

COBRAS

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁCIDO SULFÚRICO

TECHNICAL
PREPRINTS

23 a 26 de Outubro
Guarujá / SP

REALIZAÇÃO:



COBRAS

Projeto de Substituição de Espelho da Torre de Absorção Intermediária da planta de Ácido Sulfúrico da Vale Fertilizantes unidade Cajati

Nelson P. Clark¹, Alexandre C. Bastida¹, Bruno B. Ferraro¹, Vitor A. Sturm¹, Matheus Sanchez¹, Antonio A. L. Perazzo², Christian E. Van Kaick², Pedro R. Ferreira²

Clark Solutions

RESUMO

O paper tem como objetivo explorar o trabalho realizado pela Clark Solutions em conjunto com a equipe da planta de Ácido Sulfúrico da Vale Fertilizantes unidade Cajati, concernente à substituição do Espelho de sua Torre de Absorção Intermediária.

Foi verificada a integridade estrutural da torre, e a alteração do espelho tendo em vista a troca dos 29 filtros Fiberbed® por 36 novos.

A integridade estrutural da torre e do espelho foi verificada usando-se teoria da mecânica dos sólidos estática, análise de estabilidade elástica e análise em elementos finitos.

Keywords: Ácido Sulfúrico; Eliminadores de Névoa, Verificação estrutural; Torre de Absorção Intermediária; Espelho; Resistência dos materiais;

INTRODUÇÃO

Motivada pelo revamp de sua planta de Ácido Sulfúrico iniciado em 2007, a Vale Fertilizantes unidade Cajati efetuou nos últimos anos uma série de investimentos que a permitam o aumento de sua capacidade produtiva e de sua operação plena.

Para monitorar estas mudanças, a unidade de sulfúrico da Vale Fertilizantes Cajati, que sempre acompanhou de perto a operação de sua planta, realizou periódicas medidas de espessura no costado da torre na parte a jusante do espelho, região diretamente impactada pelo fluxo de gás no interior da torre.

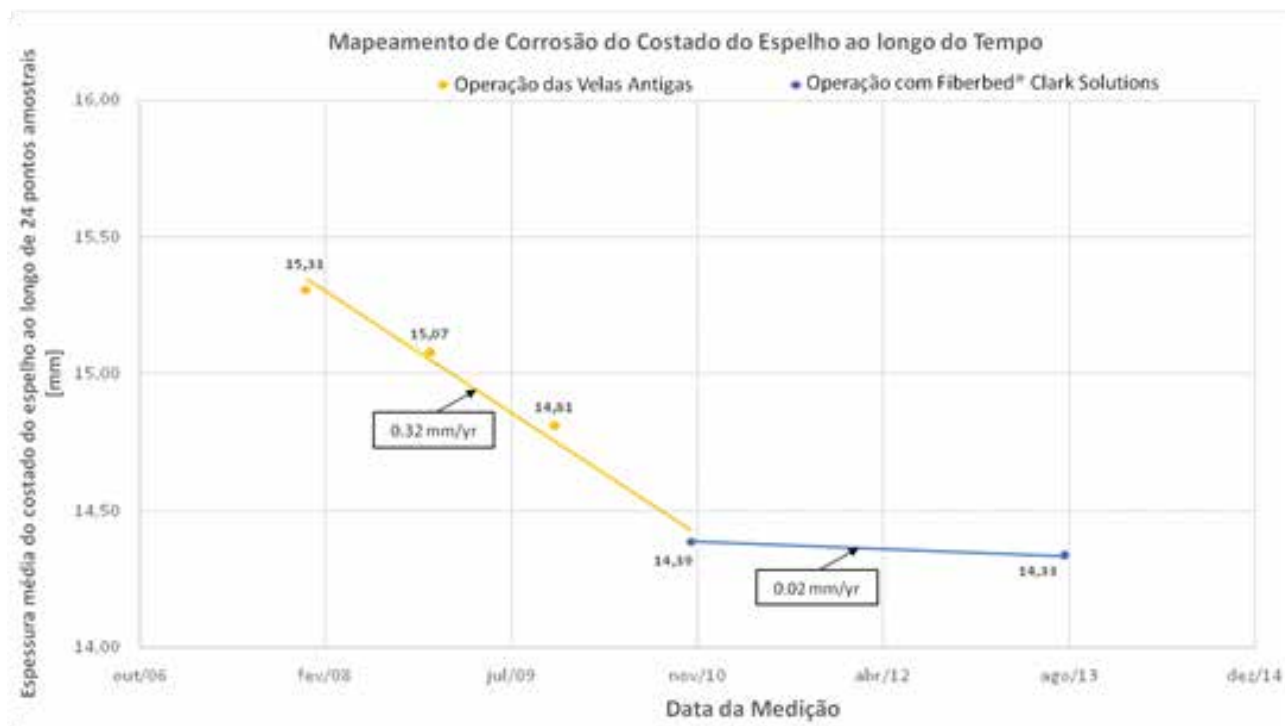


Figura 1: Mapeamento de Corrosão do Costado a jusante do espelho



Figura 2: Eliminador de Névoas Clark Solutions - Fiberbed®, fabricação e modelo Dual Bed®

Como pode ser observado, desde o ano do revamp em 2007 até ano de 2010 onde foram feitas as substituições dos eliminadores de névoa, a planta foi severamente danificada perdendo muito de sua estrutura.

Em meados de 2015, a equipe da Vale Fertilizantes identificou uma grande quantidade de condensado de ácido no fundo do trocador Gás-Gás Frio. Ao investigar, descobriu-se também que o Stick Test da Torre Intermediária estava muito ruim (Figura 3).

Durante a realização de uma inspeção conjunta entre as equipes da Clark Solutions e da Vale Fertilizantes, descobriu-se que existia uma grande quantidade de furos de grande dimensão no espelho. Estes furos são origem de caminho preferencial para o fluxo de gás, o que explica o Stick Test ruim observado.

Uma diversidade de fatores corroborou para este estado, um deles seria de que o comportamento da planta até então sugeria que existia entrada de umidade na planta, o que foi confirmado posteriormente, dentre outros fatores.

Os danos ao espelho foram de tamanha severidade ao longo destes anos, que apesar das tentativas paliativas de reparo terem sido feitas, sua estrutura mecânica foi dramaticamente comprometida.

Jul/2015 – Antes da descoberta
falha no Superaquecedor



Set/2015 – Após reparos na
planta



Figura 3: Stick Test antes e depois da descoberta de falha



Figura 4: Estrutura mecânica do espelho dramaticamente comprometida

Dado o estado do espelho, foi levantada a grande necessidade de troca do mesmo. Para atender a capacidade atual, uma das opções abaixo deveria ser escolhida:

1. Reparar o espelho existente, com 29 eliminadores de névoas Fiberbed® Dual Bed
2. Reparar o espelho e utilizar 29 eliminadores de névoas Fiberbed® Single Bed, limitando a capacidade produtiva de ácido
3. Substituição do espelho por um novo, com 36 eliminadores de névoa Fiberbed® Single Bed para acomodar melhor a operação da planta em alta capacidade.

O NOVO ESPELHO

A Vale Un. Cajati optou por um novo espelho em detrimento do reparo do existente já severamente danificado.

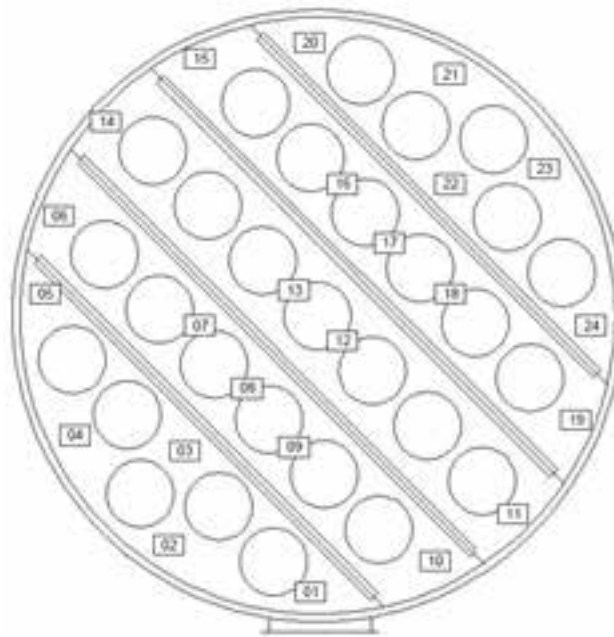
A decisão foi complexa, pois envolvia um grande número de variáveis. Desta forma, a equipe da Vale Fertilizantes dedicou-se ao estudo das possibilidades de reparo e troca do espelho, montando uma matriz de decisão onde foram levantadas todas as preocupações, riscos e ganhos de cada opção.

O novo espelho foi projetado, após a decisão minuciosa da Vale Fertilizantes, para atender as seguintes premissas:

- Conseguir distribuir o maior número de eliminadores de névoa “SINGLE BED” (36) no mesmo espaço em que antes existiam 29 “SINGLE BED”, de maneira a suportar, com segurança, as novas cargas mecânicas a que a estrutura estaria sujeita.
- Suportar a carga mecânica referente aos 36 novos filtros Fiberbed®
- Suportar a carga mecânica do distribuidor de ácido localizado logo abaixo do espelho com a restrição de manter os pontos de sustentação inalterados do espelho anterior

Além disso, a Clark deveria realizar estudo mecânico estrutural da Torre Intermediária como um

todo para avaliar sua integridade. O espelho existente até então foi analisado pela equipe da Vale Fertilizantes.



PONTO	Parada Téc Jan/08	% Perda Espessura	Parada Téc Dez/08	% Perda Espessura	Parada Téc Nov/09	% Perda Espessura	Parada Téc Nov/10	% Perda Espessura	Parada Téc Jul/Ago 13	% Perda Espessura	Parada Téc Mai/Jun 15	% Perda Espessura
01	12,6	-33,68	12,5	-34,21	12,4	-34,74	12,4	-34,74	12,4	-34,74	10,61	-44,16
02	13,3	-30,00	12,9	-32,11	12,2	-35,79	12,1	-36,32	12,1	-36,32	9,85	-48,16
03	13,9	-26,84	13,7	-27,89	13,5	-28,95	12,4	-34,74	12,25	-35,53	11,22	-40,95
04	15,8	-16,84	15,6	-17,89	15,2	-20,00	14,3	-24,74	14,3	-24,74	13,99	-26,37
05	16,3	-14,21	16,1	-15,26	15,7	-17,37	15,5	-18,42	15,4	-18,95	14,08	-25,89
06	16,8	-11,58	16,7	-12,11	16,6	-12,63	14,5	-23,68	14,5	-23,68	14	-26,32
07	14,7	-22,63	14,5	-23,68	14,4	-24,21	14,3	-24,74	14,35	-24,47	12,47	-34,37
08	14,7	-22,63	14,6	-23,16	14,5	-23,68	14,5	-23,68	14,5	-23,68	8,54	-55,05
09	14,8	-22,11	14,6	-23,16	14,5	-23,68	14,2	-25,26	14,2	-25,26	3,28	-82,74
10	15,4	-18,95	15,2	-20,00	14,9	-21,58	14,8	-22,11	14,8	-22,11	14,28	-24,84
11	16,9	-11,05	16,5	-13,16	16,1	-15,26	15,4	-18,95	15,4	-18,95	13,5	-28,95
12	15,7	-17,37	15,2	-20,00	14,5	-23,68	14,4	-24,21	14,4	-24,21	13,98	-26,42
13	15,5	-18,42	15,5	-18,42	15,5	-18,42	14,7	-22,63	14,7	-22,63	13,23	-30,37
14	18,5	-2,63	18,0	-5,26	16,2	-14,74	16,2	-14,74	16,3	-14,21	14,8	-22,11
15	15,4	-18,95	15,4	-18,95	15,3	-19,47	15,3	-19,47	15,3	-19,47	13,58	-28,53
16	15,5	-18,42	15,4	-18,95	15,3	-19,47	14,3	-24,74	14,3	-24,74	12,9	-32,11
17	15,5	-18,42	15,0	-21,05	14,8	-22,11	14,7	-22,63	14,7	-22,63	14,2	-25,26
18	15,5	-18,42	15,0	-21,05	14,5	-23,68	14,5	-23,68	14,45	-23,95	13,94	-26,63
19	15,4	-18,95	15,4	-18,95	15,3	-19,47	15,3	-19,47	15,15	-20,26	13,59	-28,47
20	16,4	-13,68	15,6	-17,89	14,2	-25,26	14,2	-25,26	14,05	-26,05	11,53	-39,32
21	15,5	-18,42	15,5	-18,42	15,5	-18,42	15,5	-18,42	15,45	-18,68	11,67	-38,58
22	13,4	-29,47	13,4	-29,47	13,4	-29,47	13,1	-31,05	12,8	-32,63	9,56	-49,68
23	13,5	-28,95	13,5	-28,95	13,5	-18,33	13,4	-29,47	13,2	-30,53	12,14	-36,11
24	16,4	-13,68	16,0	-15,79	15,4	-18,95	15,3	-19,47	15	-21,05	12,36	-34,95
	Média	-19,43	Média	-20,66	Média	-22,06	Média	-24,28	Média	-24,56	Média	-35,68
Espessura nominal (mm)		19										

Figura 5: Estudo de perda de espessura do espelho

Em razão dessas premissas de projeto, o novo espelho apresentou razoável complexidade e exigiu o uso, dentre outras ferramentas, de numérica em elementos finitos e software de desenho 3D para validação estrutural do modelo.

O uso dessas ferramentas permitiu à Clark projetar a estrutura do novo espelho em segurança, mesmo estando restrita a muitas condições de contorno relacionadas às cargas e à geometria.

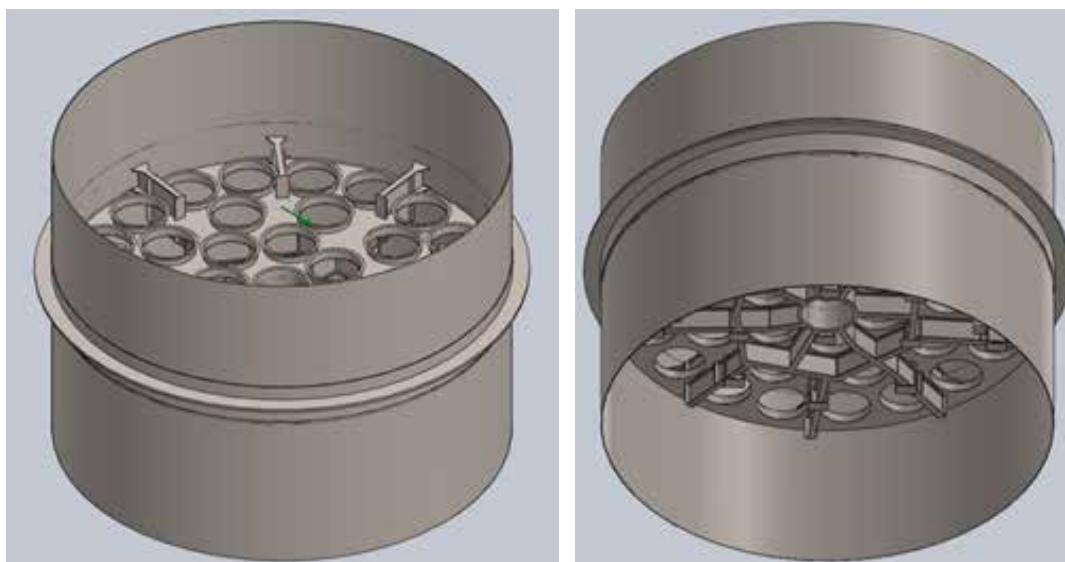


Figura 6: Modelo 3D do espelho usado para análise. A esquerda, vista superior, e a direita, vista inferior.

As imagens a seguir ilustram o modelo utilizado para simulação em elementos finitos considerando análise estrutural do tipo estática. O modelo possuía malha considerada fina: elementos menores do que 40mm, consistindo em 462.546 elementos, 925.432, 56 condições de contorno (cargas externas relacionadas ao peso dos filtros Fiberbed®, dos pontos de sustentação do distribuidor, da diferença de pressão de operação e da restrição de deslocamento do costado).

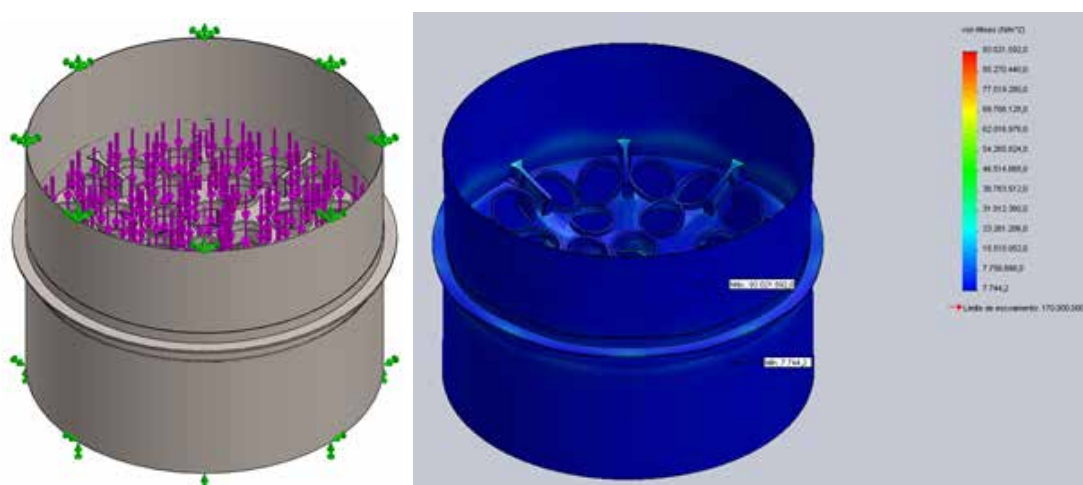


Figura 7 - Malha do modelo em estudo com as condições de contorno aplicadas.

O extenso trabalho de simulação, iterativo ao projeto mecânico, resultou no projeto e fabricação de um espelho conforme ilustrado nas imagens de fabricação. Pode-se perceber a existência de estruturas de reforço na parte superior e inferior do espelho. Estas estruturas apresentam isoladamente grande momento de inércia e são consequentemente, responsáveis por sustentar boa parte das cargas aplicadas à estrutura e permitindo a flexibilidade de posicionamento dos novos filtros e dos pontos de suporte necessários ao distribuidor.

Como critério de projeto, foi adotado o aço inox AISI 316L para fabricação da estrutura devido ao balanceamento entre desempenho quanto à corrosão, espessura, preço e manufatura. Pode-se observar também a opção pelo uso do tubo na seção de reforço. Tal medida foi adotada para dificultar o acúmulo de sulfato na parte inferior do espelho.



Figura 8 - Projeto e fabricação do novo espelho

ESTUDO DA INTEGRIDADE MECÂNICA DA TORRE INTERMEDIÁRIA

A equipe da Vale Un. Cajati identificou uma série de deformações no costado da Torre Intermediária. Por este motivo, dentro do projeto do espelho, a Clark Solutions também realizou o estudo de integridade mecânica da mesma.

1:



2:



3:



1 e 2: Deformação para Fora

3: Deformação para Dentro

Figura 9 – Deformações identificadas no Costado

Modelo de Verificação Estrutural:

- Modelo 1: Verificação estrutural da tensão na seção transversal inferior da torre.
- Modelo 2: Verificação estrutural da tensão na seção transversal inferior da torre (considerando reforços externos).
- Modelo 3: Verificação estrutural da flambagem localizada na chapa do costado.
- Modelo 4: Verificação estrutural estática da região de abaulamento.
- Modelo 5: Verificação geométrica da deformação na região de abaulamento.

Cenários Considerados:

Cenário 1: torre Inativa (desconsiderando cargas de operação).

- Carga referente ao peso da estrutura.
- Carga referente ao arrasto do vento na superfície externa da torre.

Cenário 2: torre em operação.

- Carga referente ao peso da estrutura.
- Carga referente ao arrasto do vento na superfície externa da torre.
- Carga referente à pressão de operação interna.

Parâmetros de Estudo:

- Reações.
- Tensão máxima para os pontos críticos.
- Deflexão máxima para o ponto superior.
- Fator de segurança à flambagem.

Parâmetros de Estudo:

- Os valores calculados são comparados com os seguintes valores máximos aceitáveis:
- Tensão máxima admissível = Adotada tensão ASME.
- Tensão crítica de flambagem
- Deformação na região de abaulamento menor do que a deformação de ruptura.

Desenvolvimento dos modelos de Falha:

- Modelo 1 - Estudo da tensão na seção inferior

Nesse modelo, a verificação estrutural é realizada considerando a torre como uma viga isostática vertical com vínculo de engastamento na base. É adotada uma seção transversal tubular com dimensões baseadas no desenho de conjunto da torre e no relatório de parada técnica, onde foi medida a espessura da chapa em diversos pontos.

- Modelo 2 - Estudo da tensão na seção inferior (considerando os reforços)

Nesse modelo, semelhante ao primeiro, a verificação estrutural é realizada considerando uma seção transversal composta de uma seção tubular e de 8 vigas de reforços simetricamente espaçadas no entorno da seção.

No cálculo do momento de inércia da seção transversal, é desconsiderada a parcela individual do momento de inércia de cada viga I. Tal hipótese é válida e também conservadora.

- Modelo 3 - Estudo da flambagem local na chapa do costado

A tensão, predominantemente de compressão na seção inferior do costado, pode não ser suficiente para escoar o material, mas pelo fato da chapa ser relativamente fina em relação à carga, a estrutura pode estar sujeita à flambagem localizada. Este modelo realiza a verificação da estrutura a esse tipo de falha e estima um coeficiente de segurança.

A hipótese adotada pela trata de uma tensão puramente de compressão. O modelo em estudo deste relatório não se caracteriza por uma carga puramente de compressão, mas sim de um estado mais complexo de tensão em mais de uma direção. Por questões de aproximação e adequação dos modelos, é utilizada a tensão equivalente de Von Mises. O uso da tensão equivalente de Von Mises é uma hipótese conservadora.

- Modelo 4 - Estudo do abaulamento

O modelo do abaulamento utilizado a priori não verifica a resistência da seção como um todo, mas sim apenas a região com abaulamento. É verificado, a seguir, que o estado de tensões na chapa curva sujeita a um carregamento de compressão, provoca o escoamento do material (Fator de segurança menor do que 1).

Isso não significa que a estrutura como um todo irá falhar, mas evidencia que a resistência do trecho abaulado deve ser levada em consideração para uma operação segura. O escoamento, e consequente plastificação e perda de rigidez é caracterizada pelo surgimento de regiões abauladas e que não desempenham função estrutural na torre.

O carregamento que originalmente estaria sendo suportado por estas regiões é redistribuído para regiões vizinhas mais rígidas, o que pode ser interpretado como uma concentração de tensões. A passagem do estado do material para região plástica, e não mais elástica, exige uma cautela maior, uma vez que o material perde sua capacidade de se recuperar integralmente à sua forma geométrica original e as deformações se tornam permanentes e instáveis, podendo levar à falha.

Por esse motivo, foi realizado o reforço na base da torre, em especial nas regiões com deformação plástica, para evitar propagação do escoamento.

- Modelo 5 - Estudo das deformações no abaulamento

A chapa na região de abaulamento sofreu deformação plástica. O presente modelo visou estimar o quanto o abaulamento pode aumentar antes de ocorrer essa ruptura. O metal na região do escoamento encontra-se no regime plástico e mereceu especial atenção. Este estudo buscou, também, estimar a profundidade máxima de abaulamento, para uma região afetada de $L_{chp}=1m$ onde a deformação equivalente de Von Mises se iguale à deformação de ruptura determinada pela norma ASME.

Resultados do estudo de Integridade:

Modelo	Local	FS (Cenário 1)	FS (Cenário 2)
1 - Estudo das tensões, modelo de viga	Ponto A (sem reforços)	13,73	11,20
1 - Estudo das tensões, modelo de viga	Ponto B (sem reforços)	7,21	6,76
2 - Estudo das tensões, modelo de viga	Ponto B (com reforços)	7,69	7,15
3 - Estudo da flambagem, modelo teórico	Ponto B (sem reforços)	6,39	5,99
3 - Estudo da flambagem, modelo experimental	Ponto B (sem reforços)	3,17	2,97
3 - Estudo da flambagem, modelo experimental	Ponto B (com reforços)	4,31	3,62
4 - Estudo do abaulamento	Ponto B	0,30	0,38
5 - Deformação da região abaulada		Profundidade do abaulamento observada: 26 mm Profundidade de ruptura estimada: 259,8 mm	

MONTAGEM DO NOVO ESPELHO

O serviço de substituição do espelho e instalação de uma nova boca de visita (BV) foi feita durante parada técnica no período de exatos 30 dias entre Junho e Julho de 2017, em paralelo com as demais atividades de manutenção. A parte superior da Torre de absorção intermediária (IPAT) foi removida e o novo espelho foi ajustado e soldado no chão visando facilitar o acesso e melhorar a posição de soldagem. É importante destacar que o material de fabricação da torre é aço carbono e o novo espelho é aço inox 316L. Para tanto, foi utilizado eletrodo para aços dissimilares.



Figura 10 – Torre de Absorção Intermediária



Figura 11 – Novo espelho da Torre de Absorção Intermediária



Figura 12 – Movimentação da nova cabeça da IPAT



Figura 13 – Cabeça alinhada com novo espelho e nova BV soldada no costado

O espelho velho foi removido da IPAT e, conforme projeto, houve reutilização de parte da estrutura metálica próxima ao costado a fim de garantir maior suporta  o para a nova peça. Após remoção do espelho velho, foi possível constatar a elevada corrosão existente na peça, atestando a correta decisão de substitui  o do espelho.



Figura 14 – Remoção do antigo espelho.

Com o espelho ajustado e soldado juntamente com a BV na cúpula da IPAT, o conjunto foi içado, posicionado e soldado no local definitivo. Posteriormente foi instalada a plataforma e escadas de acesso à BV.

A melhoria da BV também foi um ponto alto que merece destaque, uma vez que com o novo projeto, não é mais necessário descer uma escada de madeira de 4 metros, a mais de 40°C, com conjunto anti-ácido e máscara de gás.



Figura 15 – Instalação da nova cabeça da Torre



Figura 16 – Fotos destacando a IPAT Antes (acima) e depois (abaixo), com a nova cabeça, novo espelho, e nova BV com escada e plataforma de acesso.

AGRADECIMENTOS

A Clark Solutions agradece enormemente à Vale Fertilizantes pela confiança, abertura, disponibilidade e contratação de nossos serviços, permitindo proximidade entre as equipes de engenharia, tornando o projeto um Case de Sucesso.

PATROCINADORES



CO - PATROCINADORES



Para maiores informações:
www.cobras2017.com

