

CONVENCION INTERNACIONAL DE LA INGENIERIA EN CUBA

CIIC 2010

Evento: VI Conferencia de Ingeniería Mecánica, Eléctrica e Industrial.

CIMEI 2010

TÍTULO: AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DE GERADORES DE USINAS HIDROELÉTRICAS ATRAVÉS DA AUTOMACÃO DO PROCESSO DE LIMPEZA DOS TROCADORES DE CALOR DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO

**AUTORES: Eng^o. Antônio Dimael de Almeida Lopes
ITEGAM/UFPA**

E-mail: antoniodimael@bol.com.br

**Prof. Dr. Emanuel Negrão Macêdo
Universidade Federal do Pará (UFPA)**

E-mail: enegrao@ufpa.br

**Eng^o. Macêdo Santos de Oliveira
ITEGAM/UFPA**

E-mail: macedo_oliveira@hotmail.com

**Eng^o. Samuel Alex Freire de Souza
ITEGAM/UFPA**

E-mail: gosamuelalex@hotmail.com.br

RESUMO: Esse artigo apresenta uma aplicação de sistema automatizado para realização do processo de remoção da incrustação interna nas paredes dos tubos de trocadores de calor, tipo radiador, do sistema de resfriamento de geradores de usinas hidroelétricas, sem a necessidade de abrir os trocadores e nem a utilização de produtos químicos, eliminando assim as paradas para manutenção, aumentando a eficiência da troca térmica, conseqüentemente a eficiência total do equipamento e minimizando possíveis impactos ambientais. Esta alteração aumenta a vida útil dos geradores elétricos, pois assim como na maioria das máquinas industriais estes, mas especificamente falando os seus enrolamentos, sofrem com temperaturas de trabalho elevadas e com a aplicação deste sistema automatizado foi reduzida a temperatura sensivelmente, devido à melhor qualidade do processo de remoção dos depósitos de materiais impregnados nas paredes internas dos tubos.

Palavras chaves: Gerador, Incrustação, Sistema Automatizado

AGRADECIMENTOS: Ao ITEGAM - Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia pela oportunidade do convênio com a Universidade Federal do Pará - UFPA através do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará (UFPA).

CONVENCION INTERNACIONAL DE LA INGENIERIA EN CUBA

CIIC 2010

Evento: VI Conferencia de Ingeniería Mecánica, Eléctrica e Industrial.

CIMEI 2010

**TÍTULO: AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DE GERADORES DE USINAS
HIDROELÉTRICAS ATRAVÉS DA AUTOMACÃO DO PROCESSO DE LIMPEZA
DOS TROCADORES DE CALOR DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO**

**AUTORES: Eng^o. Antônio Dimael de Almeida Lopes
ITEGAM/UFPA**

E-mail: antoniodimael@bol.com.br

**Prof. Dr. Emanuel Negrão Macêdo
Universidade Federal do Pará (UFPA)**

E-mail: enegrão@ufpa.br

**Eng^o. Macêdo Santos de Oliveira
ITEGAM/UFPA**

E-mail: macedo_oliveira@hotmail.com

**Eng^o. Samuel Alex Freire de Souza
ITEGAM/UFPA**

E-mail: gosamuelalex@hotmail.com.br

ABSTRACT: This paper presents the application of an automated system to perform the removal process of internal fouling in pipes, heat exchangers, type radiator, the cooling system of hydroelectric generators, without the need to open the changer or the use of chemicals, eliminating downtime, increasing the efficiency of heat transfer and therefore the efficiency of the equipment and its useful life because this life in generators, more specifically speaking, in its winding, is closely linked to working temperature and that with the automated system this temperature was reduced due to better quality of the process of removing deposits of material impregnated on the inner walls of the tubes.

Key-Words: Generator, Embossing, Automated

AGRADECIMENTOS: Ao ITEGAM - Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia pela oportunidade do convênio com a Universidade Federal do Pará - UFPA através do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará (UFPA).

1. INTRODUÇÃO

No atual nível de desenvolvimento tecnológico e social que a humanidade se encontra fica difícil, pra não falar impossível, imaginar como o ser humano viveria nos dias de hoje sem energia elétrica. De uma forma geral a matriz energética mundial ainda é baseada em combustíveis fósseis e na geração de energia elétrica não é diferente, salvo alguns países a grande maioria ainda se utiliza de derivados de petróleo ou carvão para este fim, mas a preocupação latente com o aquecimento global devido as emissões de CO₂ proveniente da queima destes combustíveis fósseis, algumas nações na busca por alternativas num primeiro momento econômico motivados pelas incertezas políticas dos países exportadores que causa as oscilações do preço internacional do petróleo, acabaram por introduzir em sua matriz o uso da geração hidráulica que em comparação com as termoelétricas movidas a derivados de petróleo ou carvão é muito menos agressivo ao meio ambiente no que diz respeito as emissões atmosféricas.

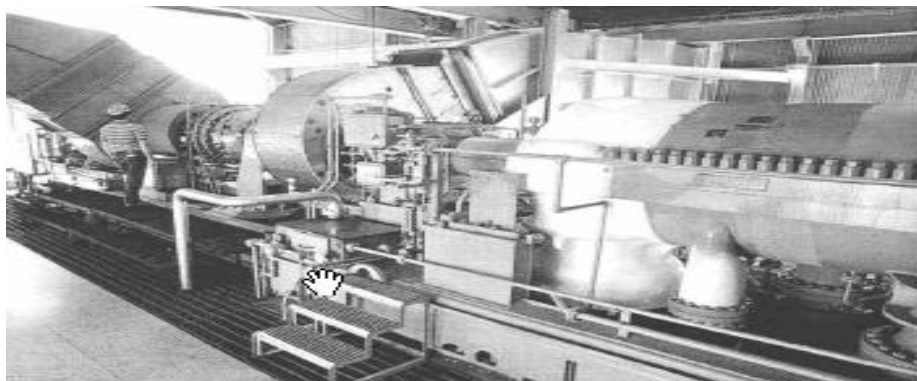


Figura 1: Típica máquina térmica destinada a geração de energia elétrica

Contudo a idéia de utilizar energia hidráulica é muito antiga foi uma das primeiras alternativas de substituição do trabalho animal e escravo, particularmente para bombeamento de água e moagem de grãos. Esta tecnologia tinha como vantagens, as seguintes características: disponibilidade de recursos, facilidade de aproveitamento e, principalmente, seu caráter renovável. A transformação de energia hidráulica em energia elétrica se da seguinte forma: primeiramente a energia potencial gravitacional é convertida em energia cinética que e convertida em energia mecânica e finalmente em energia elétrica. A hidroelétrica ao contrário das demais fontes renováveis representa uma parcela significativa da matriz energética mundial e possui tecnologias de aproveitamento devidamente consolidadas. Atualmente, é a

principal fonte geradora de energia elétrica para diversos países e responde por cerca de 17.% de toda a eletricidade gerada no mundo. No Brasil o cenário é um pouco diferente, pois a contribuição da energia hidráulica na matriz energética nacional é da ordem de 79 %, isto se explica pelas políticas governamentais aliadas ao grande potencial hídrico do país. Apesar do aumento de outras fontes principalmente a cana de açúcar e apesar das restrições socioeconômicas e ambientais de projetos hidrelétricos podemos acreditar que a energia hidráulica continuará sendo, por mais algum tempo, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil. Abaixo um quadro que demonstra uma comparação entre a matriz mundial e a brasileira.

	Mundo 06/2003	Brasil 12/2005
Petróleo	34,9	39,7
Carvão	23,5	6,5
Gás Natural	21,1	8,7
Combustível Renovável e Resíduos	11,4	29,1
Energia Nuclear	6,8	1,5
Hidrelétrica	2,3	14,5

*Fonte: Agência Internacional de Petróleo e Ministério das Minas e Energia.
Elaboração: DIEESE.*

Figura 2: Matriz Energética Mundial e do Brasil, em %

2. REVISÃO BIBLIGRÁFICA

As usinas Hidrelétricas geralmente se utilizam de uns sistemas de resfriamento para os trocadores de calor do tipo aberto, ou seja, a água para este fim é captada diretamente do reservatório á montante, de forma bruta, sem nenhum tratamento químico e é devolvida ao rio á jusante da usina, isto se justifica devido ao volume diário utilizado, que torna oneroso e difícil o tratamento da água utilizada neste processo. Na impossibilidade de se realizar este tratamento e devido às características da água, podem ocorrer os fenômenos de corrosão e/ou incrustação, a corrosão é um problema muito grave, pois como se sabe esta pode causar inúmeras falhas de processo por outro lado a incrustação é um problema, do ponto de vista da transferência de calor em geral, pois os depósitos que se acumulam na superfície interna dos tubos ou placas dos permutadores de calor diminuem a

condutibilidade térmica dos materiais de fabricação dos tubos e das placas prejudicando a eficiência da troca térmica.

Um trocador de calor é um dispositivo que efetua a transmissão de calor de um fluido para outro. O tipo mais simples de trocador de calor é um recipiente no qual um fluido quente e um frio são misturados diretamente. Num sistema como esse ambos os fluidos atingem a mesma temperatura final, e a quantidade de calor transferida pode ser estimada igualando-se a energia perdida pelo o fluido mais quente à energia ganha pelo mais frio. Dessuperaquecedores, condensadores de jato e aquecedores de água de alimentação abertos são exemplos de equipamentos de troca de calor que empregam a mistura direta dos fluidos. São mais comuns, no entanto, os trocadores de calor nos quais um fluido é separado do outro por uma parede ou partição através da qual passa o calor. Esses tipos de trocadores de calor são chamados de recuperadores. Existem muitas formas desses equipamentos, indo desde o simples tubo-dentro-de-tubo, com uns poucos metros quadrados de superfície de troca de calor, até os complexos condesadores e evaporadores de superfície, com milhares de metros quadrados de superfície de troca de calor. Entre esses extremos há uma vasta gama de trocadores comuns do tipo carcaça e tubos. Essas unidades são largamente empregadas porque podem ser construídas com grandes superfícies de troca térmica num volume relativamente pequeno, podem ser fabricadas de ligas para reduzir a corrosão, e são adequadas para aquecimento, resfriamento, evaporação ou condensação de todas as espécies de fluido. (Kreith, 1997).

Os trocadores de calor ou Permutadores de calor tem a finalidade de transferir calor de um fluido para o outro. Tipicamente, são usados para refrigeração de fluidos, sendo os mais comuns, óleo e água e são construídos em tubos ou placas, onde, o fluido a ser refrigerado circula ao redor da área do tubo ou por um lado das placas e o fluido quente circula pelo outro lado. Os materiais mais utilizados para a construção de trocadores de calor são o cobre e alumínio, mas podem ser utilizados outros tipos de materiais para podermos adequar ao fluido, ou seja, o material não sofrer corrosão devido as características do fluido. A eficiência de um trocador de calor depende principalmente: Do material de construção da geometria e das características do fluido, a problemática destes sistemas são as incrustações provenientes dos próprios fluidos, estas incrustações causam inconvenientes de manutenção e operação diminuindo a produtividade de equipamentos que

dependem destes trocadores. Veremos uma forma alternativa de combater este problema em trocadores de calor que são utilizados em sistemas de resfriamento de usinas hidroelétricas.

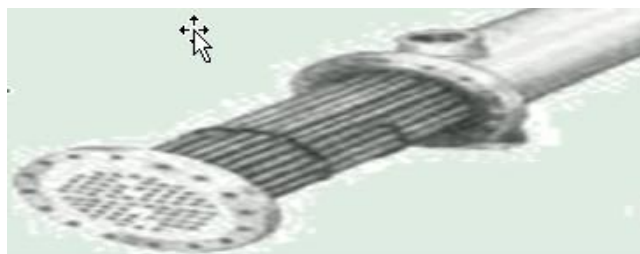


Figura 3: Trocador de calor casco e tubo

Agora será analisado a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de eliminação de incrustação em trocadores de calor de uma Unidade Geradora de Energia Hidráulica localizada na Amazônia, que em virtude da qualidade da água de seu reservatório tinha-se a necessidade de se parar esta máquina periodicamente para realizar limpeza manual dos feixes tubulares destes trocadores indisponibilizando 50 Mw de eletricidade no tempo que variava de 4 a 6 horas em um sistema que tinha uma demanda de 900Mw, ou seja, aproximadamente 5% do total.

Levantamento de dados e estudo do problema:

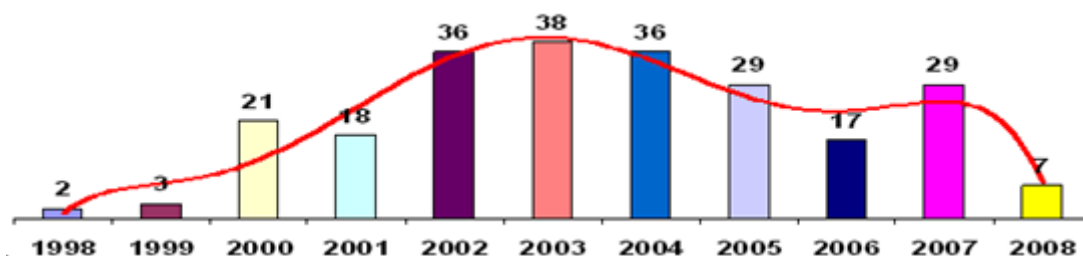


Figura 4: Quantidade de intervenções anuais de 1998 a 2008

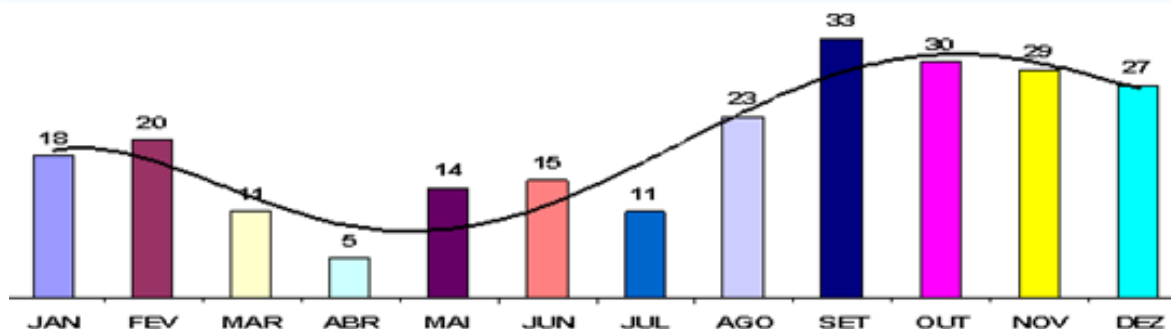


Figura 5: Quantidade de intervenções média mensal de 1998 a 2008

Abaixo será mostrado a tabela1 que quantifica os custos de manutenção e perdas de produção no periodo de 1998 a 2008, isto para todas as máquinas, observa-se então qual o motivo para instalação na máquina 05.

HISTÓRICO DE LIMPEZAS

CUSTO MANUTENÇÃO COM LIMPEZA CONVENCIONAL - 1998 ~2008						
MAQUINA	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	TOTAL
HORA EXTRA	13605	20407	33394	20407	58130	145943
MWH	880000	1240000	2120000	1320000	3600000	9160000
CLORO	93590	93590	93590	93590	93590	467950
TOTAL	987195	1353997	2246984	1433997	3751720	9773893

Tabela 1: Custos com o procedimento tradicional, valores em reais (R\$)

Nesta tabela 2 faz-se uma perspectiva de retorno do investimento novamente analisando as cinco maquinas e observa-se que realmente a maquina de número cinco é a que em mais rapido tempo dará retorno ao investimento.

AMORTIZAÇÃO DO INVESTIMENTO						
MAQUINA	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	TOTAL
CUSTO LIMPEZA	987195	1353997	2246984	1433997	3751720	9773893
RETORNO ANUAL	89745	123091	204271	130363	341065	888536
RETORNO MENSAL	7479	10258	17023	10864	28422	74045
VALOR SISTEMA	150000	150000	150000	150000	150000	750000
RETORNO INVESTIMENTO (MESES)	20	15	9	14	5	10

Tabela 2: Retorno de investimentos, valores em reais (R\$).

3. METODOLOGIA

3.1 Função dos trocadores de calor nesta máquina:

Manter a temperatura do ar quente do interior do gerador dentro da faixa especificada pelo fabricante, para garantir o máximo desempenho e produtividade.

3.2 Princípio de funcionamento do trocador estudado:

O trocador de calor que é objeto do estudo possui seu feixe tubular composto por 87 tubos divididos quatro passes, ou seja, a água entra pela parte inferior em temperatura ambiente e passa quatro vezes dentro do trocador como representado abaixo, o fluido a ser refrigerado é o ar que anteriormente a passagem no sentido transversal do trocador realizou o processo de transferência de calor com o rotor do equipamento e por isso necessita ser resfriado para retornar e realizar o processo novamente de troca térmica com o gerador de energia mantendo sua temperatura dentro dos parâmetros operacionais.

3.3 Metodologia de limpeza tradicional:

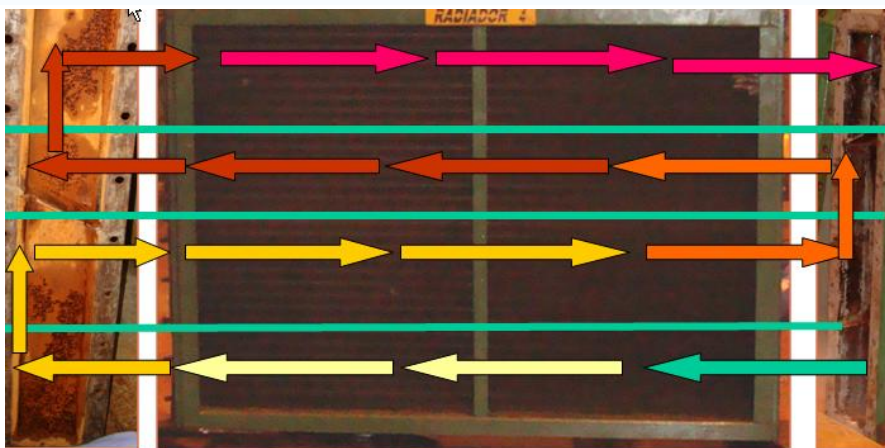


Figura 6: Representação do fluxo de água dentro do trocador.

3.4 Metodologia do processo tradicional:

- Equipamento indisponível por no mínimo 04 horas.
- Mão de obra envolvido: 10 técnicos.
- Horário de limpeza: período noturno e em hora extra, devido a disponibilidade do equipamento.
 - Elevado desgaste físico
 - Total de trocadores 08 por gerador.
 - Total de 87 tubos por trocador.
 - Método de limpeza: varetamento manual.
 - Temperatura ambiente: acima de 40°C.



Figura 7: Procedimento de limpeza manual.



Figura 8: Procedimento de limpeza manual.

Observa-se que além de uma perda econômica existe também um elevado problema ergonômico para os profissionais envolvidos no procedimento.

3.5 Metodologias de limpeza pelo sistema automatizado:

O sistema proposto realizará o processo de desincrustação dos trocadores de calor através de pequenas escovas de nylon que são montadas com uma interferência de 1 mm no interior de cada um dos 87 tubos do trocador e estas num período determinado serão carregadas pelo fluxo da própria água responsável

pela troca térmica, uma hora para uma extremidade outrora para a outra extremidade do tubo, e este movimento se dará pela inversão do fluxo, entrada para saída e saída para entrada, graças a uma válvula automática montada na tubulação principal do sistema de resfriamento, esta recebe um comando do painel elétrico que é dotado de reles e timer que em conjunto controlam o tempo entre reversões e o próprio tempo das reversões.

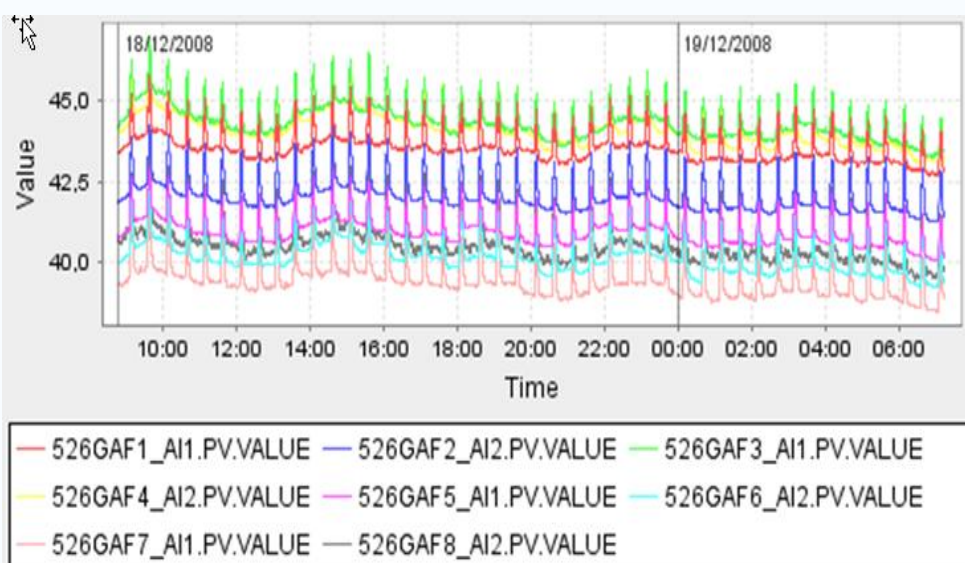
4. Análises dos Resultados:

Será mostrado então o comportamento do equipamento depois da instalação, os resultados técnicos e econômicos do projeto bem como suas vantagens e desvantagens.

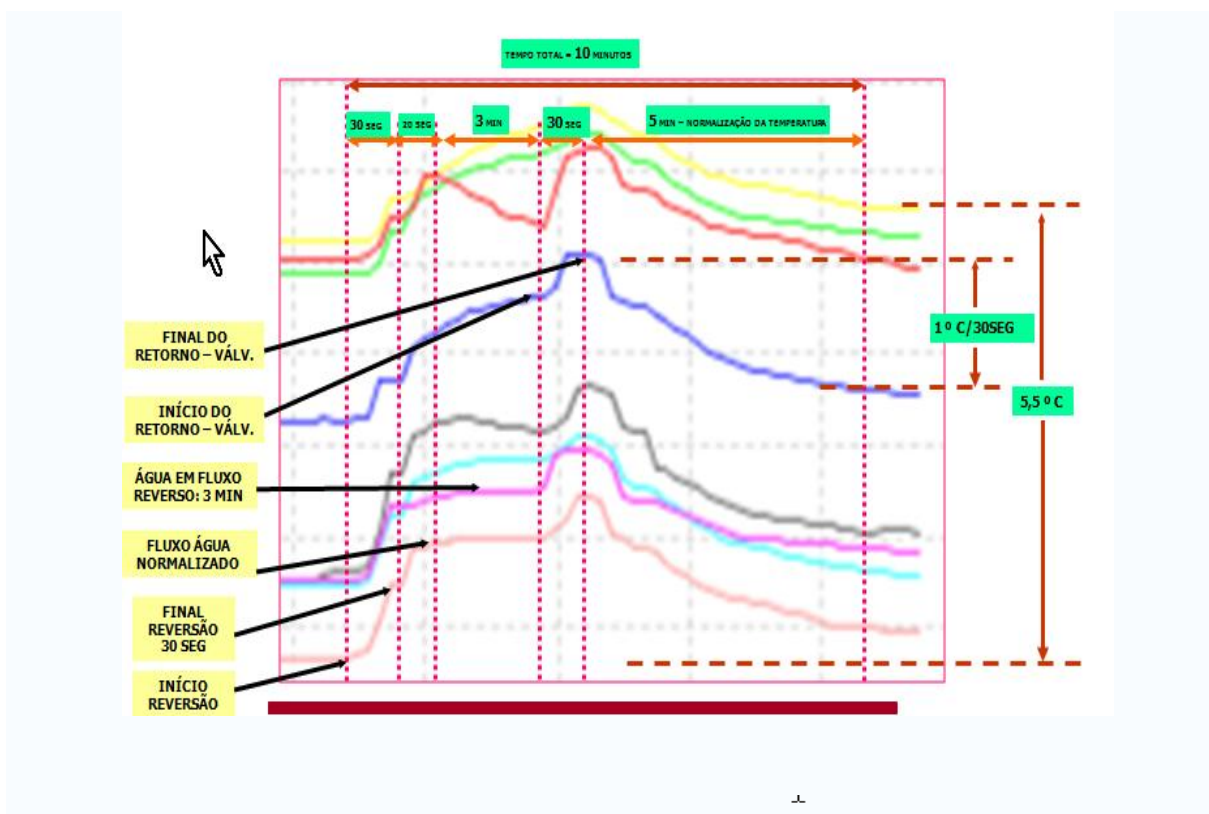
Esta imagem foi capturada da tela do programa de supervisão de temperatura dos trocadores depois da instalação, esta monitoração ocorreu num período de 10:00 hr da manhã de um dia as 06:00 hr da manhã do outro dia.

Observa-se que a temperatura manteve-se estável com variações apenas relacionadas a demanda de potencia da maquina e um pico de temperatura a cada duas horas, este pico se dá no instante em que a válvula inverte o sentido do fluxo, veja que este é um tempo mínimo que será mostrado em detalhes na próxima tela.

Na tela abaixo esta mostrado em detalhes o pico mencionado anteriormente.



Abaixo outra tela do sistema de monitoramento que mostra a evolução durante o período de um mês após a instalação do sistema. Nota-se uma tendência de queda de temperatura de ar quente, ou seja, um aumento de eficiência dos trocadores devido às sucessivas reversões e deslizamento das escovas dentro dos tubos causando um arraste do material depositado dentro destes.



5. Conclusão:

O sistema de limpeza automática de trocadores de calor do gerador da unidade 05 foi instalado, conforme cronograma pré-estabelecido, automatizando o processo de limpeza dos Radiadores.

Foi evidenciado um aumento da eficiência de troca térmica no gerador da UGH 05, através da redução da temperatura do ar quente em 10°C aproximadamente.

Foi verificada uma redução de temperatura no ar de saída dos Radiadores em aproximadamente 11°C . Notou-se também que a relação de troca térmica entre os sistemas de resfriamento da máquina 05 supera de 27% a 34% em relação as outras UGH's.

Considerando os gastos com máquina parada, uso de cloro e hora extra, tomando como média os últimos dez anos, o retorno do investimento na unidade 05 ocorrerá em cinco meses. Utilizando-se dos mesmos dados pode-se prever que o

retorno do investimento será de nove meses para máquina 03, quatorze meses para máquina 04, quinze meses para máquina 02 e vinte meses para máquina 01.

Com a redução da temperatura do ar de resfriamento do gerador em 10°C, tende-se a aumentar a vida útil deste.

Com a instalação do sistema de limpeza automático na máquina 05 foram eliminados o uso de Hipoclorito de Sódio (Cloro) e seus possíveis impactos ambientais, Horas Extras e possíveis problemas ocupacionais dos colaboradores envolvidos no processo de limpeza manual.

Em função de não haver mais a necessidade de intervir no equipamento, para efetuar limpeza dos radiadores, levando-se em consideração à média dos últimos dez anos, houve aumento de disponibilidade do equipamento de 0,43%(15,66 horas) durante os cinco meses de sistema instalado.

6. Referências Bibliográficas

- [1] Braga Filho, W. (2004). Transmissão de Calor. Rio de Janeiro: LTC.
- [2] Gentil, V. (2003). Corrosao 4 edicao. Rio de Janeiro: LTC.
- [3] Incropera, F. P., & Witt, D. P. (2003). Fundamentos de Transferencia de Calor e Massa. Rio de Janeiro: LTC.
- [5] Rohsenow, W. M., Hartnett, J. P., & Cho, Y. I. (1998). Handbook of Heat Transfer. New York: McGraw-Hill.
- [6] Benett, Carroll Osborn. (1978). Fenomenos de transporte de quantidade de movimento, calor e massa. São Paulo: McGraw-Hill.
- [7] Kreith, F. (1997). Principio da Transmissão de Calor. In: F. Kreith, *Principio da Transmissão de Calor* (3a ed., p. 44). São Paulo: Edgard Blucher Ltda.