

REPAROS ESPECIALIZADOS EM REGENERADORES*

Johannes Münzer¹

Luis Fernandode Menezes Vieira²

Eric Schaub³

Rêmulo Andrade Maia⁴

Resumo

Regeneradores são elementos importantes em uma usina siderúrgica. Eles são os responsáveis pelo aquecimento do ar de sopro aplicado no alto-forno a partir do aproveitamento da energia contida nos gases do processo de produção de ferro gusa. Dessa forma, os regeneradores estão diretamente associados ao processo siderúrgico. Durante do seu ciclo de trabalho, o qual se denomina campanha, problemas podem ocorrer devido a variações operacionais indesejadas, falhas de projeto, entre outros fatores. Num ambiente onde o tempo cessante de um equipamento gera enormes custos, a solução é desenvolver soluções customizadas que minimizem essa interrupção. Cada uma das partes do regenerador tem funções únicas e conseqüentemente soluções únicas, que visam o reparo no estado da arte com menor custo.

Palavras-chave: Refratário; Regeneradores; Reparo a quente; Baixo custo.

SPECIALIZED REPAIR IN HOT BLAST STOVES

Abstract

Hot blast stoves are important elements inside an ironmaking plant. They are responsible for heating up the air used within the blast furnace by using the energy contained in the process gases generated during the pig iron production process. Therefore, hot blast stoves are directly connected with the iron- and steelmaking processes. During their life cycle, which is called "campaign", problems might occur due to undesired operational deviations, design faults, other reasons. Considering the market, where equipment shutdown time means high cost, the best solution is developing tailor-made solutions, to minimise this interruption. Each part of a hot blast stove has unique functions. Proper repair methods can be developed to perform the repair at the state of the art with the lowest possible cost.

Keywords: Refractory; Hot blast stoves; Hot repair; Low cost.

¹ Engenheiro, Paul Wurth, Mainz Kastel, Alemanha.

² Engenheiro, Paul Wurth, Belo Horizonte, Brasil

³ Engenheiro, Paul Wurth, Mainz Kastel, Alemanha.

⁴ Engenheiro, Paul Wurth, Belo Horizonte, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Durante o ciclo de vida de um regenerador podem ocorrer problemas devido a diversos motivos, tais como, explosões, distúrbios operacionais, além de um projeto inadequado e do uso de materiais não adequados. *Soluções* convencionais muitas vezes requerem que o equipamento seja retirado de operação por um longo período para que apenas uma pequena área seja devidamente reparada, gerando assim custos que poderiam ser evitados. Atualmente a Paul Wurth tem se dedicado a desenvolver soluções especializadas para cada tipo de dano, visando o mínimo de tempo cessante do equipamento e propondo soluções no estado da arte com a melhor relação custo/benefício. Os últimos desenvolvimentos e aplicações têm alcançado sucesso conciliando altas elevações de reparo da parede divisória dentro da câmara de combustão com mínimo tempo cessante. A seguir serão descritos alguns dos problemas mais comuns e suas possíveis soluções. A figura 1 mostra uma planta típica de regeneradores em uma usina integrada.

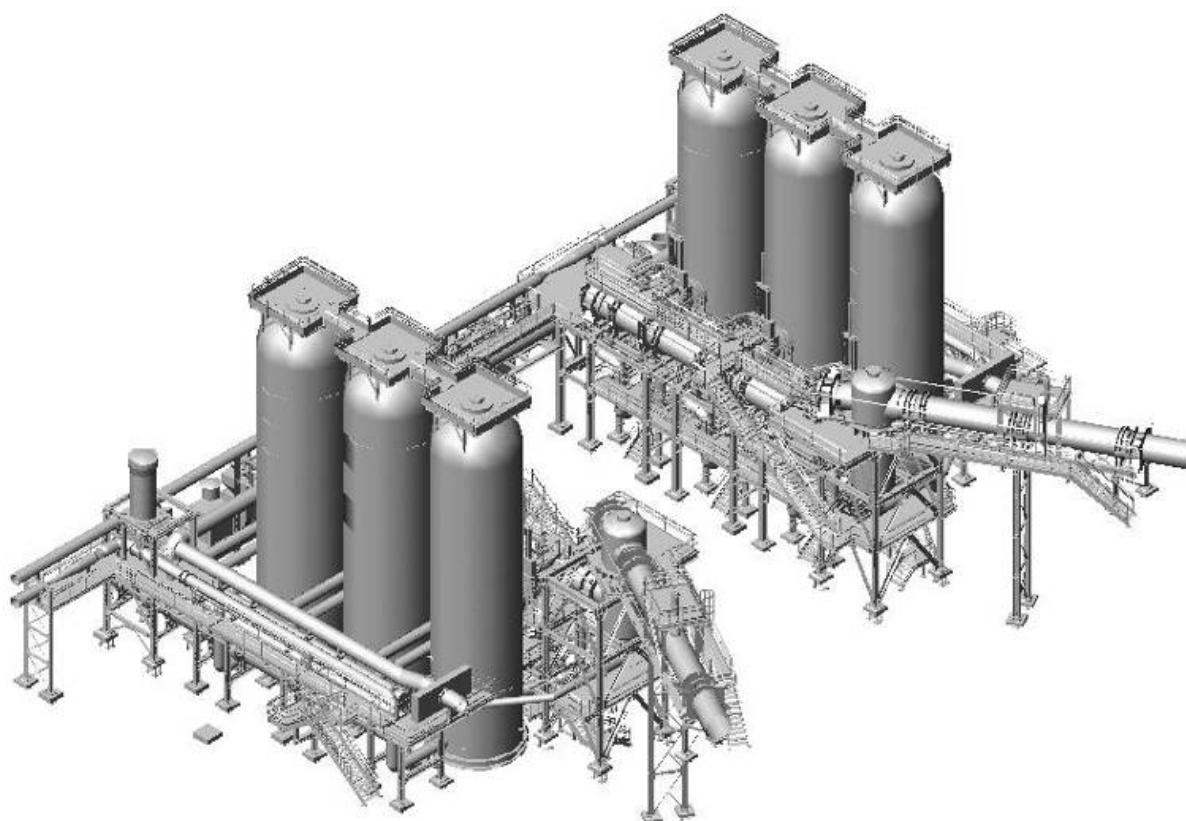


Figura 1 - Planta típica com 3 regeneradores por forno com câmara de combustão interna

2 REGIÕES DO REGENERADOR: DANOS E SOLUÇÕES

Cada elemento que compõe o regenerador tem sua estrutura e particularidade de funcionamento. A seguir são descritos cada parte e suas características, bem como soluções especializadas desenvolvidas pela Paul Wurth para defeitos típicos.

2.1 Carcaça do Regenerador

A carcaça tem como função resistir à pressão alternada dos ciclos de combustão e sopro. As solicitações são severas, pois as pressões e temperaturas são altas. A falta de devida proteção anticorrosiva interna na carcaça pode gerar corrosão sob tensão e conseqüentemente falha estruturais. Em muitos casos podem existir

problemas na carcaça, mas não necessariamente no revestimento refratário – a corrosão sob tensão é um exemplo clássico. Em determinadas situações, após intensa avaliação, pode ser instalada uma segunda camada de carcaça denominada: *Double Shell*.

Em reparos emergenciais, praticados da forma tradicional, geralmente se utiliza soldas de chapas sobre as trincas, o que gera somente a formação de novas trincas adjacentes e leva a tensões elevadas não previstas em projeto. O reparo com o *Double Shell* permite a instalação de uma nova camada independente da carcaça existente. Isto é feito durante a operação, desta forma, não é necessário parar o equipamento por longos períodos e evita-se uma indesejada perda de produção. A nova carcaça (*Double Shell*) possui todas as características de um vaso de pressão, a fim de operar com segurança em função dos novos dados de projeto:

- Carcaça anterior é aliviada de toda função anteriormente exercida como vaso de pressão, pois agora a nova *Double Shell* desempenhará essa função;
- Cálculos estruturais com base nas normas atualmente requeridas, certificação de segurança de equipamento e de todo pessoal envolvido na operação regenerador;
- Proteção completa contra corrosão em toda superfície interna da nova *Double Shell* desenvolvida no estado da arte;
- Conexão térmica com a carcaça existente, para evitar tensão devido a diferentes expansões térmicas;
- Referências de equipamentos operando por mais de trinta anos sem problemas;
- Análise custo/benefício positiva a partir da bem sucedida aplicação em mais de 40 equipamentos.

A figura 2 ilustra um reparo de carcaça *Double Shell*.

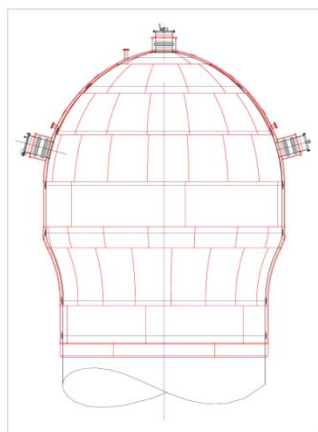


Figura 2 - Exemplo de reparo de carcaça tipo *Double Shell*

2.2 Queimador cerâmico/mecânico

O queimador do regenerador tem função básica de aquecimento para o ciclo de queima. Os requisitos para um queimador moderno são uma combustão limpa com emissão de poluentes dentro das normas estabelecidas, além de segurança operacional sob extremas condições de projeto. Os problemas mais comuns são a obstrução de canais por queda de material, falhas na instrumentação e falhas do refratário do queimador por desgaste excessivo.

O queimador é um dos principais causadores de consumo indevido de energia em um regenerador. São recomendadas soluções como, o reparo a quente somente do queimador ou sua troca completa, diagnóstico de parâmetros de operação e

otimização, além da instalação de um *Heat Recovery System*. Este último tem sido adotado não só pela economia de energia gerada, mas também pela qualidade agregada ao gás devido à retirada gotas de água livres, reduzindo assim o risco de choque térmico no refratário. Figura 3 mostra o reparo e troca de um queimador cerâmico.

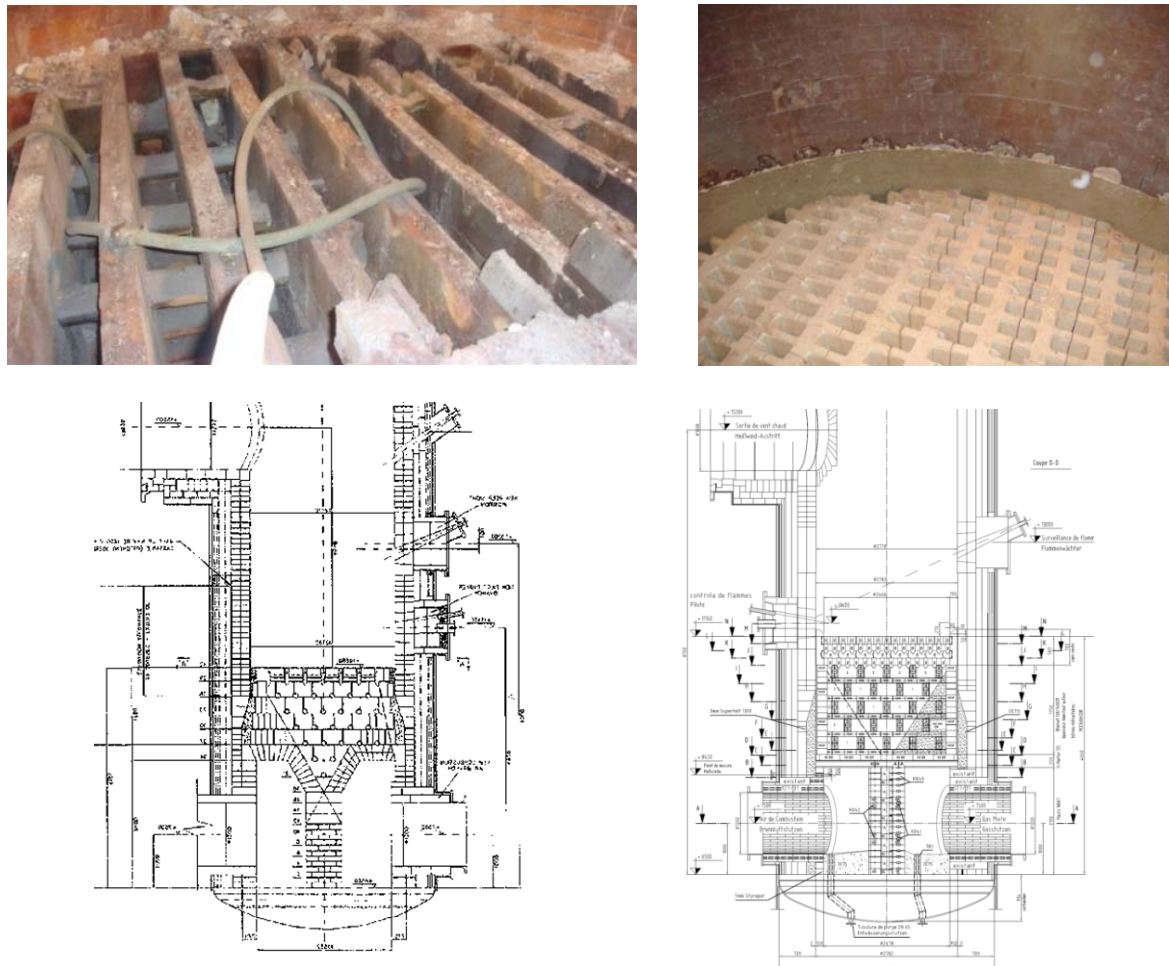


Figura 3 – Troca do queimador cerâmico - Lado esquerdo: Projeto antigo; Lado direito: novo queimador instalado com projeto otimizado: Mais eficiente.

2.3 Revestimento refratário

Falhas em projeto e distúrbios operacionais, projeto inadequado ou uso de materiais não adequados podem levar a problemas no revestimento refratário tanto das paredes como no domo.

Os altos requisitos para uma longa campanha, tais como: Alta carga térmica, frequentes ciclos de temperatura e ataques químicos devem ser considerados na seleção de materiais e no projeto do revestimento refratário. Para situações onde a substituição de material seja necessária, pode se executar o reparo a quente da câmara de combustão.

Caso os danos estejam localizados na câmara de *Checker* (chequer) ou do domo pode se executar o reparo a frio. Mesmo em certas áreas, apenas acessíveis em reparos a frio, o conceito de reparo especializado permite que apenas uma área específica seja reparada. As áreas defeituosas são identificadas e o conceito do reparo é adaptado de forma a contemplar apenas o mínimo escopo requerido para eliminação desses defeitos. Os exemplos variam desde reparos parciais com a

substituição de margaridas e com tijolos prensados (projeto otimizado) e com arco de alívio; até a substituição completa do domo, com novo projeto e geometria utilizando-se a mesma carcaça, mas de uma forma diferente.

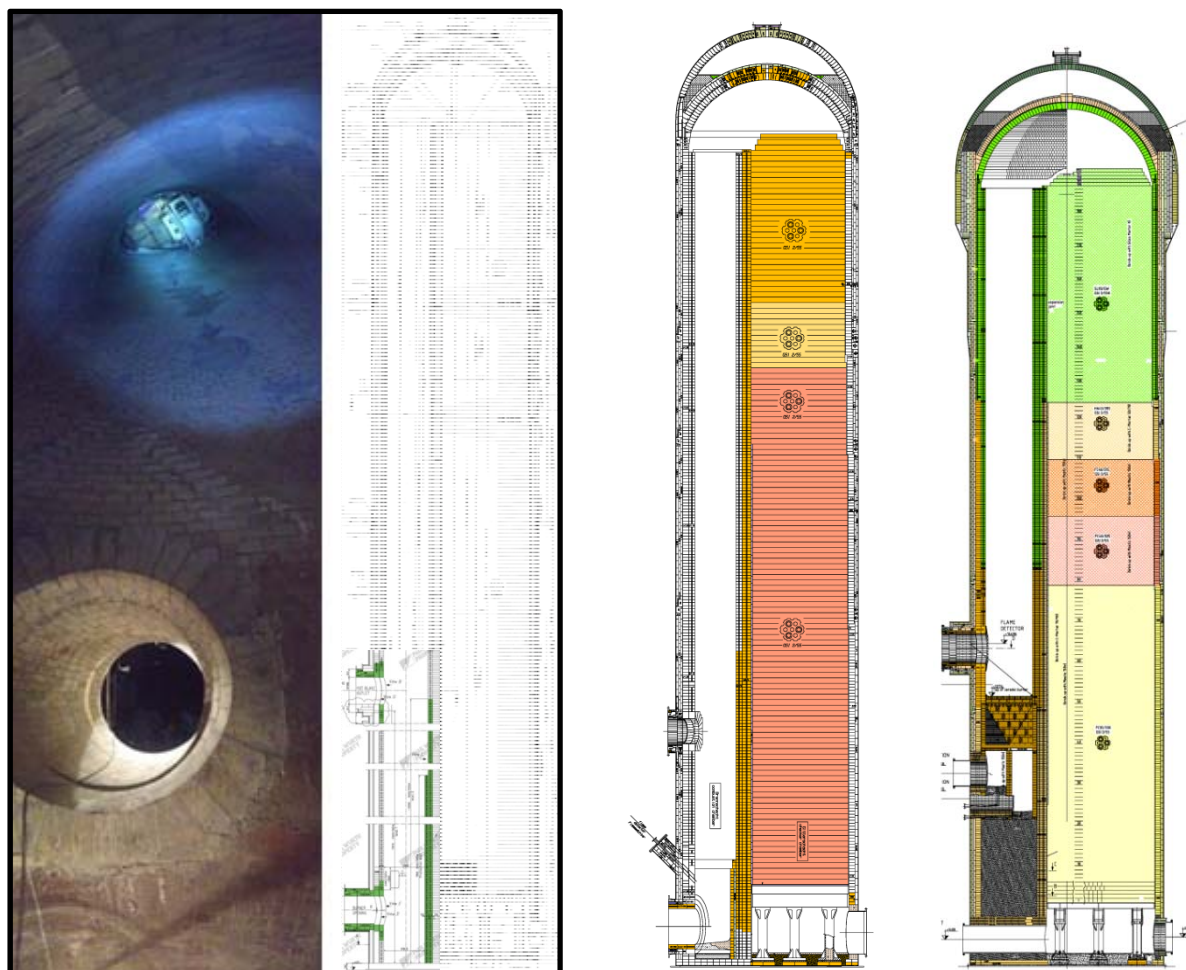


Figura 4 – Esquerda: Reparo a quente parcial de parede divisória; Centro: Reparo parcial na câmara de combustão (queimador metálico); Direita: Novo revestimento aplicado numa carcaça existente (queimador cerâmico)

2.4 Empilhamento de tijolos chequer

O empilhamento é o reservatório térmico do regenerador. Os problemas mais comuns encontrados são os danos das fiadas superiores e o fechamento dos canais de fluxo. Falhas no sistema de despoejamento e particulado no ar e gás podem gerar entupimento dos canais. Falhas de projeto tais como furos dos canais demasiadamente pequenos podem agravar o entupimento dos canais. O reparo nestas condições pode ser a substituição dos tijolos danificados num reparo a frio, porém substituindo somente as regiões afetadas com o mínimo de tempo, o que resulta em uma relação custo/benefício positiva.

Em situações particulares pode-se ainda adicionar fiadas de tijolos para atingir a condições de operação específicas, após uma cuidadosa análise da carga adicional a ser considerada nos checkers existentes, bem como do sistema de suportes dos checkers. É possível também a substituição dos tijolos de chequer com um projeto mais moderno e aplicação de tijolos de transição especiais (aplicados somente quando novos checkers de projetos diferentes são colocados acima dos existentes).

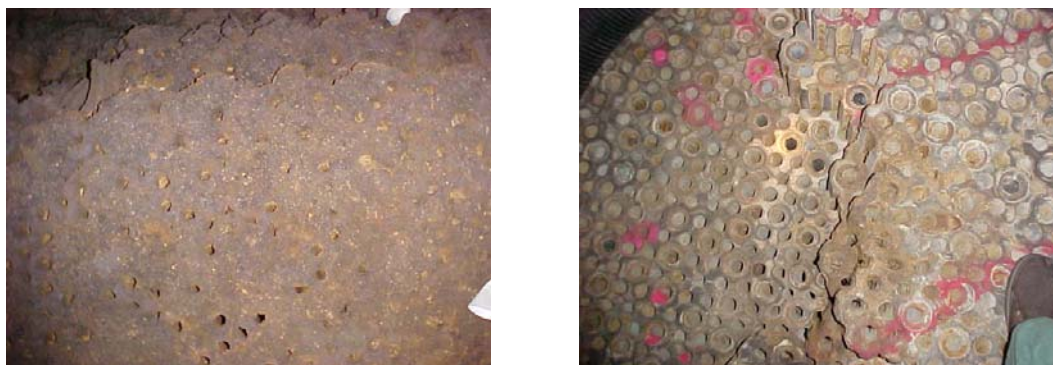


Figura 5 – Lado esquerdo: Primeira fiada de tijolos Checker obstruída. Lado direito: Resultado após remoção das chequers problemáticos.

3 EXEMPLOS DE REPARO A QUENTE COM ESFORÇO FOCADO

3.1 Reparos a quente - Introdução

Reparos a quente foram desenvolvidos para serem executados de uma forma rápida e sem a necessidade de resfriar e aquecer o regenerador, obtendo-se assim uma melhor relação custo/benefício. Recentes demandas de clientes levaram ao desenvolvimento de novas tecnologias, que possibilitaram o reparo a quente em elevações mais próximas ao domo, chamado “reparo a quente em altas elevações”. A seguir são descritos os tipos de reparo a quente, subdivididos em altas e baixas elevações.

3.2 Reparos a quente em baixas elevações

O reparo a quente em baixas elevações inclui toda a área abaixo de uma linha limite localizada a alguns metros acima da saída de ar quente. Nesta configuração podem ser reparados, em curto espaço de tempo, o queimador, as paredes, as margaridas do bocal de ar quente, bem como o ramal do bocal de ar quente. A figura 6 mostra o escudo térmico refrigerado (*Heat Shield*) instalado em um regenerador durante os instantes finais do reparo.



Figura 6 - Exemplo de reparo a quente em baixas elevações: Escudo térmico posicionado no bocal de ar quente. Detalhe da área reparada: Tijolos de coloração bege claro.

3.3 Reparos a quente em altas elevações

Frequentemente os problemas estão focados na parte mais baixa da câmara de combustão, como explicado anteriormente. Porém, caso os danos estejam localizados em uma região mais acima na câmara de combustão, ainda assim é possível executar o reparo. Reparos a quente em altas elevações foram desenvolvidos como uma alternativa avançada, onde os danos estão mais próximos ao domo, ao contrário de reparos a quente convencionais. Figura 7 mostra áreas com danos a altas elevações.

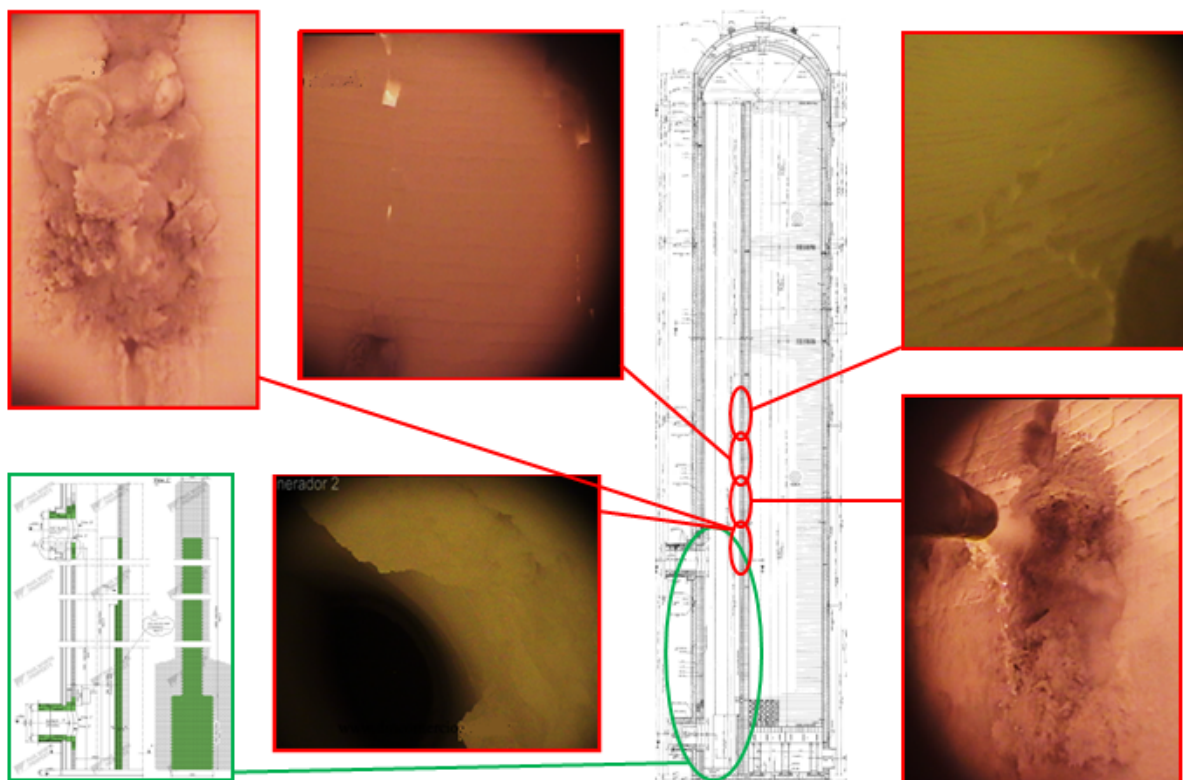


Figura 7 – Danos em altas elevações

Altas elevações requerem maiores cuidados e riscos, porém foi demonstrado que é possível executar reparos a quente com sucesso nessas regiões. Em um reparo a quente em altas elevações, o calor dentro da câmara de combustão é um fator de controle essencial para o sucesso do reparo, pois não é considerada rotatividade de pessoal a fim de manter a mesma produtividade aplicada em um reparo a frio. A Figura 8 abaixo mostra a diferença de altura de reparo entre um reparo a quente convencional e o reparo em alta elevação.

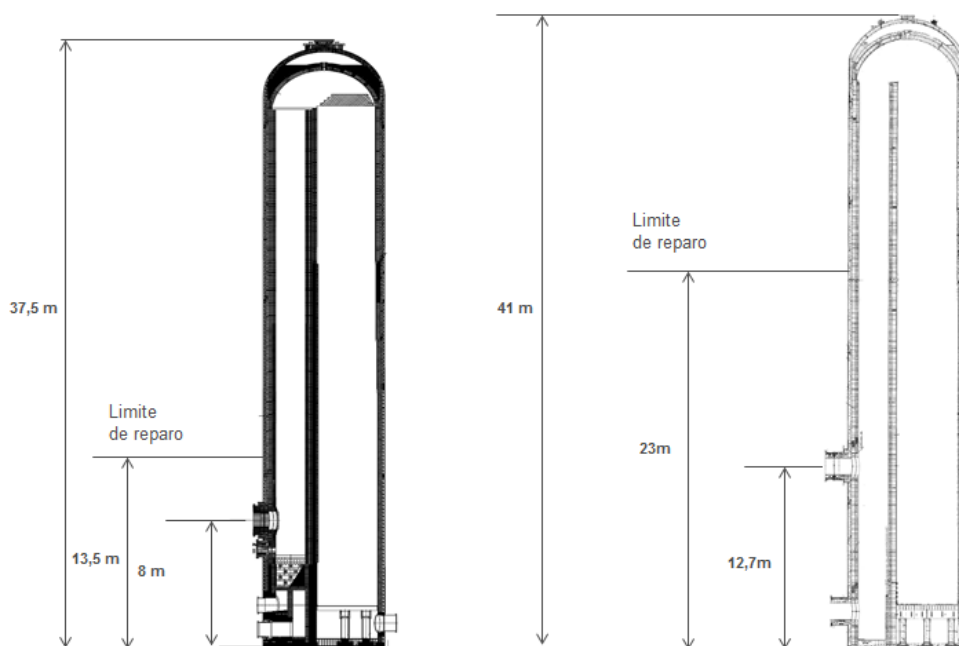


Figura 8 – Lado esquerdo: Reparo a quente em baixa elevação – Problemas na saída de ar quente, queimador cerâmico e parte baixa da câmara de combustão; Lado direito: Reparo a quente em altas elevações - Problemas na saída de ar quente, margarida do queimador metálico e parte alta da câmara de combustão.

A figura 9 a seguir ilustra o perfil de temperatura estimado para um regenerador.

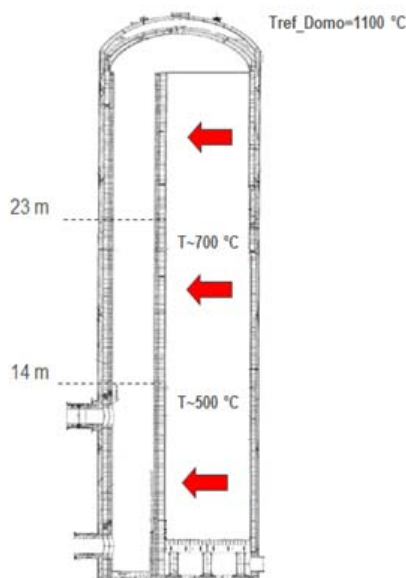


Figura 9 – Reparo a quente em altas elevações: Comparação representativa de temperaturas.

Pode-se perceber a diferença de aporte térmico proveniente do empilhamento através do exemplo representado na Figura 9. Nesse exemplo, onde o reparo ocorre a uma altura de 14 metros, a máxima temperatura de parede se encontra em torno de 500°C. Porém, uma elevação de 23 metros já implica em temperaturas de aproximadamente 700°C. Desta forma, o dimensionamento dos ventiladores de refrigeração deve ser adequado, bem como a preparação térmica do regenerador pré-reparo, visando reduzindo o fluxo de calor aportado internamente à câmara de combustão durante o reparo. Os valores da temperatura envolvidas devem ser

avaliados para cada projeto específico e dependerão da dimensão do regenerador, das condições operacionais e do material aplicado.

A figura 10 mostra os danos em altas elevações encontrados após endoscopia e a mesma região após a execução do reparo a quente.



Figura 10 – Situação encontrada em altas elevações antes e após reparo a quente.

A figura 11 abaixo mostra o escudo térmico refrigerado instalado a 23m dentro da câmara de combustão.



Figura 11 – Heat shield recém-instalado em alta elevação para início do reparo.

4 CONCLUSÃO

Soluções especializadas para reparos refratários em regeneradores foram desenvolvidos pela Paul Wurth nos últimos anos para fornecer a melhor solução para as necessidades dos clientes com perda mínima de produção. Reparos a quentes são uma abordagem acessível para reparos localizados e têm a sua eficiência comprovada em muitos reparos bem sucedidos em todo o mundo.

O reparo tipo *Double Shell* é a solução *recomendada* para os problemas de trincas por corrosão sob tensão, normalmente causadas por erros de projeto ou por falta de proteção interna contra a corrosão.

Sendo o queimador um elemento essencial para a eficiência energética do regenerador, uma devida atenção deve ser dada a ele e seus possíveis reparos especializados aplicáveis devem ser avaliados.

Para qualquer problema que possa ocorrer em um regenerador soluções especializadas podem ser encontradas e implementadas com sucesso.