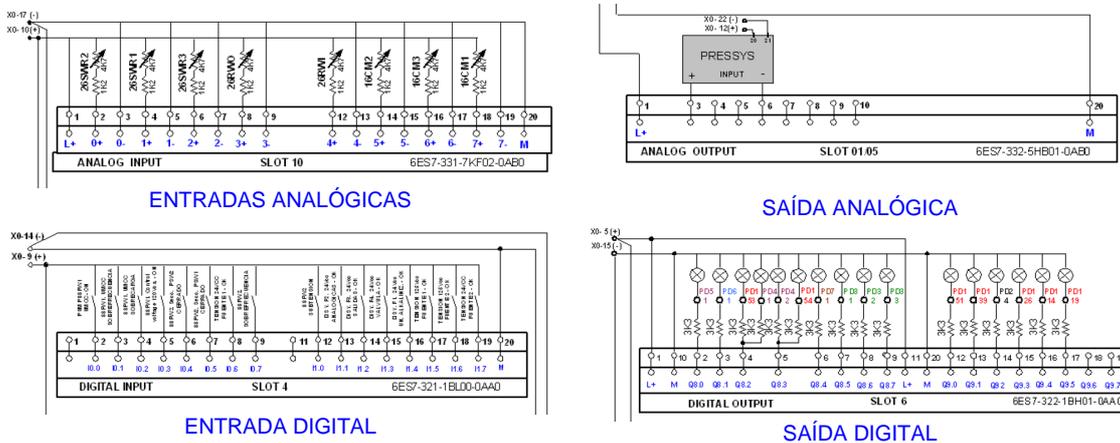


Figura 7 – Esquema de Ligação Tipicos Utilizados no Simulador

No intuito de tornar o simulador o mais versátil e de fácil utilização, definiu-se um layout que contemplasse todos os dispositivos de campo em um esquema sinóptico da instalação física do sistema de água pura, conforme mostra a Figura 8.

Após montagem do simulador, contemplando todos os apontamentos listados acima, obteve-se o produto final mostrado na Figura 9.

Todos os componentes internos utilizados na construção do simulador são facilmente encontrados no mercado. Para acomodar os componentes utilizou-se um quadro de comando que havia sobrado da montagem das primeiras unidades geradoras de Itaipu e que iria ser vendido como sucata.

Ao final do projeto teve-se os seguintes custos associados:

- 52% com materiais, dos quais 95% é referente ao CLP, ou seja o CLP custou 49,5% do investimento.
- 48% com mão de obra.

Este custo, comparado com a importância e relevância do sistema de água pura para a unidade geradora, com potência de 700 MW, é extremamente baixo. Com a utilização do simulador para treinamento ou teste de novas implementações, antes de efetuá-las no campo, espera-se reduzir o tempo de indisponibilidade operativa para intervenções no sistema. E ainda, ao economizar-se apenas de 1 a 2 horas de máquina parada durante uma intervenção no sistema, já se paga o sistema devido aos faturamentos de geração envolvidos.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

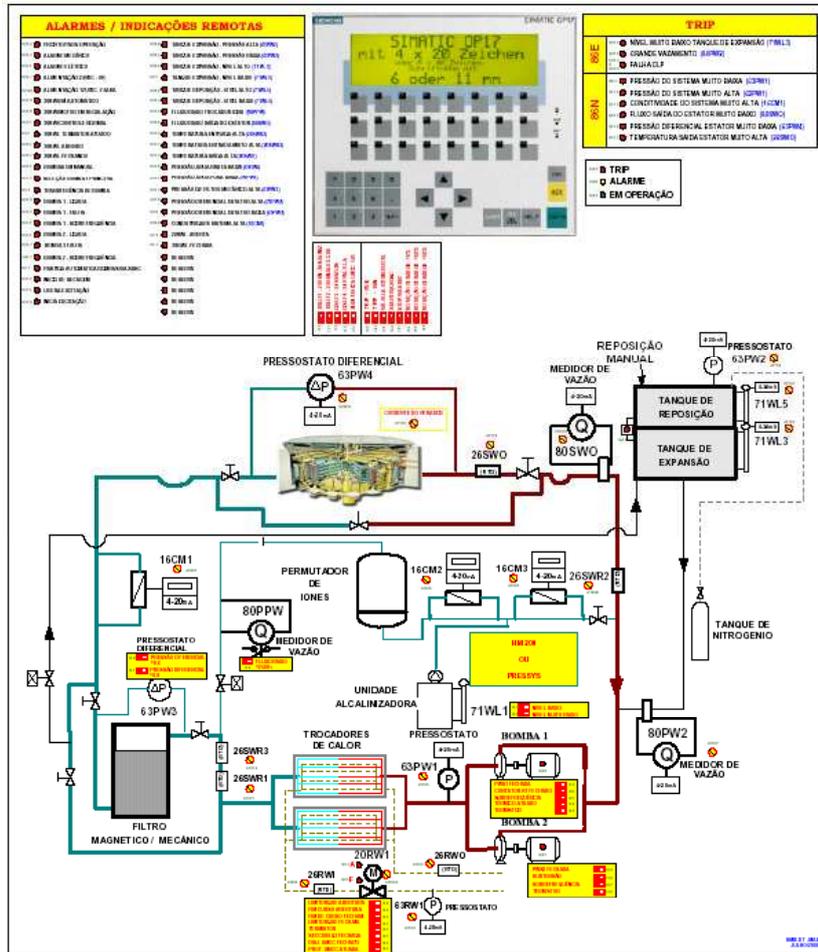


Figura 8 – Layout do Simulador

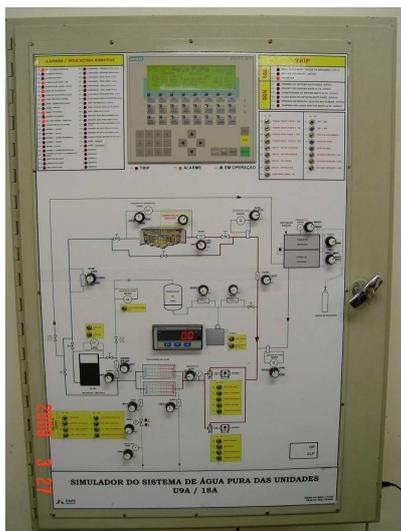


Figura 9 – O Simulador

3.2 O Treinamento Prático das Equipes

3.2.1 Em Campo – In Loco

Durante a execução deste tipo de treinamento, observou-se um baixo aproveitamento das equipes treinadas, pois o ambiente onde se realiza a instrução prática está sujeito ao ruído proveniente das unidades adjacentes e dependendo da época do ano com temperaturas elevadas, causando assim um desconforto à equipe (Figura 10).



Figura 10 – Sistema de Água Pura das Unidades Geradoras 9A e 18^A

Ressalta-se ainda a dependência de unidade parada para manutenção preventiva e, associado a isto, o curto espaço de tempo para a execução das atividades de manutenção programadas no sistema e o referido treinamento. Em todas as oportunidades em que se realizou este tipo de treinamento observou-se o receio da equipe em colocar a mão na massa e causar danos ao equipamento, principalmente quando se falava na programação do CLP.

3.2.2 No Simulador

Durante esta fase de treinamento a equipe efetua uma visita à instalação física para conhecer o equipamento, independentemente se a unidade geradora está em funcionamento ou parada, e após se dirige para o simulador onde pode se familiarizar com o sistema propriamente dito (Figura 11).



Figura 11 – Apresentação do Simulador a Equipe Técnica

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Após apresentação do sistema, inicia-se a simulação de diversas situações de funcionamento do sistema para que a equipe possa efetuar a navegação on-line pelo software do CLP, entendendo o funcionamento do mesmo (Figura 12).



Figura 12 – Apresentação do Sistema a Equipe Técnica

Com a familiarização foi possível simular situações de falhas as mais diversas possíveis, para que a equipe verificasse e a solucionasse em um ambiente climatizado, calmo e com tranquilidade (Figura 13). Estas situações são extremamente vantajosas pois a equipe pode treinar, até de maneira exaustiva, as possíveis situações do dia a dia da manutenção, e quando de uma solicitação real estará com suficiente habilidade para lidar com a situação na prática, restabelecendo a unidade geradora em um menor tempo.



Figura 13 – Turma em Treinamento Utilizando o Simulador

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

3.2.3 Balanço dos Treinamentos

A divisão responsável pela manutenção elétrica possui um total de 83 colaboradores (engenheiros, técnicos e eletricitas) divididos em 3 setores, dos quais o setor responsável pelo sistema tem 42 colaboradores. Os treinamentos foram estruturados da seguinte maneira:

DATA		PARTICIPANTES	DURAÇÃO		SIMULADOR
			TEÓRICO	PRÁTICO	
2007	Outubro	14	2 DIA	1 DIAS	NÃO
2008	Maio	14	2 DIA	1 DIAS	NÃO
2008	Novembro	17	1 DIA	2 DIAS	SIM
2009	Março	17	1 DIA	2 DIAS	SIM
2009	Setembro	20	1 DIA	2 DIAS	SIM

4. CONCLUSÕES

As instalações da Usina Hidrelétrica de Itaipu devem possuir uma disponibilidade altíssima dos equipamentos, pois ela é responsável por aproximadamente 19% da energia consumida no Brasil e 91% da energia consumida no Paraguai, fato que delega uma responsabilidade muito alta. Por isso a preocupação em desenvolver metodologias de treinamento para a equipe técnica de forma a acompanhar o desenvolvimento tecnológico das instalações, principalmente os sistemas de controle e supervisão de equipamentos essenciais ao funcionamento das unidades geradoras da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

Com a implantação do Simulador no treinamento em sistemas digitais de controle do corpo técnico de manutenção com formação convencional, pode-se observar grandes ganhos, tais como:

1. Possibilidade de treinamento no sistema em questão, sem a dependência do tempo de máquina parada para manutenção, o que hoje é muito restrito devido aos compromissos da empresa para com o sistema elétrico brasileiro e paraguaio;
2. Treinamento do corpo técnico em local apropriado, com conforto térmico e acústico;
3. Facilidade de visualização e entendimento do sistema, qual o seu comportamento quando em funcionamento e quais os impactos na produção da Unidade Geradora, auxiliando o treinamento dos novos admitidos que estão integrando o quadro, contribuindo para o processo de Gestão do Conhecimento que já vem sendo desenvolvido, há algum tempo, na Itaipu Binacional.
4. Possibilidade de efetuar validação de alterações no software embarcado do CLP no simulador antes de implementação no campo, fato que reduz o tempo de máquina parada para uma intervenção pois a maioria dos testes após a alteração já estariam contemplados no simulador.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ITAIPU BINACIONAL. A maior hidrelétrica do mundo em geração de energia. Disponível em <http://www.itaipu.gov.br/index.php?q=node/157&foto=geracao.jpg>. Acesso em fevereiro de 2009.
- (2) Itaipu : Hydroelectric Project – Curitiba, PR : ITAIPU BINACIONAL, 1994, p.12.59-12.63.
- (3) Consórcio Itaipu Eletromecânico. Pure Water Equipment: Piping Schematic. 2003. IB n.º 6210-DF-B3277-I-R0.
- (4) Consórcio Itaipu Eletromecânico. Pure Water System: Control Cubicle. 2004. IB n.º 6210-DF-B3960-I-R1.