

DESGASEIFICAÇÃO A VÁCUO - O MAIS RECENTE CONCEITO DE PROJETO E RESULTADOS METALÚRGICOS DE UM DESGASEIFICADOR A VÁCUO - RH *

Andrea Pezza¹
Willi Anton Buehler²
Edilson Alves Maranhão³

Resumo

O processo de vácuo é a solução típica aplicada quando é hora de atualizar o nível de qualidade do aço de uma aciaria existente. A instalação do novo RH de 150t na planta integrada no México e do novo Tanque de Desgaseificação à Vácuo (VD) de 135t no Canadá para a produção de tubos de alta qualidade na América do Norte, é um exemplo típico disso. A nova instalação inclui o mais recente conceito de design para este tipo de equipamento: operações totalmente automatizadas e menor impacto ambiental são os principais aspectos do projeto. A solução de bomba mecânica a seco continua sendo a melhor abordagem de investimento e custo operacional para a tecnologia de vácuo. Os principais aspectos do design da planta são descritos neste documento. O desgaseificador a vácuo RH é responsável pela melhoria das performances metalúrgicas, especialmente em termos de nitrogênio, remoção de hidrogênio e nível de pureza do aço. O processo a jusante e os resultados estão estritamente ligados aos desempenhos do desgaseificador a vácuo. O monitoramento de processos através da linha completa é uma prática padrão para obter uma melhoria efetiva da qualidade do produto. Os desempenhos metalúrgicos do desgaseificador a vácuo RH são analisados e comentados neste trabalho.

Palavras-chave: Tecnologia de vácuo; Bomba mecânica; Resultados metalúrgicos.

VACUUM DEGASSING – LATEST DESIGN CONCEPT AND METALLURGICAL RESULTS OF RH VACUUM DEGASSER

Abstract

The vacuum process is the typical solution applied when it is time to upgrade the steel quality level of an existing steel plant. The installation of the new 150t RH in the integrated plant in Mexico and the new 135t Vacuum Degassing Tank in Canada for the production of high quality pipes in North America are typical examples. These new facilities include the latest design concepts for this kind of equipment: Fully automated operations and lower environmental impact are key design aspects. The dry mechanical pump solution continues to be a best investment and operational cost approach for the vacuum technology. The plant design key aspects are described in this paper. The vacuum degasser is in charge of the metallurgical performances improvement especially in terms of nitrogen, hydrogen removal and steel purity level. The downstream process and results are strictly linked to the vacuum degasser performances. Process monitoring through the complete line is a standard practice in order to get an effective improvement of the product quality. The vacuum degasser metallurgical performances are analyzed and commented in this paper.

Keywords: Vacuum technology; Mechanical pump; Metallurgical results.

¹ Primetals Technologies Germany GmbH, Willstaett-Legelshurst, Germany

² Primetals Technologies Germany GmbH, Willstaett-Legelshurst, Germany

³ Primetals Technologies Germany GmbH, São Vicente-São Paulo, Brasil.

1 DESGASEIFICAÇÃO DA RECIRCULAÇÃO A VÁCUO COM BOMBA MECÂNICA SECA

A primeira planta de RH equipada com sistema de bomba mecânica a seco no continente americano foi instalada e comissionada com sucesso em março de 2018 no México (ver a Figura 1). A base do design tem sido a experiência de uma instalação anterior na China, onde a planta de RH duplo, usando o mesmo conceito, foi iniciada em 2015. Tendo em vista o pouco espaço na fábrica de aço existente, foi introduzido um novo tipo de conceito de sistema de elevação. O sistema de elevação combinada de vaso e panela (CVL), permitiu a colocação da planta de RH de tratamento duplo entre duas baias, onde não é possível o acesso de pontes rolantes nas estações de tratamento para troca de vaso.

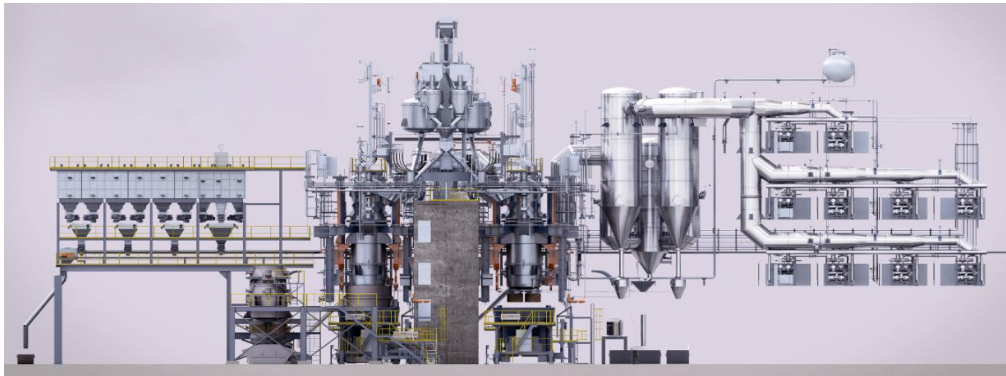


Figura 1: A primeira planta de RH equipada com sistema de bomba mecânica a seco no continente americano

O cliente da siderúrgica no México, mesmo tendo uma aciaria elétrica, na qual normalmente se tem preferência ao processo Vacuum Tank Degasser (VD), decidiu pela aquisição de um Desgaseificador à Vácuo moderno de maior produtividade, com a sigla RH-OB da Primetals Technologies (ver a Figura 2) que possibilita o aquecimento aluminotérmico do banho com uma lança multifunções nas duas estações de tratamento, sendo este, considerado um modelo piloto na evolução do refino secundário entre as siderúrgicas mexicanas).

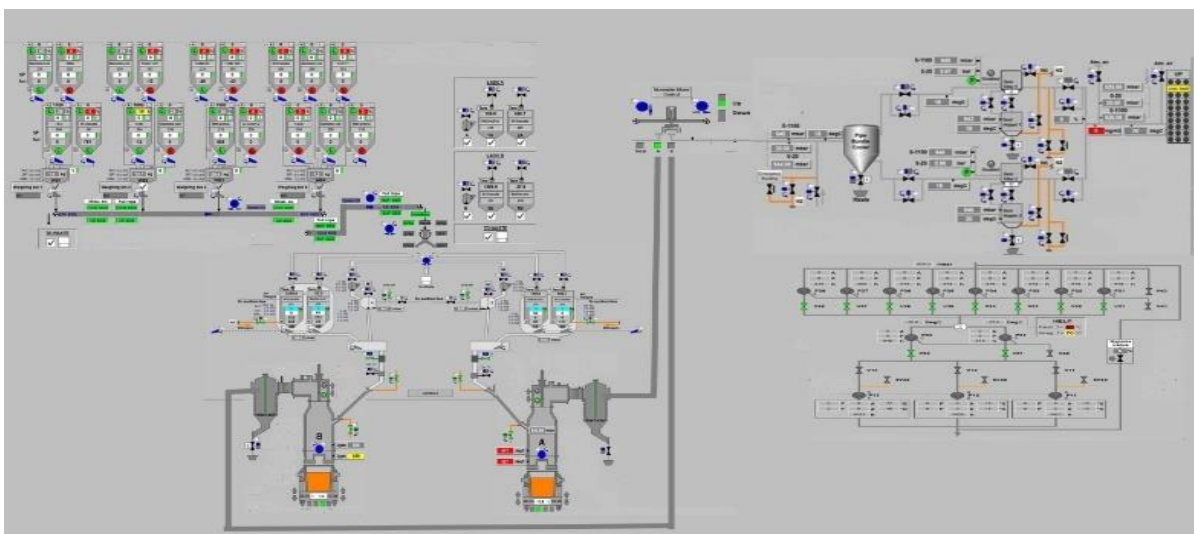


Figura 2: Primeiro RH-OB TWIN com bombas mecânicas no México

2 PROJETANDO UM NOVO DESGASEIFICADOR À VÁCUO RH COM BOMBAS MECÂNICAS DE VÁCUO À SECO

Seguindo alguns critérios básicos de projeto, para alcançar maior qualidade do produto a ser atingida pelas empresas siderúrgicas na concepção de uma evolução metalúrgica da produção de aço, no processo de desgaseificação à vácuo RH em uma área de pouco espaço e necessidade de redução de custos, a Primetals Technologies, como responsável geral pela tecnologia, desenvolveu as condições do processo para implantar o sistema de bombas mecânicas a seco, de acordo com a necessidade e solicitação do cliente das siderúrgicas na China e no México, mostrando dessa forma, quais são as tendências futuras da tecnologia no mercado de produção dos aços especiais.

A certificação de aceite final da Planta RH OB com bomba mecânica a seco da Primetals Technologies, instalada na Siderúrgica Mexicana, foi concedida em tempo rápido, diante dos excelentes resultados de performance alcançados durante comissionamento à quente. Esta solução de instalação de bomba mecânica à vácuo seco no projeto das siderúrgicas, tanto da China quanto no México, visa principalmente a redução dos custos operacionais e aumento da flexibilidade para integração ao processo de produção. Em função do espaço limitado para o Desgaseificador RH da Siderúrgica no México, foi implantado também o sistema de levantamento combinado de vaso-panela, para dar maior flexibilidade e disponibilidade operacional, visando alcançar uma capacidade anual maior que dois milhões de toneladas de aço líquido especial e ampliar seu portfólio de produtos acabados, para atender a demanda da indústria de petróleo e gás com necessidade de aços com baixíssimo teor de hidrogênio.

Esse sistema de levantamento combinado de vaso-panela, conhecido como (CVL), reduz a necessidade de espaço na área, para instalação da planta e permite que os vasos sejam trocados rapidamente, sem necessidade do uso de Ponte Rolante.

Esse novo projeto de RH TWIN com bombas mecânicas à vácuo seco e capacidade de 150 ton., instalado na siderúrgica mexicana, pode processar cerca de 50 corridas por dia, em média.

Esta nova tecnologia, aperfeiçoada para o sistema de vácuo com uso de bombas mecânicas à vácuo seco, faz com que a Primetals Technologies seja um dos primeiros fornecedores de equipamentos siderúrgicos a oferecer e implementar a tecnologia adaptada ao sistema de desgaseificação RH, visando menor custo operacional. O vácuo é gerado usando apenas energia elétrica, em vez de usar o sistema de ejetores de vapor com necessidade de grande quantidade de água de resfriamento, para lavagem dos gases. Outra grande vantagem é que a bomba mecânica à vácuo seco requer um tempo de preparação bem curto antes de iniciar a produção com vácuo, apenas ligando a eletricidade e uso de um pequeno sistema de tratamento para resfriamento com água, enquanto que, no sistema com bomba ejetora de vapor é necessário aquecer a caldeira e todo o sistema de vapor, antes que o tratamento à vácuo, seja iniciado. O uso da bomba de vapor necessita de um alto consumo de água de resfriamento, incluindo um alto consumo de água para o sistema de manuseio da lama, para remoção da poeira e limpeza dos gases, através da água de resfriamento dos condensadores.

Essa nova concepção da Primetals Technologies, com uso de bombas mecânicas de vácuo a seco, garante a operação contínua e sem problemas, além de pequenos custos de funcionamento, visando metas de processo otimizadas, através de um sistema de controle de processo totalmente automatizado e personalizado para as

necessidades do cliente. Para realizar este projeto, a Primetals Technologies inovou nas especialidades, para buscar um eficiente conjunto de bombas de três estágios com um sistema de filtro confiável e uma válvula de vácuo principal robusta, para um vaso com design resistente para vácuo profundo, conhecido em modos de operação de processo. Esse novo sistema de vácuo, em conjunto com o CVL para levantamento de panela, faz da Primetals Technologies uma grande fornecedora de projetos e soluções siderúrgicas, cujo nome significa confiabilidade, inovação, pensamento econômico, experiência e produtividade.

Para a imersão dos snorkels em aço líquido, a panela é acionada por um carro de transferência de panelas para a posição de tratamento, abaixo do vaso. Chegando em posição de tratamento, os munhões da panela são engatados diretamente com dois ganchos em cada lado da panela. Ambos os ganchos, são levantados por meio de cilindros hidráulicos, que são sincronizados eletronicamente para permitir um movimento paralelo de cada gancho de panela.

A estrutura de elevação que é conectada com o gancho da panela e acionada pelos cilindros hidráulicos, também é equipada com suportes de vasos móveis que podem levantar o próprio vaso (ver a Figura 3a) e ao soltar os braços de sustentação de suporte do vaso, o mesmo pode ser abaixado no carro de transferência da panela (ver a Figura 3b).



Figura 3a: Ganchos de elevação



Figura 3b: vaso abaixado no carro de transferência da panela

Portanto, uma estrutura especial de troca de vaso é conectada ao carro de transferência da panela, que levará o vaso para a saída da área de tratamento para a área de revestimento, onde ela pode ser manuseada com ponte rolante.

Devido ao seu design, o sistema CVL permite uma pegada muito pequena na planta, também para twin. A configuração de tratamento é muito flexível em termos de acessibilidade do gancho. Diferentes tipos de soluções lógicas para a localização das áreas de recobrimento são possíveis, assim como rotas de aço líquido otimizadas, até as soluções, que proporcionam um máximo de produtividade e menores tempos de inatividade ao suporte de tratamento individual. Bombas de vácuo mecânicas a seco, são bem conhecidas no passado e também com aplicações de desgaseificação de aço. Até agora, elas foram aplicadas principalmente em plantas com menor carga de corrida e no campo da desgaseificação no tanque de vácuo, principalmente a tecnologia VD. Devido a melhorias e desenvolvimentos posteriores, esta tecnologia torna-se também adequada e aplicável para o uso, como bomba de vácuo para a planta de RH. Normalmente, a tecnologia RH requer maior capacidade de sucção do que as plantas VD, assim como as diferentes condições de processo e de gás (como temperatura, formação de poeira, etc.) devem ser consideradas.

O uso de bombas mecânicas secas juntamente com a tecnologia RH, requer atenção especial à preparação do gás de saída, no lado do vácuo. De um lado, as perdas de pressão, entre o recipiente de vácuo e a entrada da bomba de vácuo, devem ser mantidas no mínimo. Por outro lado, a carga de poeira do gás de saída, que entra nas bombas de vácuo, deve ser reduzida, para evitar a obstrução das bombas mecânicas e o entupimento por excesso de poeira. Além disso, o sistema de filtro de mangas precisa ser protegido de temperaturas de gás muito altas, assim como de fagulhas carregadas com alto fluxo de gás sob vácuo. Outro aspecto de segurança é que a temperatura do gás deve ser mantida abaixo do limite de 80 °C na entrada da bomba de vácuo, para garantir que os limites de temperatura individuais nas bombas de vácuo, possam ser operados dentro dos limites de temperatura indicados pela certificação ATEX, do sistema de bomba de vácuo.

Durante o estágio de projeto do sistema de sucção a vácuo, ferramentas de simulação CFD foram usadas para encontrar o melhor, entre os diferentes requisitos para os equipamentos individuais. O gás de escape é criado, devido às condições de vácuo dentro da câmara de vácuo e consiste principalmente de gases metalúrgicos, gás de proteção, gás de elevação e vazamentos de vácuo. Dependendo do processo e da própria fase do processo, hidrogênio, nitrogênio e óxidos de carbono estão saindo do aço que entra no vaso de vácuo e precisam ser evacuados pela bomba de vácuo.

A quantidade e concentração da fração individual varia fortemente, dependendo da pressão de vácuo e outras condições do processo. Além disso, há o gás de elevação (principalmente de argônio), que é injetado no tubo de snorkel da perna de subida, a fim de manter a circulação de aço entre a panela e o vaso de vácuo.

A quantidade de argônio entrando no vaso de vácuo evacuada pelo sistema de sucção, também é uma porção significativa do gás total, que precisa ser removido pela bomba de vácuo. Além disso, é necessário considerar o gás de proteção (principalmente nitrogênio), que é usado para proteger certos equipamentos, como câmara da câmara quente / off-take, queimador de oxigênio, sistema de liga, etc. Por último, mas não menos importante, existem também os vazamentos de vácuo, que estão criando uma carga adicional de gás para a bomba de vácuo. Esta questão também tem fortes influências para o desempenho geral (especialmente o nível de vácuo final alcançado), do sistema de vácuo completo. Na figura 4, o sistema completo de sucção a vácuo é mostrado.

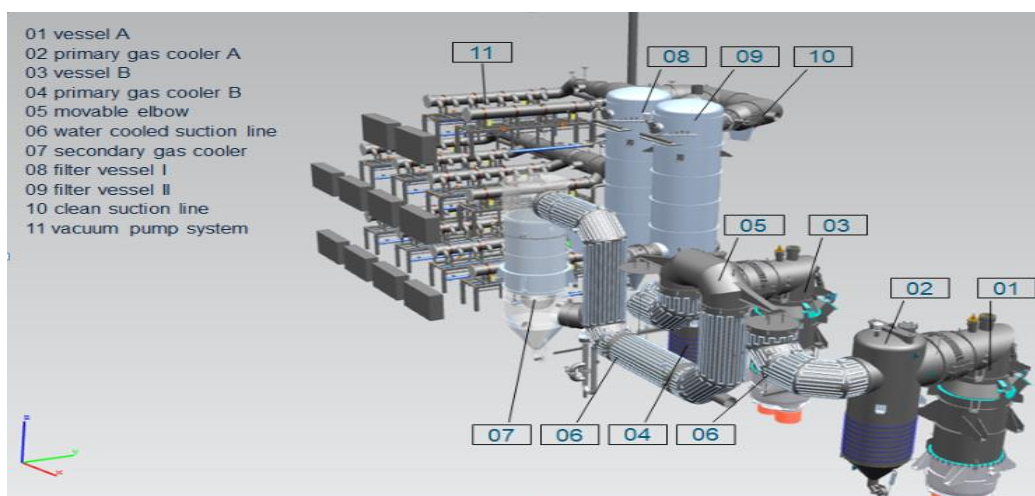


Figura 4: Projeto RH com bombas mecânicas de vácuo a seco

Como descrito anteriormente, o vácuo do gás é criado principalmente na câmara de vácuo. Este gás de saída está deixando o vaso e o off take com temperaturas muito altas e, sob as condições de vácuo, tem um fluxo muito alto. Além disso, esse gás carregado, está carregando uma alta carga de poeira em grãos muito diferentes e as fagulhas, são criadas pelas reações pesadas no interior do recipiente de vácuo. No primeiro estágio do resfriador de gás primário, as partículas maiores de poeira e fagulhas já estão separadas, assim como a temperatura, já está significativamente reduzida neste estágio. Na linha de sucção adicional, também temos um efeito de resfriamento muito bom, devido à implementação das seções da linha de sucção, resfriada a água. Antes do gás de escape entrar na aplicação do filtro de mangas, é instalado um estágio de resfriamento de gás secundário, para assegurar que a temperatura do gás entre no alojamento do filtro definitivamente, abaixo da temperatura máxima permitida, para evitar a queima de sacos de filtro. Nesta fase, também é muito importante que todas as fagulhas sejam separadas do fluxo de gás de saída, ou pelo menos já estejam extintas de modo a não perfurar os sacos de filtro.

Além disso, a bomba de vácuo tem limitações para a temperatura, no seu ponto de entrada. Uma razão é a conformidade com as regras da ATEX, a outra razão é que o desempenho de sucção do sistema de bomba mecânica é melhor com temperaturas de gás mais baixas. A figura 5 mostra a tendência da temperatura em diferentes seções de medição, durante um tratamento a vácuo típico, com sopro de oxigênio. É demonstrado com estas curvas de temperatura, que o sistema de refrigeração é muito eficiente e pode manter a temperatura de entrada do filtro e das bombas de vácuo seguramente, abaixo dos seus limites de temperatura.

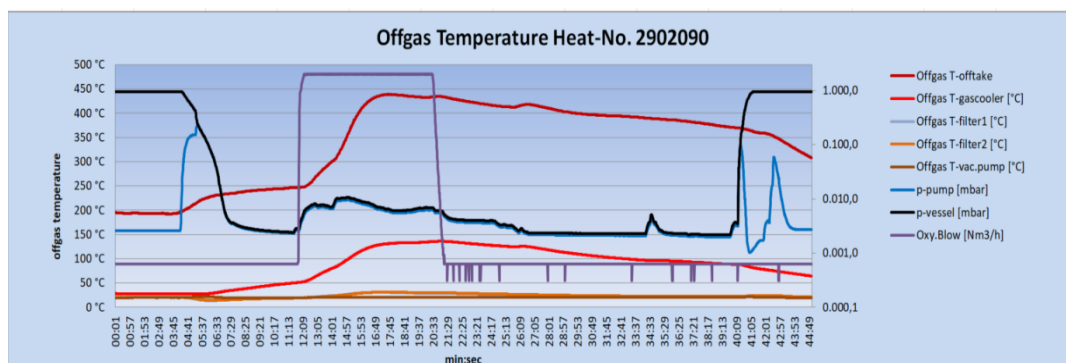


Figura 5: tendência da temperatura em diferentes seções de medição durante um tratamento

Outra questão relacionada ao sistema de vácuo do gás é a perda de pressão entre a bomba de vácuo e o recipiente de vácuo, assim como a capacidade de sucção necessária para a bomba de vácuo. Vimos acima que existe um eficiente filtro de separação de poeira e sistema de refrigeração, entre o recipiente de vácuo e a bomba de vácuo instalada. Usando simulações durante a fase de projeto, o ideal foi encontrado entre os dois objetivos contraditórios:

- perdas de baixa pressão
- separação eficiente de poeira e redução de temperatura

Portanto, parâmetros como diâmetro da linha de sucção, área de filtro, etc, foram usados para as simulações. Na figura 6, podemos ver que a perda de pressão

durante um tratamento típico é mantida abaixo de 10% da pressão de vácuo, na bomba de vácuo.

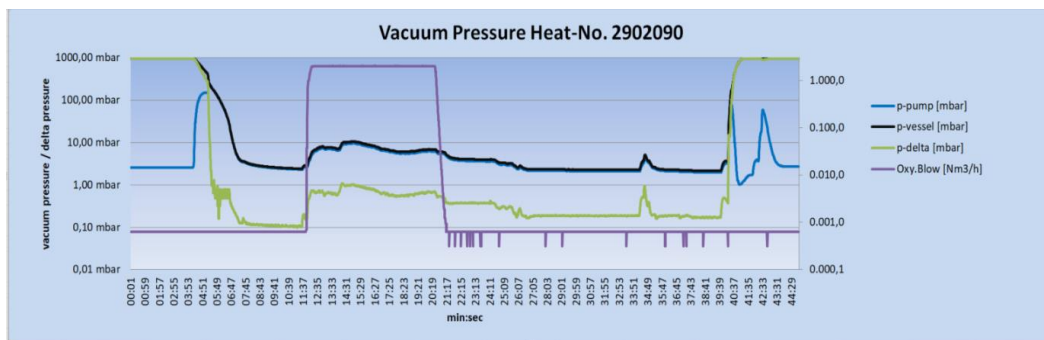


Figura 6: perda de pressão durante um tratamento típico

3. CRITÉRIO DE ESCOLHA: BOMBAS MECÂNICAS DE VÁCUO À SECO OU EJETORES DE VAPOR

Diante da ideia de um novo design por parte da Primetals Technologies em tudo que se há de melhor, para atender uma maior eficiência no sistema de vácuo de uma planta de RH, de acordo com as necessidades e preocupações de cada cliente, podemos descrever nesse capítulo alguns comparativos entre um sistema de bombas e outra, de forma que cada cliente possa analisar e decidir qual é o tipo de planta que melhor se encaixa em sua unidade produtiva, enquanto a Primetals Technologies cuida para que se tenha o melhor projeto possível, de acordo com seu alto nível de conhecimento dessas duas tecnologias.

Importante é pensar que, independentemente do tipo de bomba de vácuo a ser implantada, deve-se pensar em qual tipo de massa disponível se deseja para transportar os elementos metalúrgicos, de forma rápida e eficiente, ou seja, a bomba mecânica é um transportador de volume, portanto tem uma capacidade de sucção constante em toda a faixa de pressão, temperatura e faixa de umidade, enquanto que a bomba de vapor é um transportador de massa, onde a baixas pressões, se perde desempenho com nenhuma capacidade de sucção constante em diferentes temperaturas, sendo influenciada pela umidade e separador de poeira, que influencia em muito na capacidade de sucção desse tipo de bomba.

Além destes aspectos, é importante ressaltar algumas vantagens entre as bombas de vácuo, para decidir no momento da escolha entre elas, ou seja, quando se trata de bomba mecânica de vácuo a seco controlada por um conversor de frequência, se observa precisão de controle da capacidade de sucção mais apurada com repetibilidade total do processo e controle otimizado, enquanto que no processo com bomba de vapor controlada pela adição de etapas, se observa pontos na capacidade de sucção ao adicionar um estágio de ejetor adicional, com grande responsabilidade do operador e nenhuma automação real possível.

3.1. Relação Custos das bombas de vácuo

Este é um item de extrema importância, no momento de decidir o tipo de bomba a ser instalada na unidade, pois se deve medir antes de tudo a disponibilidade de energia da região. De um lado, temos o projeto com bomba mecânica acionada por

energia elétrica e por outro lado, a opção da bomba de vapor, acionada por vapor superaquecido. Os custos de bombas mecânicas portanto, não é necessário armazenamento de energia, dependendo apenas ligar ou desligar o interruptor para demanda de vácuo, sem transporte de energia necessária, enquanto que os custos de bombas de vapor necessitam de carga e armazenamento de vapor necessária na caldeira, com aquecimento constante para produzir vácuo sob demanda, além da necessidade de transporte de combustível ou gás para queimadores e transporte de vapor para os ejetores necessários aos tubos de vapor.

Outro fator que pode onerar o custo é o consumo de água de contato e nessa comparação para analisar os custos de bombas de vácuo, observa-se que a bomba mecânica não tem água de contato, portanto sem poluição de bombas, significa pouca manutenção e por produzir apenas pó seco durante o processo, significa fácil manuseio do pó, onde esse manuseio da poeira seca facilita o gerenciamento ambiental. Quando se analisa a bomba de vapor que mistura água e poeira, se observa grande esforço de limpeza necessário, porque a mistura de água e poeira, causa sujeira, com necessidade de separar a poeira depois, fora da água, gerando grande esforço para alcançar a gestão ambiental.

Ainda no que se refere aos aspectos ecológicos, se observa que o uso de bombas mecânicas não tem emissão de CO₂, não precisa de condicionamento, tem um rendimento energético superior e não tem perda de energia e nem corrosão, de forma que o desgaste insignificante precisa de serviço programado apenas uma vez por ano. Diante dos aspectos econômicos, observa-se que as bombas mecânicas não tem perdas de marcha lenta (vácuo literalmente sob demanda), tem uma vida mais longa, com um melhor rendimento energético e portanto, precisa de menos manutenção, possibilitando baixar os custos de operação em torno de 1,5 € ou mais por tonelada de aço, com alvos de processo mais altos, tempos de bombeamento muito curto, operação contínua e sem problemas com disponibilidade imediata de vácuo e pequenos custos de funcionamento.

Além disso, na prática foi observado um aumento rápido na performance das bombas mecânicas a partir do segundo tratamento de aço em diante, com aumento da frequência das bombas e conseqüente redução do tempo para atingir o grau máximo de vácuo profundo, conforme pode ser observado no gráfico.

Em algumas sequencias de produção foi necessário trabalhar com menos bombas, devido a sua força em atingir valor abaixo de 1 mbar, em um tempo menor que 2 minutos. Os baixos custos de manutenção, o controle de processo totalmente automatizado com design aberto e modular, além da necessidade de espaço individual personalizado para as suas necessidades, com redundância no conjunto de bombas, chamam atenção para escolha desse tipo de projeto que tem potencial de sobra para expandir nos futuros investimentos das Siderúrgicas integradas.

3.2. Resultados obtidos no Teste de Performance do Desgaseificador RH

No projeto do RH-OB na Siderúrgica do México, todas as garantias de performance foram cumpridas antes do prazo final, garantindo dessa forma a satisfação do cliente. Para que esses resultados tenham sido plenamente satisfatórios, foi necessária uma atenção especial em cada detalhe da montagem estrutural, visando evitar possíveis fugas, que poderiam afetar o nível de vácuo nos testes à frio e a quente. Os testes de estanqueidade do sistema da bomba de vácuo e sistema do filtro, apresentou resultado (Figura 7) com valor de 11,2 kg/h em 6 minutos de testes com zero e 100 kg inseridos de perda de carga no manifold de testes, após o desligamento das bombas.

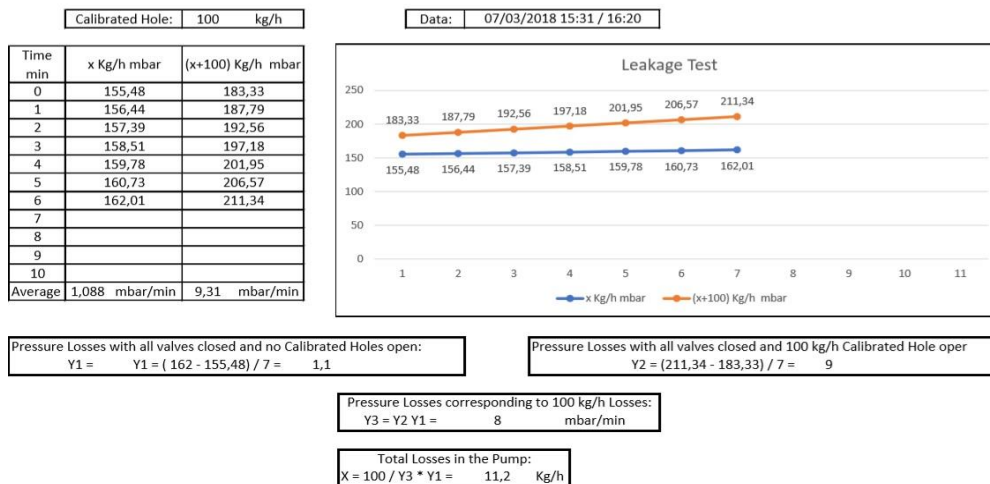


Figura 7: testes de estanqueidade do sistema de vácuo entre filtros e bombas

Essa garantia de estanqueidade garantiu obter de forma rápida os demais testes de performance de garantia, entre eles, o tempo de Pump-Down, com resultados abaixo de 1 mbar em tempos entre 2 e 3 minutos nas corridas de teste de performance, sendo que o valor de garantia, estava estabelecido em uma pressão $\leq 1,33$ mbar com tempo de até 6 minutos. Os testes de performance, com o novo design da Lança COB da Primetals Technologies, também apresentaram excelentes resultados, tanto para o aquecimento do vaso, quanto para o aquecimento químico das corridas de aço produzidas. Para o primeiro teste do novo design da lança COB, foi usado um vaso refratado frio, seguindo o padrão das etapas de aquecimento para essa condição, e observou-se um comportamento superior do valor real em relação ao valor estimado previsto obtido por um outro modelo de lança usada em um outro Desgaseificador RH.

Para validação dos testes de performance de aquecimento químico, em todos os casos, o resultado obtido (Figura 8) esteve acima das garantias de projeto correspondentes a 5 °C/min, comprovando a importância na concepção do projeto como um todo, para garantia e melhor favorecimento das reações no processo.

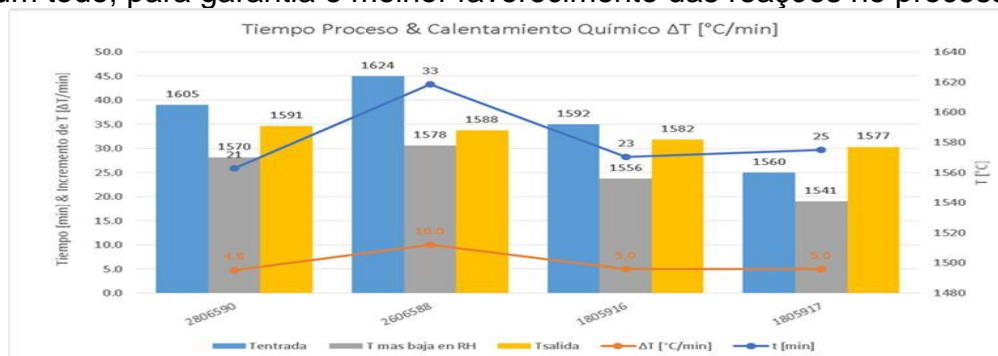


Figura 8: Resultados de validação dos testes de performance do aquecimento químico

Com estes testes iniciais de garantia de performance aprovados de primeira, ficou fácil a obtenção dos demais resultados metalúrgicos relativos à remoção de Hidrogenio e Nitrogenio. A Siderúrgica do México, que antes trabalhava com os aços comerciais com um teor de gás Hidrogênio não superior a 7 partes por milhão, agora com a aquisição desse novo projeto RH-OB, passa a trabalhar com os aços destinados a aplicações automotivas, gasodutos e combustíveis, que exigem um material mais limpo, com menos de 1,5 partes por milhão de Hidrogênio. Durante o

período de acompanhamento por parte da Primetals Technologies para comissionamento, foram produzidas 725 corridas nesse novo Desgaseificador RH, que serviram tanto para ajustes necessários, quanto para a capacitação das equipes de operação e manutenção da Siderúrgica do México. A Figura 9 mostra a distribuição de corridas produzidas, por tipo de aço.

Distribuição de corridas por tipo de aço no RH-OB durante Comissionamento



Figura 9: Distribuição de corridas por tipo de aço produzidas no RH durante Comissionamento

A maior parte da produção desse novo RH desde o seu startup, tem sido voltada para a carteira de aços com baixa exigência de Hidrogênio, portanto, são quase 60% do mix de produção para desgaseificação e alguns desses resultados, são apresentados na Figura 10.

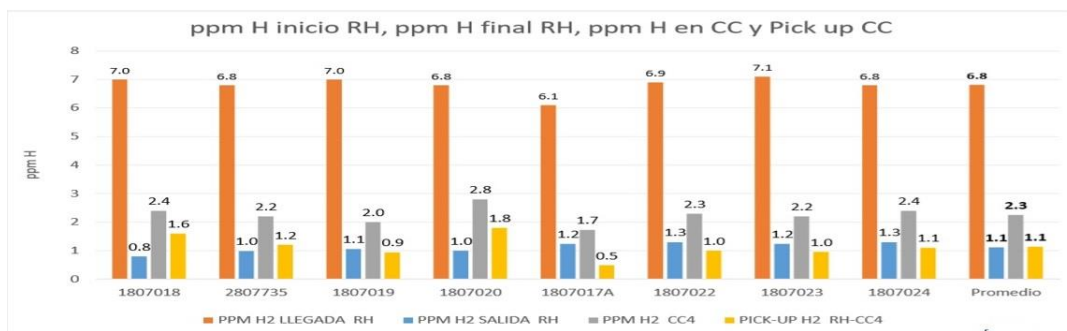


Figura 10: Relação do teor de Hidrogênio nas etapas de processo

Observa-se no gráfico abaixo que os resultados dos teores de Hidrogênio final no RH superaram as expectativas, levando em consideração os baixos tempos de tratamento em vácuo. Na garantia do teste de performance se exigia um tempo mínimo de 20 minutos de circulação, para obtenção do Hidrogênio na ordem de ≤ 7 para 1,5 ppm, porém na prática, foi possível obter resultados abaixo de 1,3 ppm em tempo médio de 16,8 minutos de tratamento de vácuo, (ver na Figura 11).

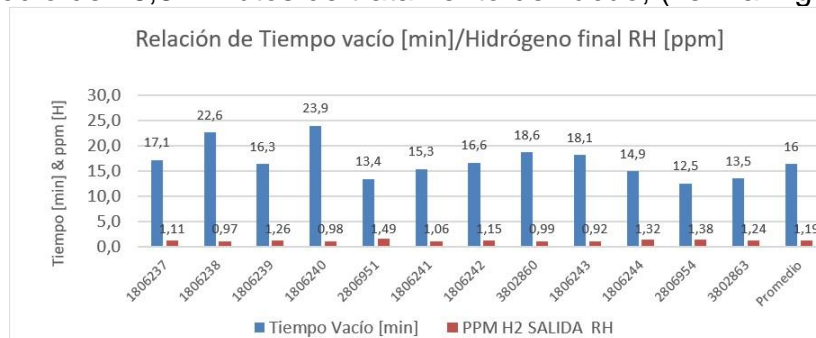


Figura 11: Relação entre o tempo de vácuo e Hidrogênio na final do RH

Os testes de performance para Nitrogênio também apresentaram resultados favoráveis, dentro das condições necessárias anteriores ao processo de RH. Outro resultado de um sequencial de corridas com análise do LECO para observar o pick up entre o RH e o Lingotamento, é apresentado. (ver Figura 12).

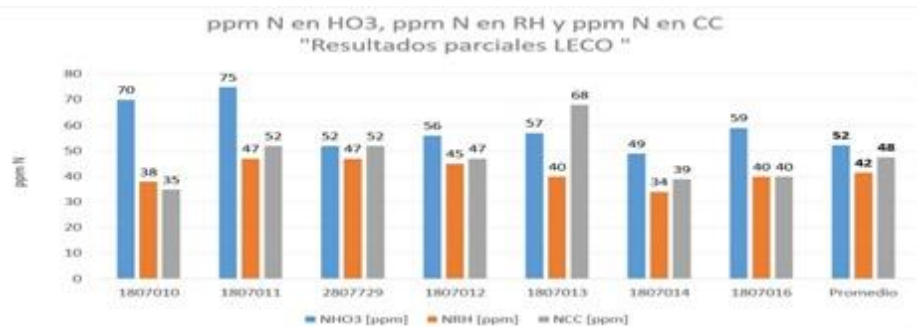


Figura 12: Resultados de Nitrogênio por análise de LECO para verificar pick up.

Os resultados da Descarburização Natural e Forçada apresentaram resultados satisfatórios na obtenção de Carbono final das seis corridas necessárias para o teste de performance. Nas demais 45 corridas de sequenciais produzidas de Ultrabaixo Carbono, a grande maioria apresentou resultado médio de 20 ppm, no resultado final. Também foram produzidas 6 corridas de IF (Fins elétricos), com resultados positivos de Carbono < 30 ppm e demais elementos na faixa específica desejada, após lingotamento. Na análise da composição química, é possível ver o resultado de Carbono final de RH, obtido em uma das corridas da série de aço Ultra Baixo Carbono (ver figura 13).

MUESTRA DE ANALISIS QUIMICOS DE COLADA											
Convertidor 1 2 3 4 Coladas 2902299 Grado 002-088 Desc. RA-IF-UBC-RH Pedido 917176											
Elen	Min	Des	Max	CO2- 101	EA2- 101	CO2- 102	EM1- 201	RH1- 401	RH1- 402	RH1- 403	RH1
				29/03 16:12	29/03 16:30	29/03 16:20	29/03 17:04	29/03 17:37	29/03 17:49	29/03 17:57	29/03
C	0	0	0.003	0.038	0.029	0.035	0.025	0.01	0.003	0.004	0.001
Mn	0.15	0.18	0.2	0.12	0.07	0.1	0.06	0.06	0.04	0.19	0.18
P	0	0	0.015	0.018	0.013	0.015	0.011	0.012	0.013	0.012	0.013
S	0	0	0.015	0.006	0.007	0.006	0.005	0.007	0.006	0.006	0.006
Si	0	0	0.025	0.003	0.001	0.003	0	0.001	0	0.003	0.003
Cr	0	0	0.05	0.027	0.026	0.026	0.027	0.03	0.032	0.034	0.033
Ni	0	0	0.05	0.013	0.012	0.011	0.014	0.014	0.014	0.013	0.014
Mo	0	0	0.02	0.007	0.006	0.007	0.023	0.029	0.031	0.031	0.031
Al	0.03	0.05	0.07	0.277	0.229	0.007	0.006	0.004	0.005	0.007	0.009
A	0.03	0.05	0.07	0	0	0.238	0.232	0.002	0.001	0.001	0.006
V	0	0	0.005	0.001	0.001	0	0.177	0	0.001	0.001	0.003
Fe	0	0	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Figura 13: Resultado de Carbono de liberação final no RH-OB

Na parte de automação, o modelo cíclico do Nível 2 funcionou perfeitamente, com destaque ao gráfico de acerto de temperatura. As referências entre valor teórico e real, com informação da perda térmica entre as medições, foi fator determinante na tomada de decisão rápida, durante o processo em tratamento. Esse modelo implantado em forma gráfica, com informações de perda térmica (Figura 14), serviu de referência para implantação nos demais refin. após o comissionamento.



Figura 14: Modelo cíclico no Nível 2 para medir perda térmica entre medições.

No Nível 1, algumas telas de controle do equipamento foram preparadas para facilitar o trabalho operacional de forma prática e rápida, interligando os comandos principais em uma tela geral, além de uma tela especial com informações agrupadas e em linha para controle minuto a minuto do que ocorre durante o processo. Uma tela exclusiva foi desenvolvida para o controle diário e mensal de consumo dos gases e energia, visando melhor controle dos custos operacionais no RH-OB (Figura 15)



Figura 15: Tela de Nível 1 para controle diário e mensal de consumo dos gases e energia

Um dos resultados que chama atenção quando se tem um melhor controle do processo, é o resultado da vida do vaso refratado. Normalmente nos testes de comissionamento, os primeiros vasos montados não conseguem atingir uma vida superior a 100 corridas, em função de ajustes e falta de sequenciamento. Contrariando esse histórico, o primeiro vaso do lado B usado nos testes de comissionamento, atingiu um resultado positivo de 129 corridas, com um tempo de 2125 minutos de tratamento, o qual, passou a ser referência e alvo a ser batido nos demais vasos montados desse novo RH-OB.

4 CONCLUSÃO

A melhoria da qualidade do aço em combinação com as soluções da Indústria 4.0 também é aplicada às mais recentes aplicações de tecnologia de vácuo. A Primetals Technologies continua investindo em pesquisa na produção de aço, dando aos produtores de aço as mais recentes “Soluções do Estado da Arte”. As tendências claras do processo de vácuo, ligadas a soluções mecânicas secas são

estabelecidas, reduzindo os custos operacionais combinados com as mais recentes aplicações tecnológicas disponíveis aplicado às plantas a vácuo. A melhoria da qualidade é um fator-chave para o produtor de aço ampliar seu portfólio de produtos, e a instalação das plantas de vácuo é uma solução típica para atingir esse objetivo. O desgaseificador do tanque de vácuo e / ou o desgaseificador de recirculação RH, continuam sendo o equipamento de vácuo mais utilizado, e sua melhoria de projeto continua sendo o foco dos principais produtores de plantas.