

REVESTIMENTO REFRAATÓRIO DOS SKIDS*

Danilson Gonçalves de Melo e Silva¹
Lis Nunes Soares²
Guillaume Antoine Jean Luc Neel³
Luís Fernando Oliveira Rodrigues⁴
Rodrigo Venâncio Silva⁵

Resumo

O balanço de energia realizado em um forno de aquecimento de tarugos apresentou rendimento de 53%. A maior perda energética estava relacionada ao sistema de refrigeração dos skids, cujo valor calculado foi de 18%. Objetivando minimizar tais perdas, estudou-se a utilização de um novo tipo de revestimento refratário para esta região. O fabricante de refratários apresentou uma estimativa de ganho de 62%. Desta forma, a VBR planejou um teste para validar a eficiência do refratário proposto. Neste teste, o produto foi instalado em uma viga auxiliar. Esta viga foi instrumentada, e foram registrados dados de vazão, pressão e temperatura do fluido de refrigeração (água). Objetivando comparar estes valores com o material convencional anteriormente instalado, outra viga com as mesmas características (dimensões e posição no forno) também foi instrumentada. Posteriormente, foram feitos os balanços de energia em cada viga para quantificação das perdas de energia térmica. Os resultados encontrados mostram uma redução de 92% da perda térmica relacionada ao sistema de refrigeração dos skids. Considerando a eficiência do forno de 53% e a redução de 92% da perda térmica, estima-se uma economia de R\$ 1.200.000 por ano.

Palavras-chave: Balanço de energia; Revestimento refratário; Forno de soleira caminhante.

SKIDS REFRACTORY LINING

Abstract

Heat balance made in a billet heating furnace had a yield of 53%. The greatest energy loss was related to the cooling system of the skids, which value was 18%. In order to minimize such losses, the use of a new type of lining at the skids was studied. The refractory's manufacturer, had an estimated gain of 62% with this new refractory material. Thus, VBR planned a test to validate the efficiency of the refractory proposed. In this test, the product was installed on an auxiliary beam. The beam was instrumented and data as volumetric flow, pressure and temperature of the cooling fluid (water), were recorded. In order to compare these values with the values of previously installed conventional material, another beam with the same characteristics (dimensions and position in the furnace) was also instrumented. Later the thermal energy balances were made in each beam for quantification of thermal energy losses. The results showed a 92% reduction of thermal losses linked to the cooling system of the skids. Considering the yield of the furnace of 53% and 92% of reduction of thermal losses leads to an annual saving of R\$ 1.200.000.

Keywords: Energy balance; Refractory lining; Walking beam furnace.

¹ Eng. Químico, Mestre, Eng. de Projetos; Investimentos, Projetos e Manutenção; Vallourec Tubos o Brasil S.A., Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Eng. Mecânica, Doutora, Eng. de Processos Sênior, Área de Tecnologia Térmica, Superintendência Geral de Produção, Vallourec Tubos do Brasil S.A., Belo Horizonte, MG, Brasil.

³ Engenheiro de Materiais, Coordenador da Engenharia do Processo, Superintendência de Laminação Automática, Vallourec Tubos do Brasil S.A., Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁴ Estudante de Eng. Mecânica, estagiário, Área de Tecnologia Térmica, Superintendência Geral de Produção, Vallourec Tubos do Brasil S.A., Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁵ Estudante de Eng. Mecânica, estagiário, Área de Tecnologia Térmica, Superintendência Geral de Produção, Vallourec Tubos do Brasil S.A., Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Conforme balanço de energia realizado no forno de aquecimento de tarugos, o rendimento apresentado por este equipamento foi de 53%, sendo que a maior perda térmica registrada, estava relacionada ao sistema de refrigeração dos skids, cujo valor anotado foi de 18%. O forno em questão é de soleira caminhante e usa gás natural e gás misto (gás de alto forno enriquecido com gás natural) como combustível. O sistema de refrigeração do forno é alimentado com água nas seguintes condições: Temperatura cerca de 472K e Pressão cerca de 1,8MPa. Desta forma, visando priorizar as atividades relacionadas à eficiência energética do forno de aquecimento, este trabalho tem como objetivo testar e validar outro tipo de revestimento refratário para os skids. Para o teste, duas vigas foram instrumentadas, uma delas com o novo revestimento e a outra com o antigo, e dados de temperatura, pressão e vazão do líquido de refrigeração foram coletados e usados para comparar a eficiência dos dois tipos de revestimentos refratários.

A estimativa de redução de perda de energia pelo fornecedor através da instalação do novo revestimento refratário era de aproximadamente 62%.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Forno de Aquecimento de Tarugos

O forno de aquecimento de tarugos deste trabalho é retangular, de soleira caminhante, possui duas filas paralelas e independentes, com 67 posições cada, onde localizam-se os skids para acomodar as peças. Os skids são refrigerados com água. A soleira é constituída por vigas nas quais a carga fica suspensa para ser aquecida acima e abaixo da linha de passe, conforme Figura 1. As peças são enfornadas à temperatura ambiente e desenfornadas com temperatura entre 1423 K e 1593 K, dependendo do material. A capacidade nominal do forno é de 75 toneladas por hora. A saída da chaminé está localizada logo abaixo da porta de entrada, forçando o escoamento dos gases de combustão em contracorrente ao deslocamento dos tarugos.

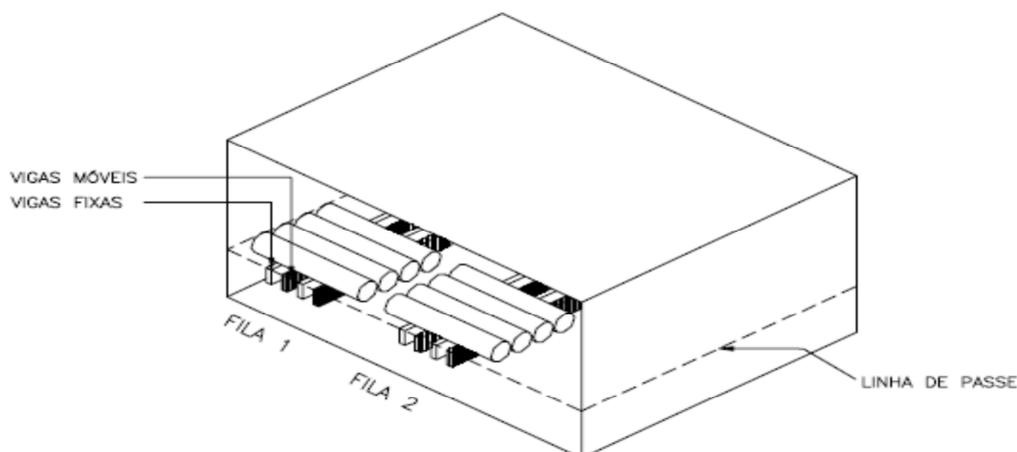


Figura 1 – Disposição dos tarugos no forno de aquecimento.

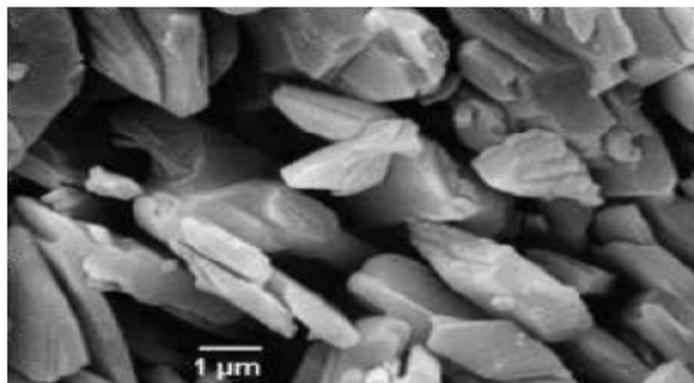
2.2 Novo Revestimento Refratário para os Skids

Com o intuito de testar e validar outro tipo de revestimento refratário e melhorar a eficiência energética do forno de aquecimento, reduzindo as perdas devido ao sistema de refrigeração dos skids, foi testado o material SLA-92 da empresa de refratários. Este material denomina-se hibonita (hexa-aluminato de cálcio – CA_6 , onde $C=CaO$ e $A=Al_2O_3$) e foi desenvolvido pela empresa ALMATIS como uma alternativa inovadora para substituir as fibras cerâmicas refratárias. Dados físico-químicos e mineralógicos do SLA-92 são mostrados na Tabela 1. A introdução deste material, como uma nova matéria-prima para materiais isolantes, na indústria de refratários ocorreu em 1998. Esse material apresenta uma boa estabilidade térmica em temperaturas de até 1723 K, possuindo propriedades únicas em relação a sua pureza química, composição mineralógica, porosidade, estabilidade térmica e química, isolamento térmico e resistência ao dano por choque térmico [1].

Outras duas características interessantes deste material são a sua microestrutura e o tamanho/distribuição de seus poros. Em relação a sua microestrutura, Figura 2, como o agregado CA_6 possui um formato de plaquetas, esta característica confere ao material uma alta resistência ao dano por choque térmico. Já a segunda característica torna este produto um ótimo isolante térmico, uma vez que este apresenta uma porosidade aparente de 70-75% e uma distribuição estreita do tamanho médio dos poros (4,5 μ m). O valor de condutividade térmica do produto SLA-92 é de 0,4W/m*K a 1473 K [2], sendo que acima desta temperatura, este produto apresenta uma melhor eficiência térmica do que as fibras cerâmicas refratárias.

Tabela 1 – Dados físico-químicos e mineralógicos da matéria prima [3]

Composição química %	Típico	Mínimo	Máximo
Al_2O_3	91	90	
CaO	8,5		9,2
Na_2O	0,4		0,5
SiO_2	0,07		0,2
Fe_2O_3	0,04		0,1
Propriedades físicas			
densidade (kg/l)	0,5-0,6		
densidade aparente	0,8		0,95
composição da fase mineral	CA_6 ($CaO \cdot 6 Al_2O_3$) – Maior CA_2 - menor $\alpha-Al_2O_3$ - menor		
tamanhos disponíveis		3-6 mm 1-3 mm 0-1 m	

Figura 2 – Microestrutura de plaquetas do CA_6 [3].

2.3 Teste para Validar a Eficiência Térmica do Novo Revestimento

Com o intuito de comprovar o desempenho energético do novo revestimento refratário proposto realizou-se um teste durante a parada do forno para manutenção. A Vallourec Tubos do Brasil S.A. (VBR) instalou o novo tipo de refratário, SLA-92, em uma viga auxiliar em um dos lados do forno, denominado neste trabalho lado 2 (lado laminação). Com o intuito de comparar a eficiência dos dois tipos de revestimentos, outra viga auxiliar, com o revestimento atual, do lado oposto do forno denominado lado 1 (matéria-prima), em posição simétrica; foi utilizada para comparação. Estas duas vigas estão localizadas na zona de encharque do forno. A Figura 3, em seguida, ilustra os lados do forno supracitados.

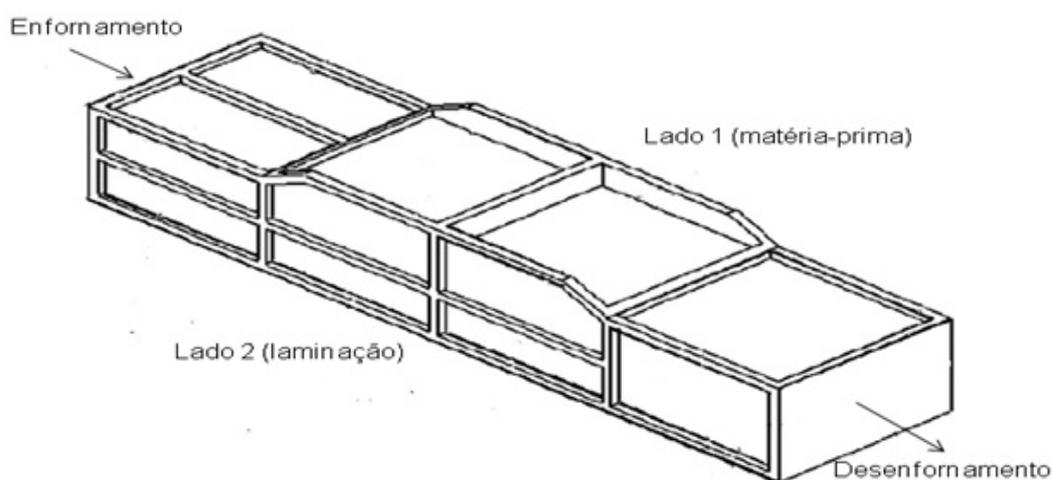


Figura 3 – Desenho esquemático do forno de aquecimento de tarugos

As vigas auxiliares usadas para os testes são compostas por uma longarina de 12,6 m de comprimento e diâmetro de 0,090 m (x2), 03 colunas simples de 2,0 m e diâmetro de 0,11 m e 01 coluna dupla de 2,0 m e diâmetro de 0,090 m (x2). A área total de cada viga auxiliar é de aproximadamente 10,3044 m². A Figura 4 abaixo ilustra a vista superior do forno em corte, destacando a localização das vigas auxiliares instrumentadas para o teste.

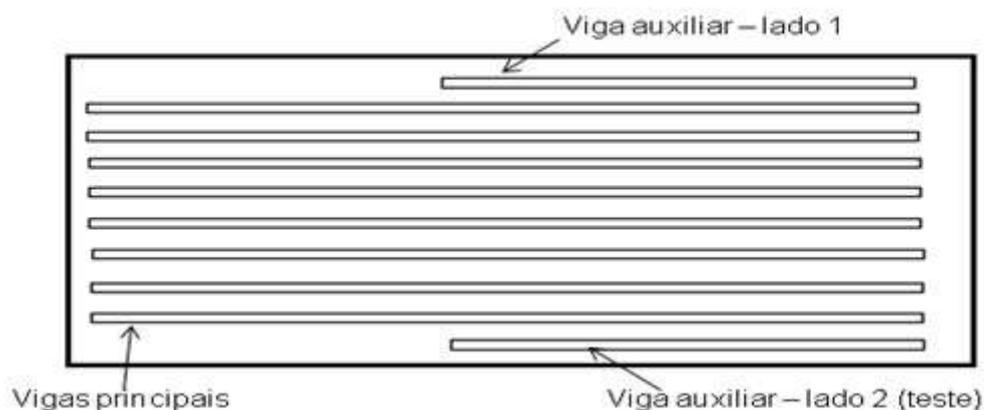


Figura 4 – Vista superior do forno em corte

As duas vigas foram instrumentadas com sensores pt 100 para que dados de temperatura do fluido de refrigeração fossem registrados. Esses sensores são termoresistores que possuem um poço termométrico, classe de pressão 14,4 kPa e o limite de erro é de $\pm 0,15 + (0,002 \cdot T)$ K. A Figura 5, mostra a localização dos sensores nas entradas da água de refrigeração das duas vigas do teste e as Figuras 6 e 7 mostram a localização dos sensores nas saídas das vigas do lado 2 e lado 1, respectivamente.

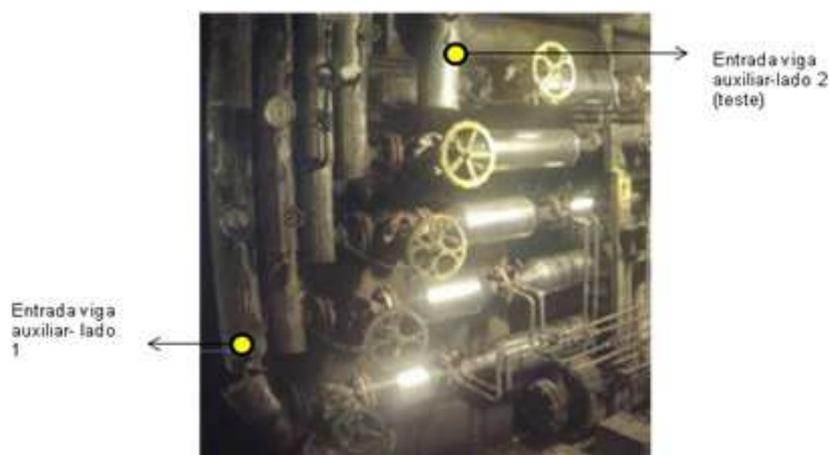


Figura 5 – Localização dos sensores na entrada das vigas auxiliares.

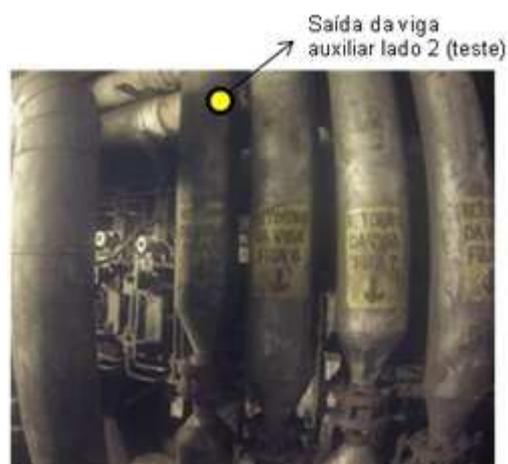


Figura 6 – Localização dos sensores na saída da viga auxiliar lado 2(material de teste).



Figura 7 – Localização dos sensores na saída da viga auxiliar lado 1.

Posteriormente, foram feitos os balanços de energia em cada viga para quantificação das perdas de energia térmica. A potência dissipada através do fluido de refrigeração, para as duas vigas, foi calculada conforme Equação 1 abaixo:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot (h_s - h_e) \quad (1)$$

Onde:

\dot{Q} = potência dissipada através do fluido de refrigeração (kW)

\dot{m} = vazão mássica do fluido de refrigeração (kg/s)

h_s = entalpia do fluido de refrigeração na saída da viga (kJ/kg)

h_e = entalpia do fluido de refrigeração na entrada da viga (kJ/kg)

Os valores de densidade e entalpia foram obtidos através de tabelas termodinâmicas do software ChemicalLogic Steam Tab Companion

Com os resultados obtidos pelos cálculos usando a Equação 1 é possível avaliar e validar o revestimento refratário em relação à eficiência energética.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estimativa Inicial do Potencial de Economia para o Novo Revestimento Testado

Inicialmente, com o intuito de estimar o potencial de economia do novo revestimento proposto pela empresa de refratários, utilizou-se como base o consumo anual de energia do forno de aquecimento em 2012.

Conforme as informações do balanço de energia, as perdas devido ao sistema de refrigeração dos skids são de aproximadamente 18% da energia total fornecida ao forno. O novo revestimento refratário, proposto pela empresa de refratários, apresenta uma redução estimada nas perdas energéticas de 62%. Contudo, somente parte dessa energia será utilizada para o aquecimento de tarugos, quando considerado o rendimento do forno de 53%. O restante é perdido para outros pontos onde há fuga de energia (abertura de porta, canal de fumos, etc).

Logo, a partir dessas informações e considerando-se a porcentagem de energia reaproveitada entre 50% e 60%, pode-se estimar que a redução das perdas com o novo material refratário proporciona uma economia de energia anual que estará entre R\$ 800.000,00 e R\$ 1.000.000,00.

3.2 Resultado do Teste com o Novo Material Refratário

Para quantificar a potência dissipada através do fluido de refrigeração nos dois diferentes materiais refratários comparados, foram considerados os valores das medições de temperatura na entrada e saída das vigas auxiliares entre os dias 12/09/2014 e 11/10/2014. Os registros obtidos aos domingos foram negligenciados devido à redução de temperatura interna do forno. A vazão volumétrica do fluido de refrigeração considerada foi de 17m³/h e a pressão do sistema igual a 1,8 MPa. Com os valores das temperaturas e pressão do sistema, determinou-se o estado do fluido (líquido) e obtiveram-se os valores de densidade e entalpia.

Na Tabela 2 encontram-se os valores das temperaturas, desvios-padrão, densidade e entalpia da água de refrigeração das vigas auxiliares.

Tabela 1 – Valores da água de refrigeração para a realização dos cálculos

	Entrada da viga (lado 2- teste)	Saída da viga (lado 2- teste)	Entrada da viga (lado 1)	Saída da viga (lado 1)
T(K)	475,2244	475,6628	472,2288	478,2124
σ (desvio-padrão)	0,3872	0,2964	0,2901	0,9186
P (densidade) - kg/m³	862,181	861,653	865,762	858,556
H (entalpia) kJ/kg	862,381	864,357	848,905	875,871

Transformando o valor de vazão volumétrica para vazão mássica, encontra-se 4,07 kg/s. Calculando-se a potência dissipada nas vigas auxiliares através da Equação 1, obtêm-se os seguintes valores;

- Viga com o novo material refratário (teste) – 8,0426 kW;
- Viga com o material refratário atual – 109,7868 kW.

Dividindo os resultados das potências dissipadas em cada uma das vigas auxiliares pela sua área, 10,3044 m², têm-se os seguintes resultados;

- Viga com o novo material refratário (teste) – 0,7804 kW/m²;
- Viga com o material refratário atual – 10,6543 kW/m².

De acordo com os valores encontrados, a redução nas perdas de energia devido ao novo revestimento é de aproximadamente 92%.

3.3 Discussão dos Resultados

De acordo com as informações fornecidas pelo fabricante o refratário SLA-92 seria 62% mais eficiente que o material refratário usado no forno de aquecimento de tarugos. Porém, os resultados do teste apontam para um valor de eficiência superior, cerca de 92%, ao esperado. Esta diferença pode ser explicada pelo fato do revestimento refratário da viga auxiliar com material convencional ter sido instalado em paradas de manutenção anteriores, sofrendo perdas em suas propriedades físico-químicas com o tempo.

Desta forma, considerando-se a redução de 92% nas perdas de energia pelo sistema de refrigeração dos skids, e uma eficiência do forno de 53%; baseando-se

no consumo anual de energia do forno para o ano de 2012, estima-se uma economia de energia anual entre R\$ 1.200.000,00 e R\$ 1.400.000,00. Estes valores superam a estimativa inicial do fabricante para o potencial de economia anual com o uso deste novo material refratário, que consideravam uma redução nas perdas de 62% e geraria uma economia anual entre R\$ 800.000,00 e R\$ 1.000.000,00.

O custo estimado de material e mão de obra para instalação do material SLA-92 em todo o forno de aquecimento é cerca de R\$ 4.410.000,00. Tendo em vista a economia prevista no teste o pay-back simples é cerca de 3,7 anos.

Neste trabalho não foi avaliado o quesito vida útil do revestimento proposto.

4 CONCLUSÃO

Neste presente trabalho foi verificada a eficiência energética do revestimento refratário microporoso da empresa de refratários, em relação ao antigo revestimento usado. Este novo produto foi instalado nas longarinas da viga auxiliar, de um dos lados do forno de aquecimento, e sua eficiência foi comparada com a do antigo material usado. O novo material refratário testado, SLA-92, apresentou maior eficiência e proporcionou cerca de 92% de redução nas perdas de energia pelo sistema de refrigeração dos skids, o principal canal para as perdas do forno. Este valor superou a redução das perdas estimada pelo fabricante do material, que era cerca de 62%. Desta forma, a utilização do SLA-92 proporcionaria uma economia anual em combustíveis estimada entre R\$ 1.200.000,00 e R\$ 1.400.000,00. Vale ressaltar que foram comparados revestimentos em estados distintos de uso (um novo e outro instalado em paradas anteriores).

Agradecimentos

À empresa Vallourec Tubos do Brasil S.A. por fomentar trabalhos de pesquisa e desenvolvimento. Em especial à Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- 1 Overhoff A, Buhr A, Grass J, Wuthnow H. New microporous material for use in modern firing plants. Cfi/Ber.DKG. 2005;82(29):29-32.
- 2 Schnabel M et al. Advantages of calcium hexaluminate in a corrosive environment. Refractories World Forum. 2011;3:87-94.
- 3 Lorenz RK, Buhr A, Racher RP. Industrial application experience with microporous calcium hexaaluminate insulating material SLA-92. Internationales Feuerfest-Kolloquium. 2005;48:66-70.