



COMISION DE INTEGRACION ELECTRICA REGIONAL
COMITE NACIONAL DO BRASIL - BRACIER
Área de Generación & Transmisión
Congreso CIER 2000 , Buenos Aires, Nov./2000

BENEFÍCIOS DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO ON-LINE INSTALADO EM
UMA UNIDADE HIDROGERADORA SUBMETIDA AOS EFEITOS DA REAÇÃO
ÁLCALI-AGREGADO

Manutenção de centrais hidráulicas e térmicas

Eduardo Manuel da Mota Silveira CHESF
Adelmo Tabosa Campos CHESF
Carlos Juarez Britto Leite CHESF
Marcos Antônio Valentim Soares CHESF

✉ Rua Delmiro Gouveia, 333
Bongí - 50761-901 Recife
Brasil
☎ +55812293018
Fax - +55812292927
eduardo@chesf.gov.br

PALAVRAS-CHAVE

Turbina, Reação Álcali-Agregado, Monitoramento, UHE Apolônio Sales

RESUMO

Na UHE Apolônio Sales, estão instaladas quatro unidades hidrogeradoras com turbinas Kaplan, potência nominal de 110 MW, cada. As quatro unidades entraram em operação em 1977.

Estas unidades estão sendo afetadas pela expansão volumétrica do concreto. A severidade do problema é tamanha que a unidade número 3 esteve fora de operação desde 1987, retornando à operação em 1997 após extensivos trabalhos de reposicionamento dos componentes embutidos da turbina. Nesta oportunidade foi instalado um sistema de monitoramento cujo objetivo, entre outros, é permitir a convivência segura com o problema da reação álcali-agregado. Uma breve descrição dos trabalhos executados e a experiência com o sistema instalado será apresentada e discutida neste informe técnico.

O sistema envolve o monitoramento das seguintes grandezas:

- folgas entre pás do rotor Kaplan e o aro da câmara do rotor
- entreferro do gerador
- vibração dos mancais
- abertura do distribuidor
- potência ativa do gerador.

O sistema tem permitido o acompanhamento das repercussões das deformações do concreto sobre as partes estacionárias da unidade geradora assim como tem auxiliado na execução dos controle dimensionais da unidade geradora, na medida em que o software em utilização permite traçar com bastante confiabilidade, a partir das grandezas monitoradas, as formas da câmara da roda e do estator com redução dos tempos de máquina parada.

Desta forma, tem sido possível a realização de acompanhamento preciso do entreferro, folgas do aro da câmara do rotor da turbina, vibrações dos mancais e suas repercussões, sem que seja preciso a parada da unidade.

1.0 -INTRODUÇÃO

Dos 10.704 MW da potência total instalada da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, a usina hidrelétrica Apolônio Sales, outrora denominada Moxotó, contribui, nas condições nominais, com 440 MW. As suas quatro unidades geradoras, equipadas com turbinas tipo Kaplan, de 110 MW de potência, operam sob queda nominal de 22,0 m. As quatro unidades entraram em operação em 1977.

A usina, do tipo semi-abrigada, é composta basicamente por dois muros de transição, hall de montagem e os quatro blocos onde estão instaladas as unidades geradoras. Desde os primórdios da operação da usina, comportamentos anormais foram observados, os quais em um primeiro momento foram atribuídos, na sua exclusividade, a deficiências do próprio equipamento. Todavia, posteriormente, confirmou-se que a usina está sendo afetada pela expansão volumétrica do concreto. Este fenômeno denominado Reação Álcali-Agregado (RAA) ocorre em condições particulares e é o produto da reação entre o álcali presente no cimento e substâncias contidas em determinados tipos de agregados utilizados na fabricação do concreto. Tais elementos, em presença de umidade, reagem quimicamente, provocando a expansão do concreto e, por consequência, deformações, deslocamentos relativos e descentragens de componentes das unidades geradoras. A CHESF vem acompanhando e estudando os efeitos da RAA na usina desde 1985, através do monitoramento das estruturas civis, além da implantação de um programa específico de inspeções e medições periódicas nas unidades geradoras. O resultado desses acompanhamentos e estudos permitiu a elaboração de vários trabalhos, os quais estão citados na bibliografia. Particularmente no que diz respeito à unidade 3, que esteve fora de operação no período 12/1987 a 12/1997, a CHESF decidiu realizar uma radical

intervenção visando sua reabilitação. Esta intervenção foi processada através das seguintes ações :

- remoção do concreto na região inferior do pré-distribuidor, circundando o aro da câmara do rotor, com posterior concretagem;
- alívio de tensões das palhetas fixas do pré-distribuidor;
- correção do desnivelamento da unidade;
- correção da circularidade dos principais componentes;
- reposicionamento do centro da unidade;
- instalação de um sistema de monitoramento "on line".

O presente trabalho descreve, sob forma resumida, os trabalhos de reabilitação executados na unidade geradora, focando a seguir, com um nível de detalhamento mais profundo, o sistema de monitoramento nela instalado, onde serão explicitados os benefícios obtidos com a instalação desse sistema. Serão ainda tecidas considerações sobre alterações introduzidas nas bases do estator, durante idêntico trabalho executado na unidade 2.

2.0 – TRABALHOS DE REABILITAÇÃO

2.1 Remoção do concreto

Concluída a fase de medições iniciais, para registro do estado, forma e dimensões das partes embutidas da turbina, começou a fase de remoção do concreto de segundo estágio da base do pré-distribuidor e da região que circunda o aro da câmara do rotor (vide região hachurada do lado esquerdo da FIGURA 1, delimitada entre as elevações 222,724 m e 219,250 m). O concreto foi demolido por fragmentação com rompedores pneumáticos e posterior remoção manual dos detritos. Ao ser atingida a elevação 221.700 m foi possível liberar o anel inferior do distribuidor, o qual foi transportado até o hall de montagem. Ao cabo da etapa de remoção, foi liberado o

aro da câmara do rotor, com a abertura da solda de junção com o tubo de sucção.

2.2 Alívio de tensão das palhetas fixas
Efetivado com a liberação dos vínculos com as nervuras de ligação com a placa base dos chumbadores e das vigas de intertravamento entre as palhetas (ver FIGURA 1). Os deslocamentos, representativos das deformações e proporcionais às tensões, tanto na fase de liberação quanto na fase de contração durante a ressoldagem, foram medidos com um sistema triortogonal. O maior deslocamento foi observado na direção normal à palheta, na fase de liberação, tendo atingido 25,93 mm.

2.3 Nivelamento da unidade
A movimentação assimétrica do concreto provoca o desnivelamento da unidade com reflexos sensíveis em diversos componentes.
A TABELA 1 sumariza os resultados dos trabalhos de nivelamento efetivados na unidade.

Componente	Desnivelamentos (mm)		
	Inicial	Final	Método de Correção
Anel Inferior Distribuidor	4,00	0,96	Reposicionamento
Apoio da Tampa da Turbina	6,63	0,24	Esmerilhamento
Apoio dos macacos	7,60	0,90	Esmerilhamento
Estatador do gerador	6,20	0,56	Remoção calços/usinagem das chapas de deslizamento

TABELA 1

2.4 Correção da circularidade dos principais componentes
A movimentação assimétrica do concreto acima referida, compromete a forma dos componentes embutidos no concreto ou dele dependentes. Desse modo fez-se

necessário controlar e corrigir, quando necessário, a circularidade de componentes da unidade. A TABELA 2 resume os principais controles e correções efetuadas.

Componente	Ovalação diametral (mm)		
	Inicial	Final	Método de Correção
Aro da Câmara do Rotor	14,72	3,33	Tirantes de fixação/Esmerilhamento
Estatador do gerador	Entre 7,4 e 7,9 mm	1,6 mm	Ação de macacos

TABELA 2

A FIGURA 2 espelha as correções efetuadas no aro da câmara do rotor

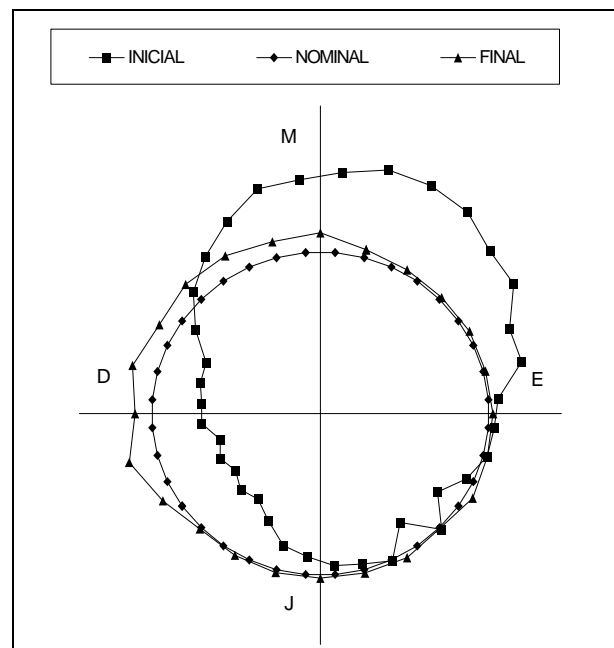


FIGURA 2

2.5 Reposicionamento do centro da unidade
Na definição da nova posição da tampa da turbina, foi levada em consideração a direção dos deslocamentos predominantes do aro da câmara do rotor devido a RAA. Desta forma, a nova posição da tampa, que determina o centro do conjunto girante, foi propositadamente deslocada

no sentido inverso, de modo a permitir maiores deslocamentos futuros para recentragem.

A conjugação do efeito do aumento do diâmetro dos furos por onde passam os parafusos prisioneiros que prendem a tampa ao pré-distribuidor, e a redução do diâmetro do núcleo destes parafusos, juntamente com o deslocamento proposital do centro da tampa, permitirá que, no futuro, a medida que a RAA for evoluindo, seja possível deslocar a tampa até 12,8 mm.

Estabelecida, via fios de prumos, a concentricidade entre a tampa da turbina na posição deslocada e o anel inferior do distribuidor, este também sofreu um deslocamento de 2 mm no mesmo sentido do deslocamento da tampa. Isto determinou, para uma folga radial nominal de 6 mm entre o rotor Kaplan e o aro da câmara do rotor, uma variação de 4 a 8 mm desta folga. Esta folga diferenciada, servirá de contra-flecha e irá equalizando os dois lados à medida que a RAA for evoluindo.

Destaca-se que este desalinhamento de 2 mm entre tampa da turbina e anel inferior do distribuidor, é muito inferior aos 12 mm encontrados na etapa inicial dos trabalhos medido.

O somatório dos deslocamentos citados perfaz um total de 14,8 mm. Mantida a mesma taxa de crescimento do concreto, a unidade poderia operar por um período da ordem de 15 anos, sem a necessidade de uma nova intervenção deste porte.

3- SISTEMA DE MONITORAMENTO

O sistema implantado supervisiona as seguintes grandezas :

- folgas entre as pás do rotor Kaplan e o aro da câmara do rotor;
- entreferro do gerador;
- vibração dos mancais guia superior, intermediário e inferior;
- abertura do distribuidor;
- potência ativa do gerador.

Na FIGURA 3, tela típica do sistema, estão representados os parâmetros monitorados.

É capaz de fornecer informação sobre:

- forma do aro da câmara do rotor;
- forma do estator e do rotor do gerador.

Para sincronização das leituras das grandezas controladas, existe uma marca de referência na superfície do eixo da turbina, no mesmo plano vertical do pólo número 1 do rotor do gerador. A cada giro do eixo o sistema realiza a varredura das leituras das grandezas. Desta forma é possível obter-se leituras sincronizadas de todas as grandezas sob monitoramento

3.1 Medição das folgas entre as pás do rotor Kaplan e o aro da câmara do rotor

Para tal finalidade foram instalados oito transdutores de proximidade montados no aro da câmara do rotor, em um plano correspondente ao eixo de giro das pás do rotor. Os transdutores, do tipo indutivo a prova d'água, são capazes de medir folgas de até 12 mm.

A partir dos sensores os sinais são transmitidos por cabos até uma unidade de alimentação e condicionamento, localizada nas proximidades da porta de acesso ao tubo de sucção. Daí estes sinais vão para a unidade de aquisição de dados instaladas dentro do "air housing" da máquina que por sua vez, após o requerido condicionamento, os envia para a unidade controladora.

3.2 Medição do entreferro

Foram montados oito sensores, igualmente espaçados, do tipo capacitivo, no diâmetro interno do estator, próximos da sua borda superior. Estes sensores são imunes a influência de campos magnéticos, sujeira e vapor de óleo.

Este sistema permite a medição dinâmica da forma do rotor e do estator evitando as paradas programadas para inspeção. Observe-se ainda que as medições realizadas dinamicamente são mais realísticas quando comparadas com aquelas realizadas com a máquina parada.

3.3 Medição de vibração

Em cada um dos três mancais monitorados, foram instalados dois sensores de proximidade capacitivos, defasados entre si de noventa graus, em planos perpendiculares ao eixo.

3.4 Processamento dos sinais

Todos os sinais são processados por uma unidade controladora através de um software específico que disponibiliza diversas curvas que favorecem a análise e interpretação dos resultados. São disponibilizados, entre outras, curvas dos sinais de vibração, formas do rotor do gerador, do estator e do aro da câmara do rotor da turbina. O sistema é bastante amigável permitindo facilmente a configuração dos parâmetros monitorados, ajuste dos níveis de alarme e a periodicidade das leituras.

O software permite ainda o manuseio de grandezas tais como vibração, temperatura, potência ativa, abertura do distribuidor, etc. Além disto o software fornece análise de tendência para qualquer um dos sinais monitorados de sorte a favorecer a elaboração de prognósticos em relação ao comportamento futuro da grandeza selecionada, mantidas as mesmas condições operativas.

4- BENEFÍCIOS DO SISTEMA

4.1 Descrição do caso

A unidade 3, objeto dos trabalhos de reabilitação descritos, ao ser recomissionada, apresentou níveis de vibração, medidos por um sistema com rota de medição periódica via coletor de dados, da ordem de 400 a 500 μm no mancal guia superior, cuja folga é de 500 μm . Este nível apesar de alto estava estabilizado. Na parada que foi efetuada, constatou-se a necessidade de recentrar o estator do gerador. Admite-se que a presença de umidade, com o enchimento da caixa espiral, após estar seca por um período de 10 anos, provocou uma

aceleração da RAA, o que motivou a distorção observada no estator. Notou-se que, após a recentragem, as vibrações apresentaram-se em níveis crescentes, o que, não obstante a temperatura do mancal apresentar-se em valor normal, motivou a parada da unidade. Percebeu-se que os elementos isolantes das sapatas do mancal estavam deteriorados, acarretando a necessidade da sua substituição para evitar que o mancal continuasse cedendo. Até então não havia sido instalado o sistema de monitoramento contínuo da unidade. Com a entrada em funcionamento do sistema, foi possível detectar, com a unidade em operação, uma anomalia na forma do rotor do gerador. Tal desconformidade é amplificada com a aplicação do campo magnético na excitação do gerador, sendo praticamente desprezível a influência da força centrífuga. A FIGURA 4 abaixo mostra a saliência encontrada no rotor do gerador, a qual é mais pronunciada nas proximidades da posição de montante.

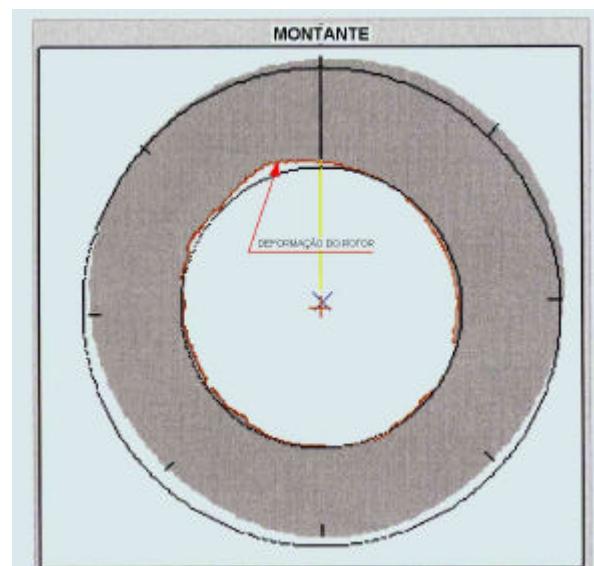


FIGURA 4

Foi decidido substituir este rotor pelo da unidade 2, submetida também a trabalhos de reabilitação. Com a troca, as vibrações, após o balanceamento, caíram e se conservaram estáveis ao longo do

tempo, para valores normais, da ordem 83 μm , amplitude medida pico a pico, como mostra a FIGURA 5.

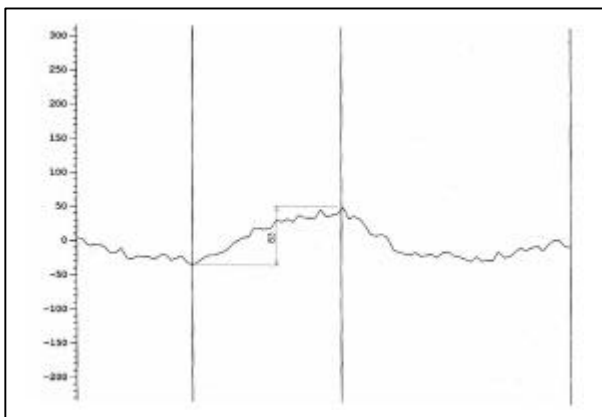


FIGURA 5

O rotor com problema foi objeto de um minucioso programa de medição, para determinação da melhor maneira de corrigir a anomalia. Foi medido o torque de aperto dos tirantes do anel magnético do rotor, tendo todos sido reapertados. Por terem os tirantes estado folgados, o anel magnético se deformou. Para corrigir sua forma, as bases de mais de vinte pólos necessitaram ser usinadas. Com esses serviços as tolerâncias de forma do rotor foram recuperadas.

Além da recuperação do rotor, foram introduzidas melhorias no estator, com o objetivo de facilitar a correção dos deslocamentos e deformações devidas ao problema do concreto. Anteriormente, para efetuar correções desta natureza, era necessário cortar o cordão de solda entre as bases dos pés do estator e as placas de fundação, uma vez que os deslocamentos necessários eram impedidos pela chaveta radial existente entre os pés e a carcaça do estator. Basicamente foram introduzidas as seguintes modificações:

- Substituição da junta soldada por outra parafusada, com dez parafusos axiais montados em furos oblongos feitos em buchas que podem girar em relação à base.

- Para facilitar a movimentação dos pés durante as manutenções, e contribuir para sua fixação durante a operação, em cada uma das faces laterais da base há dois parafusos horizontais.
- Finalmente, o módulo de rigidez torcional dos pés foi reduzido, visando a lhes transferir uma parcela da deformação que seria absorvida pela carcaça do estator.

As duas primeiras modificações, além de permitirem uma significativa redução nos tempos das intervenções, conferem às bases um grau de liberdade incomparavelmente maior do que o do projeto original. A terceira, a redução da rigidez dos pés, diminui a frequência de necessidade das intervenções.

Além do benefício auferido no caso relatado, o sistema de monitoramento propicia as seguintes vantagens :

4.2 - Melhoria no controle da circularidade do rotor.

A medição tradicional era feita de três em três pólos, com a unidade fora do sistema, necessitando cerca de um dia de trabalho. Com o sistema de monitoramento em questão esta medição pode ser feita a qualquer tempo, com a unidade operando, levando-se em conta todos os esforços envolvidos e os noventa pólos, com os resultados disponibilizados de imediato.

4.3 - Leitura do entreferro do gerador

Com o sistema pode ser efetuada em baixa rotação, excitada e com qualquer carga, diferentemente do método tradicional, onde apenas o controle estático era feito. O resultado também é imediato, em contraste com cerca de uma semana de trabalho, prazo praticado para levantamento manual de uma campanha completa de leituras.

4.4- Acompanhamento da folga do rotor Kaplan

Por falta de uma supervisão deste tipo já houve registro na usina, de roçamento das pás do rotor Kaplan no aro da câmara do rotor. O sistema fornece, com a unidade em operação, os diversos valores dessa folga, de modo que fica descartada a possibilidade de repetição do problema do roçamento.

5- CONCLUSÃO

A longo prazo, pode-se considerar que a instalação do sistema trará como reflexo :

- Aumento da confiabilidade operacional, uma vez que acompanha e dá alarme quando as grandezas monitoradas atingem valores críticos.
- Aumenta a taxa de disponibilidade do equipamento, já que as intervenções para manutenção programada têm suas durações reduzidas, levando em conta que várias medições são adquiridas continuamente pelo sistema. Além disso, o número de intervenções pode ser diminuído, considerando que os parâmetros críticos estão disponíveis, podendo ser acompanhados sem interrupções.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CHESF - CAMPOS, ADELMO, T. Relatório Técnico - Etapa inicial dos trabalhos - Usina Hidrelétrica Apolônio Sales - Unidade 3
- (2) CHESF- CAMPOS, ADELMO, T. Relatório Técnico dos Serviços de desmontagem e Remontagem dos Componentes Embutidos da Turbina
- (3) CHESF- DEG/DEEM Especificações Técnicas - Recuperação da unidade 3 - Usina Hidrelétrica Apolônio Sales.
- (4) SILVEIRA R.S, Efeito da Expansão do Concreto da Casa de Força Sobre as Maquinas da Usina Apolônio Sales- IX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - 1987
- (5) CAVALCANTI, ALBERTO,J.C.T.- Efeitos da Abertura de Juntas de Expansão na Usina Apolônio Sales, Sobre as Unidades Geradoras -XII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - 1993
- (6) SILVEIRA, JOÃO,F.A. - AAR at Moxotó - Ten Years of Monitoring and Remedial Measures- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions Hydroelectric Plants and Dams – Chattanooga, Tennessee, October – 22-27,1995
- (7) WANDERLEY, EVANDRO GASTÃO – Solução inédita para reabilitação de uma unidade geradora da UHE Apolônio Sales afetada por reação Álcali-Agregado no concreto - II SEMASE - 9 a 13 de novembro de 1998.

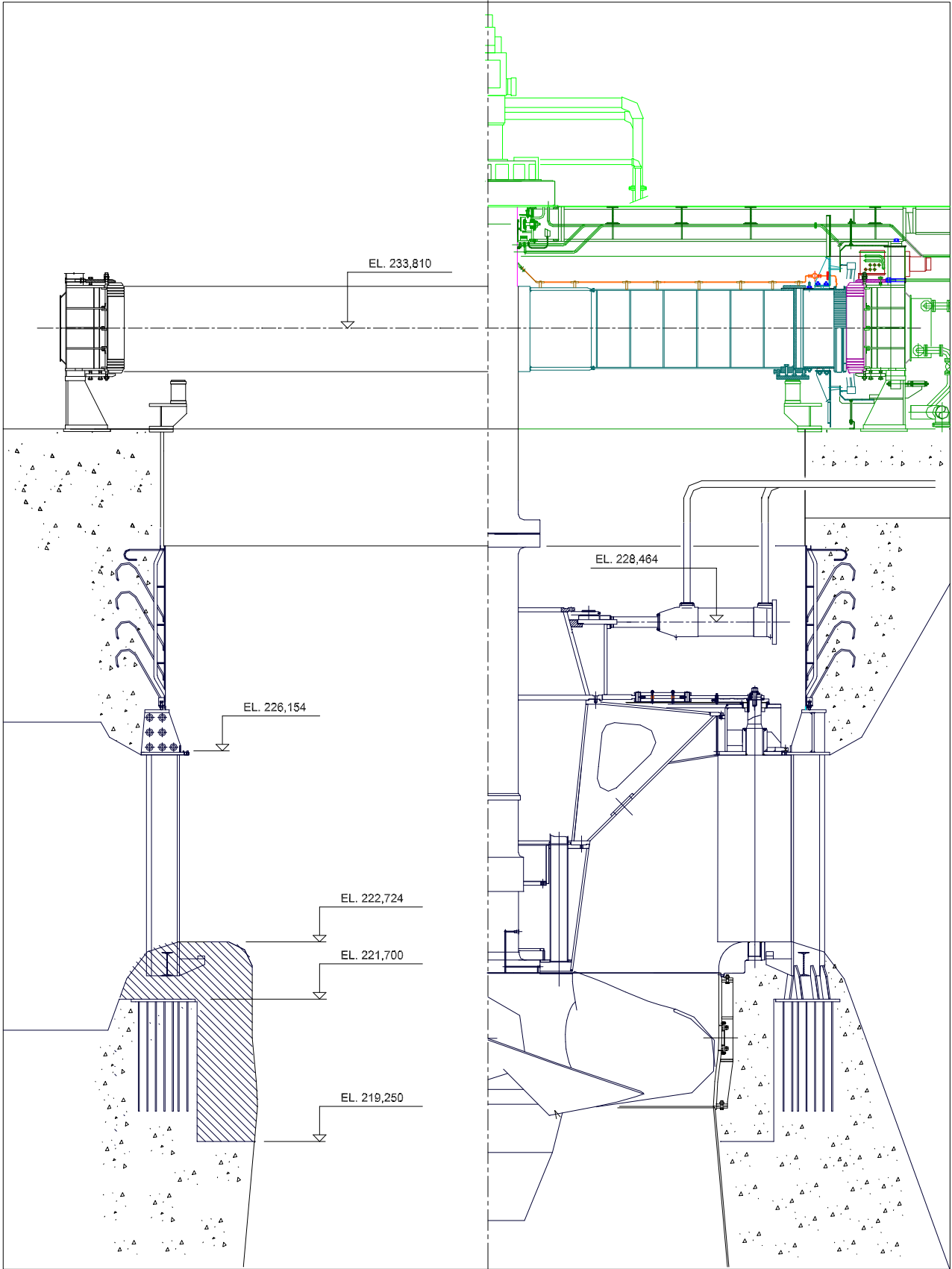


FIGURA 1

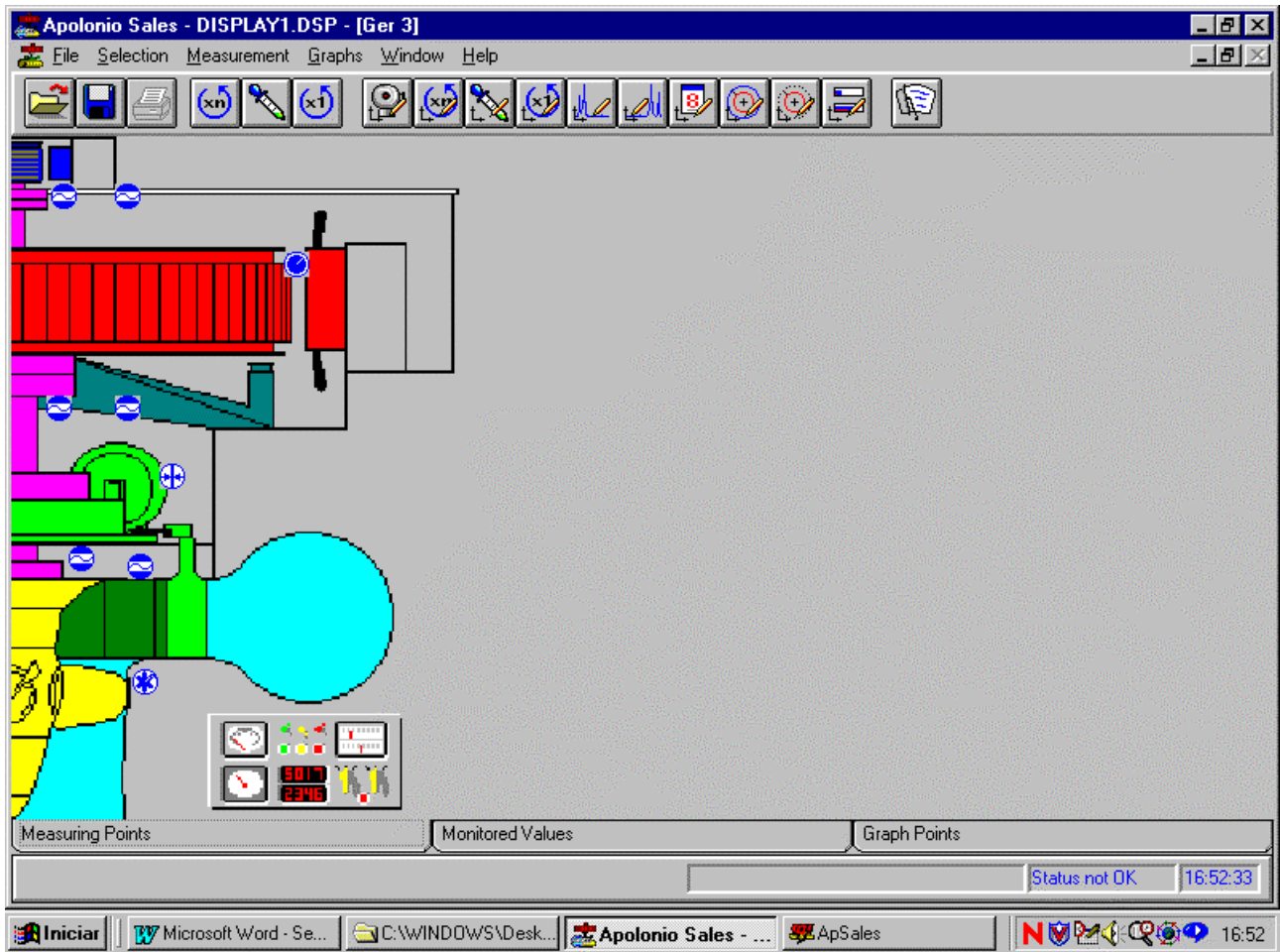


FIGURA 3