



PROLONGANDO A VIDA ÚTIL DE TROCADORES DE CALOR REVERSÍVEIS - RHX¹

Ronaldo Fonseca²

Antonio Tarciso S. Cabral³

Resumo

A Praxair é uma das três maiores empresas de gases industriais do mundo, com atuação em mais de 40 países. No Brasil, a Praxair é a controladora da White Martins, maior empresa de gases industriais da América do Sul, presente em nove países do continente e em toda a indústria siderúrgica brasileira, seja operando e fornecendo os produtos das plantas de separação dos gases do ar ou outros produtos e serviços para todos os processos siderúrgicos. Além de tecnologias de produção dos gases atmosféricos, a White Martins também atua na produção de gás carbônico, acetileno, hidrogênio, gases especiais e medicinais, misturas para soldagem, cilindros de aço sem costura, transporte e armazenamento de gases, equipamentos para medição e controle de injeção de gases, seguindo os mais rígidos padrões de segurança e de qualidade. O presente trabalho visa descrever as modificações, ganhos de confiabilidade e disponibilidade obtidos com a implementação de sistemas de controle operacional dos RHX, equipamentos comumente encontrados nas plantas de separação de ar, que permitiram melhor monitoração e aumento da vida útil destes trocadores e consequentemente da pureza dos produtos fornecidos para fabricação de aços de alta qualidade.

Palavras-chave: Confiabilidade; Trocadores de calor; Manutenção.

EXTENDING LIFE OF REVERSIBLE HEAT EXCHANGERS RHX

Abstract

Praxair is one of the three largest industrial gases companies worldwide, with operations in over 40 countries. In Brazil, Praxair is the owner of White Martins, the largest industrial gases company in South America, present in nine countries on the continent and throughout the Brazilian steel industry, operating and supplying products from plants for separation of air gases or other products and services for all steelmaking processes. In addition to technologies of production of atmospheric gases, White Martins includes the production of carbon dioxide, acetylene, hydrogen, specialty and health & care gases, mixtures for welding, gas seamless steel cylinders, storage and gases transportation, equipment for measurement and control of gas injection, following the strictest standards of safety and quality. This paper describe the improvements, availability and reliability gains achieved through implementation of operational control systems of RHX, equipment commonly found in air separation plants, which allowed better monitoring and increasing the useful life of these heat exchangers and to keep the purity of the products supplied for the manufacture of high quality steels.

Key words: Reliability; Heat exchangers; Maintenance.

¹ *Contribuição técnica ao 31º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 25º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 17 a 20 de agosto de 2010, Foz do Iguaçu, PR*

² *Engenheiro Mecânico – Gerente de Produção da Usina de Líquidos da White Martins de Ipatinga.*

³ *Engenheiro Eletricista – Gerente de Produção da Usina de Líquidos da White de Volta Redonda*



1 INTRODUÇÃO

As plantas de separação dos gases atmosféricos, que não possuem sistema de limpeza e desumidificação do ar do tipo vasos pré purificadores com molecular sieves, utilizam trocadores de calor reversíveis, também conhecidos como RHX. Este sistema de trocadores são de elevado custo de aquisição e de maior complexidade de operacional.

Tratando especificamente destes trocadores, que são o objeto deste trabalho, os históricos operacionais apontam a ocorrência de muitas falhas, que na maioria da vezes não podem ser associadas ao fim de vida útil dos trocadores. As constantes mudanças de temperatura, as falhas de equipamentos periféricos, os erros operacionais e as eventuais paradas prolongadas e as de curta duração, principalmente por variação do fornecimento de energia de energia, os submetem a uma condição operacional severa, que reflete diretamente na confiabilidade da planta devido a contaminação do oxigênio ou nitrogênio produzido. Quando a contaminação dos gases ocorre, a alternativa para eliminá-la é o reparo por meio do bloqueio de passes de um ou mais trocadores, o que reduz a sua eficiência de operação, ou a substituição por elemento(s) novo(s). Em ambas opções, os custos são sempre altos e inevitáveis, diante da exigência de fornecimento de oxigênio em alta pureza para a fabricação de aços de alta qualidade.

Buscando obter maior flexibilidade operacional, maior garantia de alta pureza dos produtos fornecidos, redução de custos e disponibilidade das plantas, foram implementados sistemas de controle e monitoração destes trocadores, treinamento de pessoal de operação e manutenção, desenvolvimento de novos fornecedores de kits de vedação e de válvulas e manutenções programadas, que em conjunto aumentaram significativamente a vida útil do equipamento e melhor uso do ativo. No decorrer deste trabalho serão abordadas as melhorias implantadas.

2 TROCADORES DE CALOR - RHX

2.1 *Brazed Aluminum Heat Exchange* – BAHX

É o tipo de trocador mais comumente utilizado em processos criogênicos, pois é compacto, consegue alta eficiência de troca térmica com menor espaço e custo se comparado com outros tipos de trocadores existentes no mercado. Estes trocadores podem ser utilizados para propiciar a troca de calor de até mais de cinco correntes simultaneamente.

A Figura 1 ilustra a composição básica de um BAHX típico. O tipo de plate fin; perfurado, liso ou serrado, o número de passagens e o comprimento do BAHX definem a performance de troca térmica requerida.

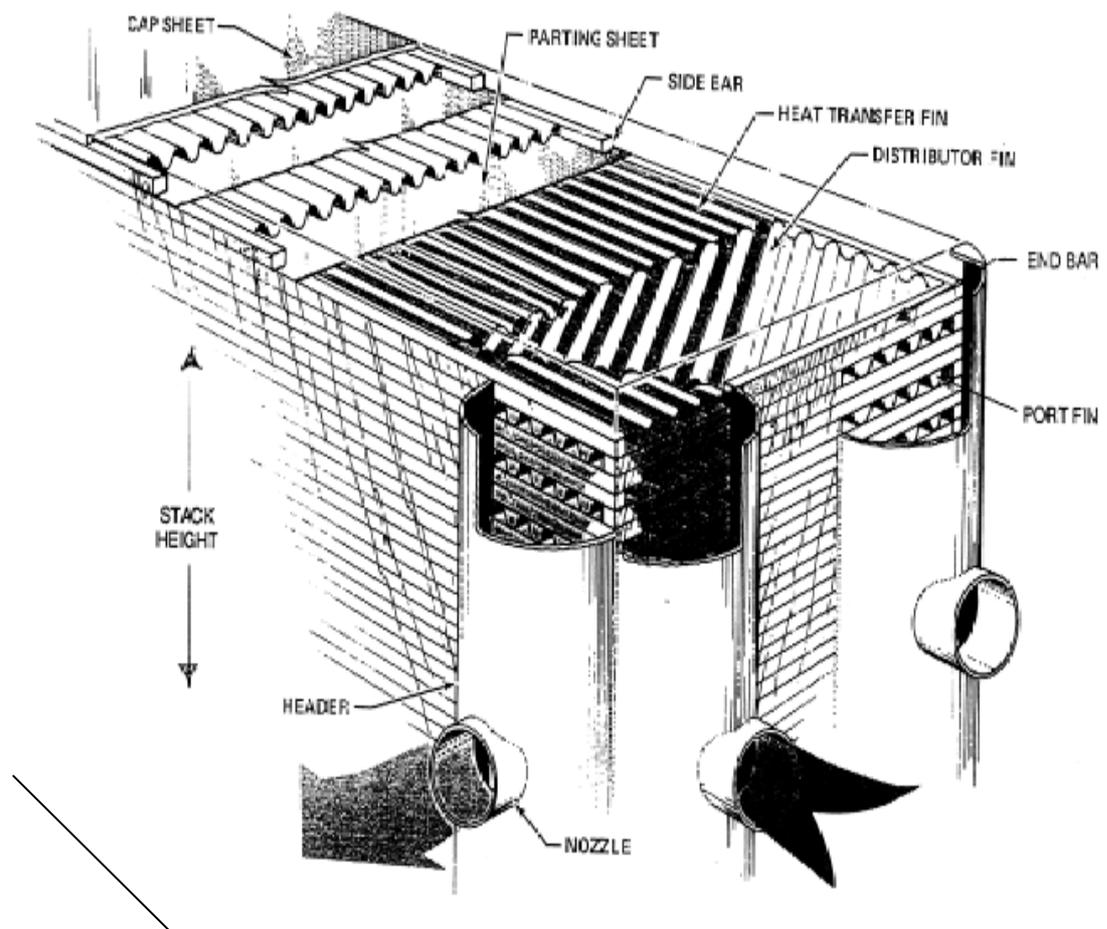


Figura 1. Composição básica de um BAHX.

2.2 Princípio de Operação dos Trocadores de Calor Reversíveis

No processo de separação do ar atmosférico a etapa de purificação do ar é fundamental para a normalidade de operação e obtenção dos produtos. O objetivo principal pelo qual a umidade (água) e o CO₂ devem ser removidos do ar de processo é que estes compostos possuem seus pontos de solidificação muito acima das temperaturas criogênicas, o que acarretaria obstrução das passagens dos gases no processo. Os trocadores também efetuam a remoção de grande parte de hidrocarbonetos que trazem riscos de explosão, quando concentrados em índices elevados no condensador principal, onde se tem oxigênio de alta pureza.

No RHX o ar utilizado no processo de separação é purificado e resfriado durante a troca de calor com as correntes de produtos frios, oxigênio e nitrogênio puro e waste, provenientes das colunas de destilação. Enquanto o ar é resfriado à temperatura próxima a de liquefação, estas correntes são aquecidas à temperatura ambiente, para após serem comprimidas e utilizadas no processo siderúrgico.

Para evitar que a passagem de ar seja obstruída em pouco tempo de operação, os ramais de nitrogênio waste e de ar são revertidos automaticamente através de um temporizador que comanda a abertura e o fechamento das válvulas de entrada dos RHX (Figura 3).



2.2.1 Processo de troca de passes

- O ar entra no RHX pelo passe 2;
- o ar ao se resfriar aquece os gases das outras correntes. Neste processo de resfriamento, as impurezas contidas no ar (H_2O , CO_2 e hidrocarbonetos pesados) se solidificam e ficam retidas nos passes dos trocadores;
- quando um tempo de operação pré-determinado é atingido, normalmente 10 minutos, o passe 2 está cheio de impurezas solidificadas, quando então deve ser iniciado a troca dos passes;
- as válvulas #1, #2, #3 e #4 se fecham e as válvulas #5, #6, #7 e #8 se abrem. Este processo é simultâneo;
- os passes de ar e de waste são trocados, o ar flui pelo passe 1 e o waste pelo passe 2;
- o nitrogênio waste, com pressão menor do que o ar, sublima as impurezas solidificadas e as arrastam para a atmosfera limpando o passe 2.

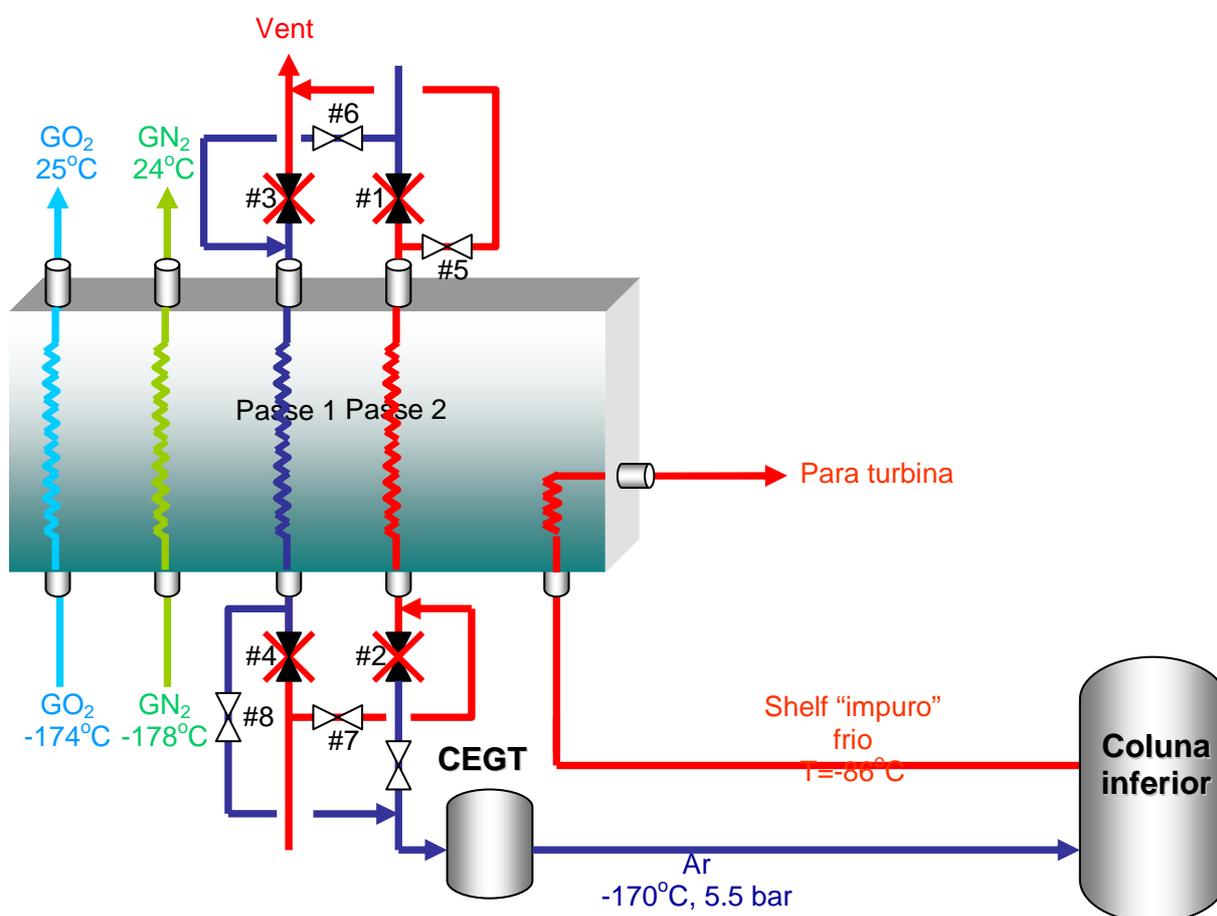


Figura 3. Fluxograma de operação de um RHX.

2.3 Princípio da Purificação do Ar de Processo

A uma dada temperatura, a pressão parcial de um componente (por exemplo a água ou CO_2), é menor ou igual à sua pressão de vapor em uma mistura, podendo-se obter o equilíbrio do componente em duas fases, vapor e líquido ou vapor e sólido, de acordo com a temperatura no dado instante. Na saída do compressor de ar, após o último cooler, o ar está saturado com água e quando resfriado na troca térmica,



com os produtos em contra corrente provenientes da coluna superior, a pressão parcial de vapor d'água diminui e de acordo com a curva de pressão de vapor, condensa-se entre 25°C e 0°C e solidifica-se quando atinge a temperatura de 0°C.

Na saída do compressor de ar, a quantidade de água contida na forma de vapor no ar é tal que sua pressão parcial é 0.031 atm a 25°C, ponto A da Figura 4, o que significa cerca de 4 kg de água em 1.000 Nm³ de ar. Na medida em que é resfriada, a água é retida em forma de gelo ao longo dos passes dos trocadores.

O CO₂ é eliminado a uma temperatura mais baixa. O conteúdo normal de CO₂ no ar atmosférico é de 0.8kg/1.000Nm³ e sua pressão parcial é de 1.3×10^{-6} atm, quando presente no ar comprimido a 6 atm entrando nos trocadores. O ponto de solidificação do CO₂ nesta condição é de cerca de -131°C, ponto B da Figura 4.

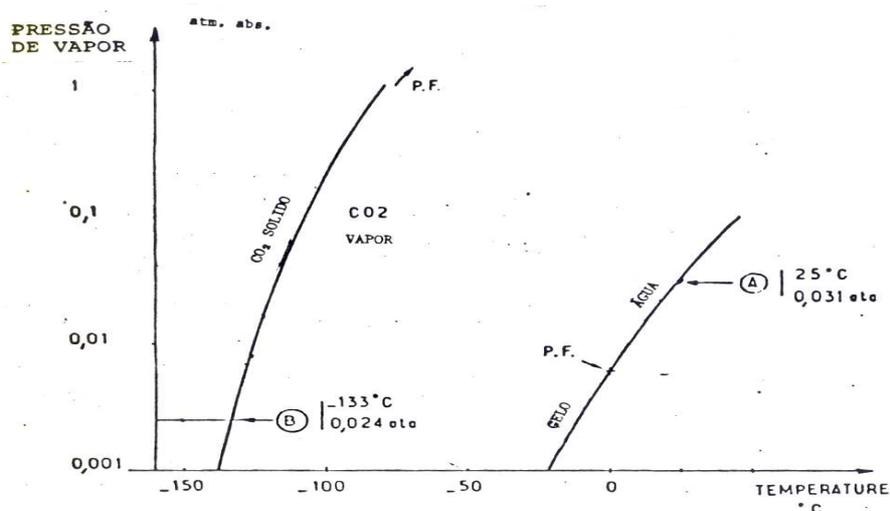


Figura 4. Curva de retenção do CO₂ e H₂O.

O ar a -170°C e 6 atm contém em torno de 0,14 ppm de CO₂, que ficará retido nos passes dos trocadores, o nitrogênio waste a -174,3°C e 1 atm poderá sublimar 0,14 ppm de CO₂, desta forma pode-se verificar que ocorrerá eficiente auto-limpeza dos passes dos RHX.

2.4 Auto Limpeza do RHX

Numa mesma temperatura, 1 Nm³ de nitrogênio a 1 atm poderá conter na mesma forma de vapor até 6 vezes a quantidade de CO₂ contida em 1 Nm³ de ar a 6 atm. Assim se q₁ é a quantidade de impurezas depositadas entre os pontos T₁ (*warm end*) e T₂ (*cold end*), q₂ é a quantidade que pode ser sublimada pelo nitrogênio waste à baixa pressão na mesma área do trocador. Sendo assim, o processo e as produções devem ser ajustados para manter a vazão de waste sempre acima de 60% da vazão de ar de processamento para que a limpeza das impurezas depositadas seja garantida. Veja gráfico abaixo:

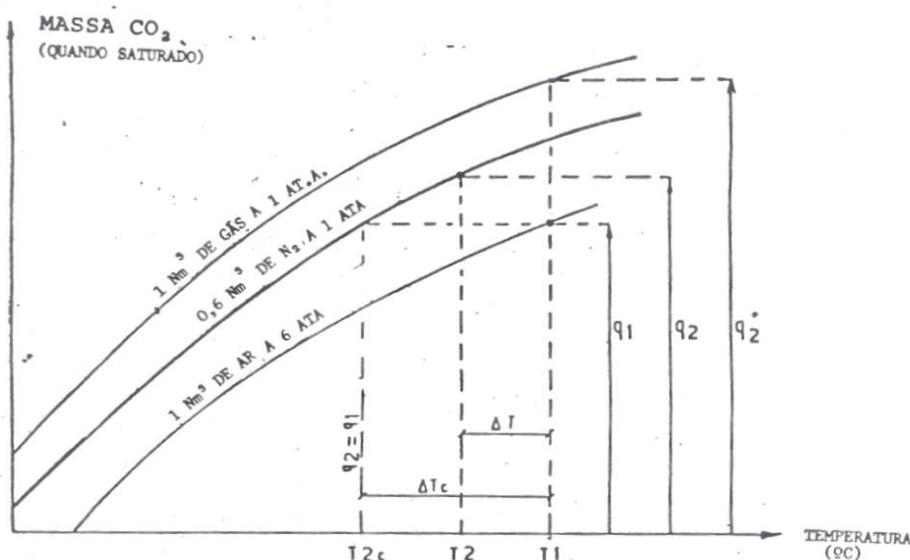


Figura 6. Curva de retenção de impurezas do ar atmosférico.

A razão de limpeza é definida como:

$$RL = \frac{\text{Pabs do fluxo de ar}}{\text{Pabs do fluxo de waste}} \times \frac{\text{volume do fluxo de waste}}{\text{volume do fluxo de ar}}$$

A partir dessa relação podem ser plotadas várias curvas para várias relações de limpeza, tanto para a água no warm end quanto para o CO₂ no cold end. Conclui-se que aumentando a pressão de ar ou diminuindo a pressão do waste obter-se-a uma maior razão de limpeza; o mesmo acontece se aumentarmos o volume de waste ou diminuirmos o fluxo do ar.

Esse conceito pode ser utilizado para estimar como o efeito da alteração de uma das variáveis deve ser compensada para manter o mesmo grau de auto limpeza.

3 IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

Os RHX são equipamentos comumente encontrados nas plantas de separação de ar, sendo estes o conjunto do processo que mais apresentam falhas, muitas das vezes por falta de recursos operacionais não considerados quando da elaboração dos projetos, principalmente por questão de custos. As constantes mudanças de temperatura, as eventuais paradas por variação do fornecimento de energia, as paradas prolongadas devido falta de demanda de produtos pelos clientes, os erros operacionais, as falhas de equipamentos periféricos de controle; como válvulas reversoras e outras, atuadores pneumáticos e componentes eletrônicos, impactam de forma muito severa na condição operacional dos RHX, com reflexos diretos na confiabilidade da planta.

A implementação das melhorias, que serão citadas a seguir, juntamente com treinamento de capacitação de pessoal de operação e manutenção, basicamente em torno dos tópicos citados anteriormente, as manutenções periódicas de todo o sistema que compõem os RHX, o desenvolvimento de fornecedores de alta qualidade para válvulas e kits de vedação, a automação dos controles de operação



dos trocadores, que aplicados em várias Plantas de Separação do Ar da empresa, permitiram mapear variáveis importantes, garantindo maior estabilidade e flexibilidade operacional em termos de vazão de ar e dos produtos finais, tal como pressões e temperaturas.

3.1 Recursos para Controle dos RHX

3.1.1 Válvulas

Cada fabricante de Plantas de Separação do Ar possui um conceito diferenciado de controle e recursos operacionais para os RHX, normalmente baseiam-se no conjunto como um todo. A falta de válvulas de controle em todas as correntes, por bloco de RHX, dificulta demasiadamente a operação de todo o conjunto, sendo quase impossível diante de um desequilíbrio térmico de um trocador, mantê-lo operando sem que haja contaminação por CO₂ em todo o processo. Com a planta operando e sem possibilidades de parar para degelo, a existência ou adaptação de válvulas em todos os passes possibilitaria operá-la até uma melhor condição de regeneração ou reparo do bloco.

As válvulas são componentes importantes na operacionalidade do conjunto de RHX. E portanto uma programação de manutenção preventiva e corretiva de todas as válvulas, principalmente das reversoras, deve ser estabelecido para períodos não maior que dois anos e sempre que for observado algum vazamento, pode significar desgastes prematuros ou o rompimento dos anéis de vedação de alguma(s) válvula(s) e a substituição deve ser imediata. Manter a planta operando com vazamentos em válvulas, além de perda acentuada de ar de processo e aumento de custos com energia, os RHX ora operam com uma vazão e no ciclo seguinte com outra, o que certamente trará complicações térmicas para todo o conjunto, além da possível passagem de CO₂ para o processo.

3.1.2 Controle de temperaturas DOS RHX

A falta de indicação das temperatura dos fluxos nos passes dos blocos, principalmente na partida a quente da planta ou mesmo durante a operação, quando ocorre por algum motivo desequilíbrio térmico de um ou mais trocadores, dificultam enormemente a tomada de ações corretivas e aumenta muito o risco de migração de CO₂ para a coluna inferior e entupimento dos passes dos trocador. A instalação de termopares nos passes de ar/waste, nos de oxigênio e nitrogênio, e nos passes de reciclo de cada bloco, permitem monitoração completa e ações de controle de vazão de forma adequada e individualizada por bloco e sem tentativas com incertezas dos acertos.

3.1.3 Controle de vazão para partida da planta / RHX

Nas partidas de plantas, tomando como princípio que todo o sistema esta quente e será levado a temperaturas criogênicas para se atingir condições normais de processo, pode ocorrer o descontrole de temperaturas dos blocos e resfriamento não homogêneo. O risco de entupimento de passes dos trocadores e rompimento de placas de separação, torna-se muito grande e certamente irá provocar a contaminação do oxigênio ou nitrogênio produto. A instalação de by pass nas turbinas permite que a vazão de ar, que está entrando para o processo, seja elevada e distribuída uniformemente em todo o conjunto do RHX sem que o resfriamento seja acelerado, mantendo o controle do diferencial de queda de temperatura dentro de padrões que não provoque fadiga térmica no material de composição dos blocos e tubulações, normalmente o alumínio.



3.1.4 Automação de controles operacionais dos RHX

O controle de temperatura dos pontos médios, que é medido no fluxo de ar de reciclo é determinante para se obter o equilíbrio térmico dos blocos e a garantia de eficiência na retenção das impurezas do ar atmosférico. Para eliminar a dependência de ação manual, que depende da habilidade e conhecimento do técnico de operação e muitas vezes é executada de forma incorreta agravando ainda mais a operação do trocador, foi desenvolvido um software para atuação nas válvulas dos passes de oxigênio, que controla automaticamente o fluxo deste gás e conseqüentemente a temperatura dos pontos médios, buscando assim a estabilização dos parâmetros térmicos e a eficiência de cada trocador.

Também buscou-se a evolução do sistema de reversão das válvulas de ar/waste, permitindo que seja modulado os bancos de trocadores de acordo, podendo ser isolado um banco sem prejuízo para a planta. Logicamente ajustes operacionais são necessários para manter a continuidade do processo.

3.1.5 Paradas de plantas e os reflexos nos RHX

A busca pelo melhor consumo específico de energia leva a constantes variações dos modos operacionais das plantas. Muitas vezes as reduções de consumo dos clientes obrigam a interromper a operação das plantas. É neste momento que se inicia um grande problema para os RHX, que pode se tornar mais crítico dependendo do tempo em que a planta for mantida fora de operação. Nesta condição alguns cuidados devem ser tomados:

- as válvulas reversoras devem estar com vedação perfeita para diminuir a perda de gases criogênicos vaporizados provenientes das colunas de destilação.
- ao retornar a planta, estando as carcaças das válvulas reversoras congeladas, estas devem ser operadas manualmente para descolar as sedes dos anéis de vedação e não danificá-los.
- alinhar fluxo de ar ou de nitrogênio, para descongelamento dos anéis de vedação das válvulas, com as válvulas de vent dos RHX abertas para a atmosfera.
- ajustar o controlador das válvulas de reversão para o menor ciclo, de forma a eliminar mais rapidamente as impurezas retidas e manter por alguns minutos até que os passes dos RHX sejam limpos.

A decisão de parar as plantas deve ser sempre muito avaliada quanto ao custo e benefício. Em se tratando de paradas curtas, para as plantas que possuem sistema de RHX, o melhor é mantê-las operando para preservação dos trocadores.

4 CONCLUSÃO

Os trocadores de calor - RHX são equipamentos vitais em uma planta de separação de ar, seja obtendo uma operação com alta eficiência por estar sendo termicamente bem controlado, como mantendo a qualidade dos gases que saem da coluna de destilação, que são imprescindíveis para a produção de aços especiais.

No presente trabalho procurou-se descrever de forma prática os procedimentos e melhorias que estão sendo adotados para prolongar a vida útil destes trocadores e conseqüentemente garantir a pureza dos produtos aos clientes consumidores dos gases do ar, além de manter as plantas em operação confiável e contínua. Destaca-se que estas práticas tem proporcionado altas reduções de custos, ao



evitar manutenções de grande porte e substituição de trocadores, além da perda de produtos por contaminação.

Ressalta-se também que a capacitação técnica do setor de engenharia de projetos e manutenção de equipamentos construídos em alumínio, tem sido fundamental no treinamento dos técnicos de operação e manutenção, redução de custos e de tempo de execução das manutenções.