

AUMENTO DA CONFIABILIDADE E SEGURANÇA OPERACIONAL DE UMA PLANTA DE SEPARAÇÃO DE AR A PARTIR DA INSTALAÇÃO DE UMA UNIDADE DE REFRIGERAÇÃO *CHILLER**

Caio Trindade de Almeida¹
Tharcysio de Oliveira Rocha de Paiva²

Resumo

A etapa de resfriamento e purificação apresenta grande importância para o processo de separação do ar, pois é nesta etapa que ocorre a remoção dos principais contaminantes (água, hidrocarbonetos e CO₂). Se não controlados, estes contaminantes podem ocasionar problemas ao processo como obstrução e liberação de energia. Neste artigo, é apresentado um estudo de caso para uma planta de separação de ar que apresentava passagem de CO₂ ao término dos ciclos de operação dos vasos pré-purificadores (VPPs). A solução obtida foi a instalação de uma unidade de refrigeração *chiller* que promove a redução da temperatura da água que refrigera o ar pela troca de calor por contato direto. Como esperado, o *chiller* proporcionou a redução da temperatura do ar o que ocasionou uma melhor performance dos VPPs elevando a confiabilidade do processo e aumento da segurança operacional pelo controle dos contaminantes.

Palavras-chave: Aumento da Confiabilidade, Refrigeração e Purificação, *Chiller*, Segurança Operacional.

INCREASED RELIABILITY AND OPERATIONAL SAFETY OF AN AIR SEPARATION UNIT FROM THE INSTALLATION OF A CHILLER REFRIGERATION UNIT

Abstract

The cooling and purification stage is of great importance for the air process separation, since it is at this stage that the main contaminants (water, hydrocarbons and CO₂) are removed. If not controlled, these contaminants can cause problems to the process like obstruction and release of energy. In this paper, a case study is presented for an air separation plant with CO₂ breakthrough at the end of the pre-purifying vessel operation cycles (VPPs). The solution obtained was the installation of a chiller of refrigeration that promotes the reduction of the temperature of the water that cools the air by the exchange of heat by direct contact. As expected, the chiller provided a reduction in air temperature which resulted in better performance of VPPs, increasing process reliability and increasing operational safety by controlling contaminants.

Keywords: Increased Reliability, Refrigeration and Purification, Chiller, Operational Safety.

¹ Engenheiro Químico, Engenheiro de Produção de Líquidos, Produção, White Martins Gases Industriais, Serra, ES Brasil.

² Engenheiro Químico, Produtividade, White Martins Gases Industriais, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O processo de fabricação de gases industriais localizado dentro do complexo industrial de Tubarão no município da Serra-ES é constituído por 5 plantas de separação do ar que fornecem por meio de gasodutos os seguintes produtos: oxigênio, nitrogênio e argônio na forma gasosa entregues diretamente as diversas áreas da siderúrgica, sendo os maiores consumidores os altos-fornos e aciaria.

A partir de 2016, o consumo do cliente apresentou uma elevação de forma considerável em todos os produtos acarretando numa operação próxima da capacidade máxima de todo o *site*, em particular o consumo de GN₂.

Essa elevação de consumo faz com que as plantas operem com carga elevada, admitindo uma maior quantidade de ar para separação no processo. Uma das principais etapas deste processo consiste na purificação do ar onde retêm-se os principais contaminantes (umidade, gás carbônico e hidrocarbonetos) por meio do fenômeno de adsorção/dessorção).

A purificação é realizada em vasos pré-purificadores (VPP) que operam em ciclos de adsorção dos contaminantes durante a passagem do ar e ciclos de dessorção dos contaminantes por meio da passagem do nitrogênio *waste* aquecido. Esta etapa do processo precisa estar em equilíbrio, pois um processo de regeneração mal executado ou uma admissão de ar acima da capacidade de adsorção da alumina e da peneira molecular pode acarretar em sua saturação e permitir a passagem de contaminantes para as próximas etapas do processo produtivo [1,2].

Diante disso, os contaminantes são continuamente monitorados na saída dos vasos pré-purificadores pois uma elevação pode acarretar danos as etapas posteriores do processo produtivo, que ocorrem em temperaturas criogênicas, como obstrução de linhas devido a solidificação do CO₂ e acúmulo de hidrocarboneto podendo atingir níveis de segurança de processo [2,3].

Em especial a planta FOX3, quando opera em carga nominal de ar ou quando é elevada a produção de GN₂ além da capacidade de projeto observa-se uma elevação da concentração de contaminantes ocasionada pelo aumento do volume de ar e/ou pelo aumento da temperatura de operação na entrada dos vasos pré-purificadores, o que prejudica a performance do equipamento.

Diante disso, visando manter de forma controlada a temperatura do ar de entrada nos VPPs e diminuir a dependência do nitrogênio *waste* é adicionado ao circuito de resfriamento do ar um sistema de refrigeração *chiller*.

Neste contexto, este trabalho apresenta uma abordagem sobre a elevação da confiabilidade operacional da FOX3 a partir da instalação de uma unidade de refrigeração *chiller* de água em série com o *Evaporative Cooler* (EVAP) existente, assim como apresenta uma maior flexibilização dos modos operacionais e de distribuição entre todas as plantas do site pela disponibilização do N₂ *waste* como N₂ produto.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a descrição simplificada do processo de separação de ar com ênfase na etapa de purificação. Na Seção 3, apresentamos os resultados obtidos e os impactos na operação com a instalação do *chiller*. Finalmente, a Seção 4 concluímos o artigo identificando as vantagens obtidas com a instalação do *chiller* e os reflexos em confiabilidade e segurança de processo.

2 DESENVOLVIMENTO

O processo de separação do ar pode ser descrito em duas macroetapas denominadas *Warm End* (parte quente) e *Cold End* (parte fria) sendo que a primeira ocorre em temperaturas positivas e a segunda em temperaturas negativas, conforme apresentado na Figura 01. Cada uma dessas etapas tem funções distintas no processo apresentadas a seguir:

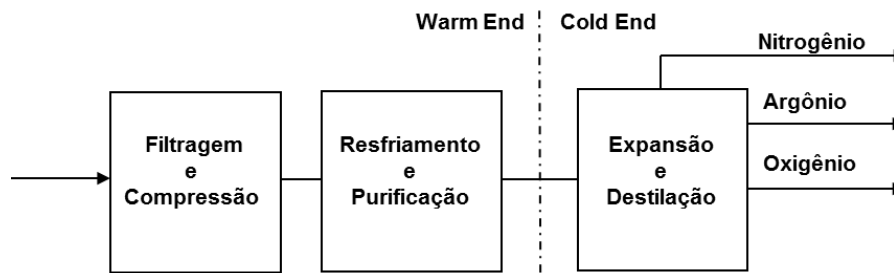


Figura 01: Macrofluxo de processo de separação do ar

A primeira etapa inicia-se por uma filtragem mecânica onde são retidas as partículas sólidas em suspensão no ar que na sequência é succionado pelo compressor antes de ser enviado para etapa de remoção de contaminantes. O ar entre um estágio e outro de compressão passa por *intercoolers* onde parte da umidade presente no ar é condensada pelo deslocamento da curva de saturação [3].

A segunda etapa consiste no resfriamento da corrente de ar e na retirada dos principais contaminantes para este tipo de processo (H_2O , CO_2 e hidrocarbonetos) realizada por meio de peneiras moleculares [3].

Por fim, na terceira etapa ocorre o resfriamento do ar a temperaturas criogênicas, através da troca de calor com os produtos gasosos e da expansão na turbina. Esta etapa de separação só ocorre em função dos diferentes pontos de ebulição dos gases onde o gás mais volátil é extraído no topo e o menos volátil no decorrer da coluna de destilação [3].

Destas três etapas o processo de resfriamento e purificação apresenta uma importância quanto a segurança de processo, pois a água e o CO_2 possuem seus pontos de solidificação muito acima das temperaturas criogênicas, o que pode provocar obstrução das passagens dos gases no processo, e os hidrocarbonetos que podem reagir com oxigênio concentrado ocasionando liberação de energia.

RESFRIAMENTO E PURIFICAÇÃO

Como descrito por [4], o processo de resfriamento e purificação inicia-se pelo pós-resfriador de contato direto (*Direct Contact Aftercooler - DCA*) utilizado para resfriar a corrente de alimentação de ar, antes que esta seja pré-purificada. No DCA o ar é resfriado até uma temperatura de aproximadamente $12,6^\circ C$ pela água fornecida pelo *Evaporative Cooler (EVAP)* em um circuito fechado. A água aquecida a cerca de $31^\circ C$ pela troca de calor com o ar, acumula no fundo do DCA e retorna para o EVAP que resfria novamente a aproximadamente de $11,8^\circ C$ água pela troca de calor com o nitrogênio *waste* num circuito fechado conforme apresentado na Figura 01

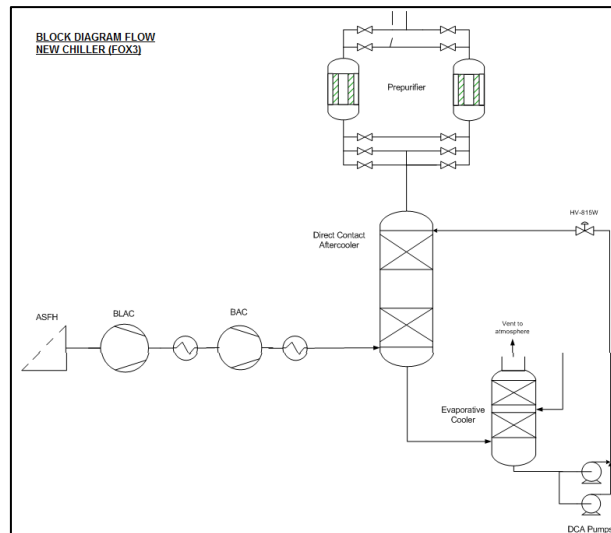


Figura 02: Circuito DCA/EVAP

Após ser resfriado, o ar segue para etapa de purificação que consiste na adsorção pela alumina ativada e pela peneira molecular de gases não desejáveis no processo de separação de ar.

A peneira molecular possui a propriedade de adsorver fisicamente e seletivamente várias substâncias de acordo com uma escala de atração como apresentado na Figura 03. De acordo com [1,2], ela retém as matérias adsorvidas por meio de intensas forças físicas, com isso, a dessorção pode ser feita pela aplicação de calor ou por deslocamento com outro material sem haver mudanças no estado químico da peneira molecular.

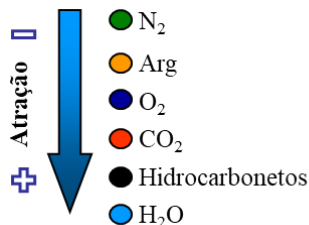


Figura 03: Grau de afinidade da peneira molecular, sendo H₂O fortemente atraído e N₂ menos atraído

Sendo assim, o processo de pré-purificação emprega a adsorção/dessorção por variação térmica utilizando dois vasos adsorventes para garantir a operação contínua. Os leitos adsorventes dos vasos são projetados para removerem os contaminantes contidos na vazão total de ar da planta de forma que, enquanto um vaso está em operação o outro está sendo regenerado eliminando para a atmosfera as impurezas adsorvidas [2,4].

As impurezas no processo criogênico de separação de ar são divididas em duas classes que necessitam serem removidas. Na primeira classe encontram-se a água e o CO₂, que possuem suas temperaturas de solidificação muito acima das temperaturas criogênicas e congelam quando expostos a esta condição, provocando obstrução nos equipamentos criogênicos e queda na eficiência do processo. Na segunda classe de contaminantes estão os hidrocarbonetos, que naturalmente concentram-se nos refervedores de oxigênio e quando não removidos podem reagir com o oxigênio presente no sistema quando atingem o limite inferior de explosividade gerando grande risco do ponto de vista de segurança [2,3].

O excesso de água nos leitos do pré-purificador também pode resultar em sérios problemas operacionais, como presença de CO₂ na corrente de saída e a degradação da peneira molecular [2].

Diante da importância do controle de impurezas, a concentração de CO₂ é constantemente monitorada para controle e segurança do processo. A elevação da concentração pode ser provocada por problemas resultantes da preparação do gás de alimentação, como exemplo a elevação da temperatura acima do normal, ou problemas resultantes da regeneração incorreta e estes desvios precisam ser controlados e mitigados para garantia da confiabilidade do processo [1].

Neste estudo, foi observado esse comportamento de elevação de contaminantes nos ciclos dos vasos pré-purificadores da FOX3, conforme pode ser observado na Figura 04, o que resultou no projeto de instalação de uma unidade de refrigeração *chiller* em série com o EVAP de modo a reduzir a temperatura da água que resfria o ar do processo no DCA.

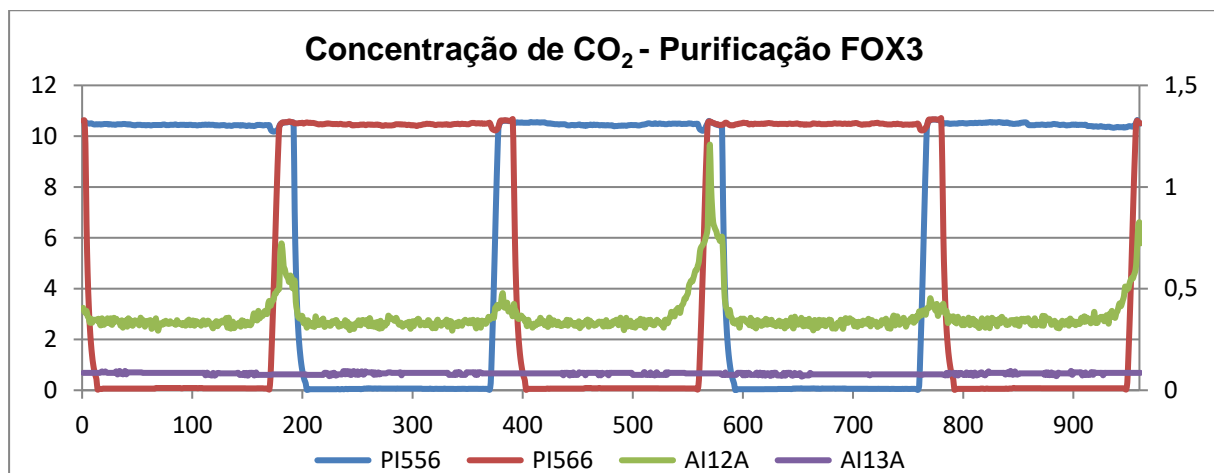


Figura 04: Ciclo de operação dos VPPs da FOX3 – Representação do aumento da concentração de CO₂ ao término de cada ciclo

3 RESULTADOS

O *chiller* mecânico, escolhido neste projeto modelo RTHD Tracer UC800 fabricado pela Trane é o equipamento instalado em série com o circuito EVAP/DCA como apresentado na Figura 05. O *chiller* foi utilizado no resfriamento da água que sai do EVAP já previamente resfriada de forma que a temperatura da água seja reduzida para posterior troca de calor com o ar do processo no DCA.

O *chiller* foi projetado para reduzir a temperatura da água de 11,8°C para aproximadamente 5°C.

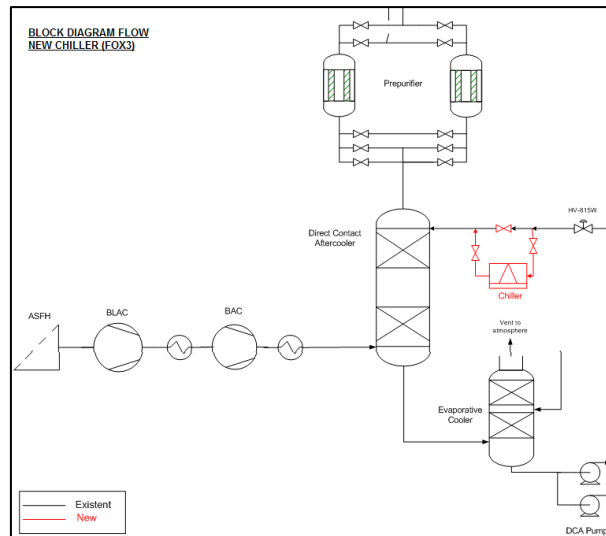


Figura 05: Novo circuito EVAP/Chiller/DCA

Com o *start-up* do *chiller* mantendo as condições originais de operação do circuito EVAP/DCA observou-se uma redução da temperatura de entrada do ar no VPP de 12,6°C para 8,9°C representando uma redução de 3,7°C.

Essa redução da temperatura de entrada do ar no VPP provoca um deslocamento na curva de saturação do ar fazendo com que uma massa menor de água entre no processo de purificação e com isso, a alumina e o molecular serão menos exigidos para reter a água, passando assim reter os demais contaminantes como o CO₂ como pode ser observado na Figura 06.

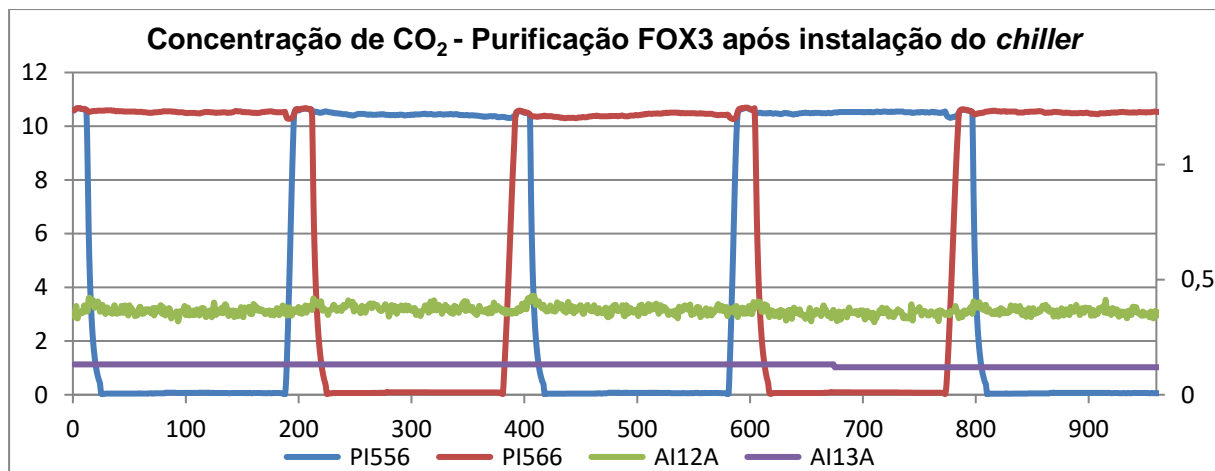


Figura 06: Ciclo de operação dos VPPs da FOX3 – Representação da redução da concentração de CO₂ durante o ciclo de operação dos VPPs

Observa-se na Figura 06 que após a instalação do *chiller* no circuito de resfriamento do ar de alimentação do VPP não houve mais ocorrência de passagem de CO₂ para as etapas seguintes do processo. Isso é importante para elevação da confiabilidade de todo o processo, pois garante que não ocorrerá no futuro uma parada indesejada da planta por obstrução no processo o que demandaria realizar degelo da planta, atividade esta que demanda uma parada longa da planta tornando-a indisponível por aproximadamente 3 dias.

Além da redução da temperatura do ar que entra no VPP, observou-se uma redução da temperatura do ar que entra no *coldbox* que antes da instalação do *chiller* era de

aproximadamente 19,6°C e após reduziu para aproximadamente 13,3°C representando um delta de 6,3°C. Essa redução na entrada do *coldbox* proporcionou também uma redução da temperatura dos produtos gasosos (GO₂ e GN₂) em cerca de 3,5°C o que por consequência ocasionou uma redução da temperatura de todo o *header* dos compressores.

Com a redução da temperatura do *header* de sucção dos compressores, cerca de 1,2°C, obteve-se também uma melhora na performance dos compressores de produtos.

Além disso, com o *chiller* pode-se obter uma maior flexibilidade operacional como os dois novos cenários obtidos apresentados a seguir:

- Caso 1: O EVAP operando com uma vazão reduzida de nitrogênio *waste* (aproximadamente 22.000 Nm³/h). Neste caso, a água do fundo da EVAP aquece (22,0°C) e é bombeada para o novo *chiller* que resfria a 10,7°C e em seguida é enviada para o DCA. O nitrogênio *waste* extra (~ 40.000 Nm³/h) que foi reduzido do EVAP é disponibilizado para ser enviado ao cliente através de uma interligação entre o nitrogênio *waste* e as linhas de nitrogênio do produto, proporcionando um aumento da confiabilidade do sistema de distribuição de nitrogênio produto.
- Caso 2: O EVAP operando com aproximadamente 61.800 Nm³ / h de nitrogênio *waste* e a água do fundo da EVAP mantém (11,8°C) é resfriada a 5°C que por consequência reduz a temperatura de sucção do VPP. Neste caso, não há ganho com uma produção de nitrogênio extra, entretanto há um aumento da performance dos vasos pré-purificadores e da confiabilidade e da segurança de processo.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta a importância da etapa de resfriamento e purificação para o processo de separação do ar, destacando a importância do controle dos contaminantes nesta etapa e as possíveis consequências da ineficiência do processo de purificação que pode ser provocada, por exemplo, pela elevação da temperatura de entrada do ar nos VPPs. Foi apresentado o caso real da FOX3 que apresentava passagem de CO₂ ao término de cada ciclo e como solução foi instalado um *chiller* para redução da temperatura da água que resfria o ar. Como esperado, o *chiller* apresentou um bom resultado na redução da temperatura da água de refrigeração, aproximadamente 3,7°C sendo suficiente para o deslocamento da curva de saturação e redução da massa de ar que seria adsorvida nos VPPs, o que representou no aumento da confiabilidade do processo evitando possíveis problemas futuros com paradas indesejadas do processo. Além disso, outros benefícios foram obtidos com o projeto como a redução das temperaturas dos gasodutos de oxigênio e nitrogênio, assim como maior flexibilização operacional da distribuição do nitrogênio pela disponibilidade de utilizar parte da produção de nitrogênio *waste* como nitrogênio produto.

REFERÊNCIAS

- 1 Kerry, F. G. *Industrial gas handbook: gas separation and purification*. CRC press; 2007.

- 2 Rio de Janeiro. White Martins Gases Industriais Ltda. Curso básico para técnicos de produção: introdução à separação de ar – segurança operacional. RJ, 2005.
- 3 Rio de Janeiro. White Martins Gases Industriais Ltda. Manual de operação. RJ, 1998.
- 4 Rio de Janeiro. White Martins Gases Industriais Ltda. *Engineering Design Memorandum*. RJ, 2016.