



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

REMOÇÃO DE ÁCIDO SULFÍDRICO EM COLUNA DE ABSORÇÃO

F. G. M. PORTO¹, M. L. BEGNINI¹ e J. R. D. FINZER¹

¹ Universidade de Uberaba, Curso de Engenharia Química
E-mail para contato: fabriciomenezesporto@hotmail.com

RESUMO – *Alguns fenômenos físicos, químicos ou eletroquímicos que causam a decomposição de um material, geralmente metálico, podem ser definidos como corrosão. Analisando os meios desfavoráveis e determinando as suas características, vários métodos eficazes podem ser desenvolvidos para evita-la, consistindo numa delas a absorção do agente oxidante. Essa técnica fundamenta-se em reduzir significativamente a concentração do composto. Sendo o ácido sulfídrico uma substância corrosiva, a sua presença excessiva em correntes gasosas intensifica a deterioração dos equipamentos durante o contato. O objetivo deste trabalho foi absorver ácido sulfídrico de biogás. O estudo de absorção foi realizado aplicando uma solução de hidróxido de sódio a 5%. O dispositivo projetado consistiu numa coluna de recheio cilíndrica, portando uma entrada de gás e um distribuidor no fundo, que ainda suporta o recheio, além de uma entrada de líquido e distribuidor no topo. O gás tratado é liberado pelo topo da coluna, e o líquido é descarregado no fundo, contendo ácido sulfídrico absorvido na forma de sais. No projeto, a vazão de biogás foi de 15m³/h com 3% em mol de ácido sulfídrico e a torre foi preenchida com anéis Rasching de 1,5 polegadas. Os cálculos realizados possibilitaram o dimensionamento de uma coluna de absorção com 0,10 m de diâmetro e 3,00 m de altura do recheio, ocorrendo uma perda de pressão de 0,5 cm de coluna de água/m.*

1. INTRODUÇÃO

Alguns fenômenos físicos, químicos ou eletroquímicos que causam a decomposição de um material, geralmente metálico, podem ser definidos como corrosão. Considerando então, no geral, a corrosão como um processo espontâneo, frequentemente é possível notar a transformação de alguns materiais, normalmente metálicos, de tal forma que afetam o seu desempenho e resistência, gerando problemas na utilização.

As pesquisas envolvendo processos corrosivos encontram-se em ascensão, uma vez que

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

inúmeros problemas com equipamentos e instalações são concedidos a essa causa. Algumas condições ambientais influenciam significativamente na velocidade de corrosão, como a temperatura e pressão. Portanto, conhecer os meios agressivos e as características que provocam a danificação dos materiais torna-se necessário para o desenvolvimento de métodos que sejam eficazes no combate a corrosão, como também a natureza do material que será protegido do meio corrosivo. O custo e o tempo para aplicação do método selecionado também devem ser levados em consideração (Frauches-Santos *et al.*, 2013).

Uma das formas de evitar a corrosão consiste na técnica de absorção do agente corrosivo. Conhecida por ser uma das principais operações em engenharia química, a absorção é caracterizada pelo transporte de matéria de um componente presente na fase gasosa para a fase líquida, o que ocorre devido as propriedades adequadas de determinado solvente, sendo este então capaz de solubilizar um ou mais compostos de interesse. Nesse processo, as moléculas do gás são difundidas no interior do líquido, e o movimento na direção inversa é desprezível. Essa operação pode ser dividida em dois grupos principais: um em que apenas processos físicos ocorrem e outro em que reações químicas fazem parte do processo (Leite *et al.*, 2005).

A absorção via reação química tem alta aplicação industrial, prevalecendo na remoção de gases ácidos, misturas inertes e hidrocarbonetos em correntes gasosas. Quando aplicado, esse método aumenta a eficiência da transferência de massa devido a presença dos reagentes. Alterar os parâmetros de operação (pressão, temperatura, vazão) também influencia rigorosamente a taxa de reação. Sendo o ácido sulfídrico (H_2S) um agente altamente oxidante, a presença em excesso dessa substância em correntes gasosas de processos industriais pode gerar um agravamento da corrosão de determinados equipamentos. Para atenuar esse problema, pode-se utilizar a absorção de gases de modo que a concentração de (H_2S) seja inferior à regulamentada. Nesse caso, utilizar uma solução cáustica capaz de reagir com o ácido através de reação ácido-base é uma alternativa, uma vez que os produtos gerados serão sais solúveis na corrente líquida. Esse método tem sido bastante eficiente em indústrias que processam gases que contém de gás sulfídrico (Richardson *et al.*, 2002).

Este trabalho tem como objetivo dimensionar uma coluna de absorção de gases com reação química, utilizando uma solução cáustica para remoção de ácido sulfídrico presente em biogás que será utilizado para geração de energia elétrica.

2. SISTEMÁTICA PARA DIMENSIONAMENTO DA COLUNA DE ABSORÇÃO

O equipamento utilizado na absorção de gases consiste de uma coluna cilíndrica ou torre, equipados com uma entrada de gás e um distribuidor no fundo, que também suporta o recheio, além de uma entrada de líquido e um distribuidor no topo. O gás, após absorção de solutos, é descarregado no topo da coluna, e o líquido contendo o soluto que foi absorvido, é descarregado no fundo da coluna. O equipamento é denominado Torre ou Coluna de Recheio (*Tower Packing*), conforme mostra a Figura 2.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO



Em colunas recheadas, o ponto de inundação (*flooding point*) corresponde à condição em que o líquido ocupa toda área da seção transversal da coluna. O fluxo de gás deve ser otimizado, contudo se aproxima de 50% da correspondente à condição de inundação (McCabe et al., 2004).

A Figura 1 possibilita obter a perda de pressão no recheio em polegada de água/ft de recheio; u_0 é a velocidade superficial do gás em ft/s; ν é a viscosidade do líquido em centistoke; G_x e G_y correspondem aos fluxos de líquido e de gás, respectivamente, e são quantificados em $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$; ρ_x e ρ_y são as densidades em kg/m^3 , e C_s é quantificado pela Equação 1, F_P é um fator de perda de pressão que depende da geometria e caracterização do recheio (McCabe et al., 2004).

$$C_s = u_0 \cdot \sqrt{\frac{\rho_y}{\rho_x - \rho_y}} \quad (1)$$

A área da seção transversal da coluna pode ser calculada com a Equação 2, sendo S a área da seção transversal da coluna; W e G_y operação, a taxa mássica e o fluxo de gás, respectivamente, ver detalhes da torre de absorção na Figura 2.

$$S = \frac{W}{G_{y \text{ operação}}} \quad (2)$$

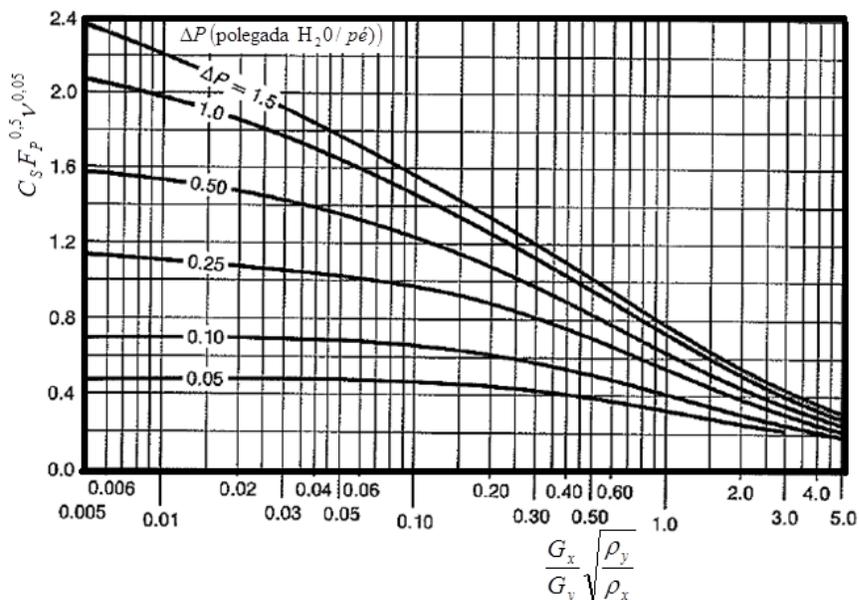


Figura 1 – Correlação generalizada para inundação e perda de pressão em colunas.

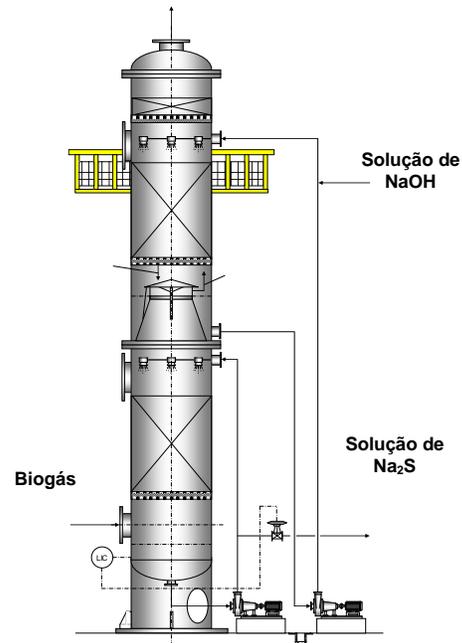


Figura 2 – Detalhes de torre de recheio (*tower packing*).

A altura do recheio da coluna de absorção, Z_t , é calculada com a Equação 3.

$$Z_t = N_{0y} \cdot H_{0y} \quad (3)$$

Sendo: H_{0y} a altura de uma unidade de transferência, obtido na Figura 3 e N_{0y} o número de unidades de transferência, sendo quantificado pela Equação 4 em função do fluxo de gás (G) e de líquido (L).

$$N_{0y} = \int_{y_{saída}}^{y_{entrada}} \frac{dy}{y - y^*} \quad (4)$$

Sendo: y e y^* frações molares do soluto na fase gasosa e a de equilíbrio com o líquido de absorção.

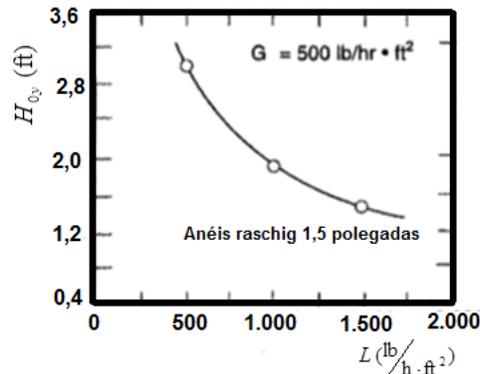


Figura 3 – Altura da unidade de transferência (Norman, 1962).

A perda de pressão (polegada de água/pé altura recheio) na condição de inundação é obtida pela Equação 5, sendo $FP = 95$ para anéis Raschig de 1,5 polegadas (McCabe et al., 2004).

$$\Delta P_{\text{inundação}} = 0,115 \cdot F_p^{0,7} \quad (5)$$

3. SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ÁCIDO SULFÍDRICO

Este estudo faz parte de um sistema de produção de biogás, conforme a Figura 4, num biodigestor instalado na fazenda escola da Universidade de Uberaba – MG. O biodigestor produz 12,5 m³/h de gás com 3% mol (3,5% m/m), em média, de H₂S, medido na temperatura de 25°C e pressão barométrica local. Deve-se absorver 99% do ácido sulfídrico.

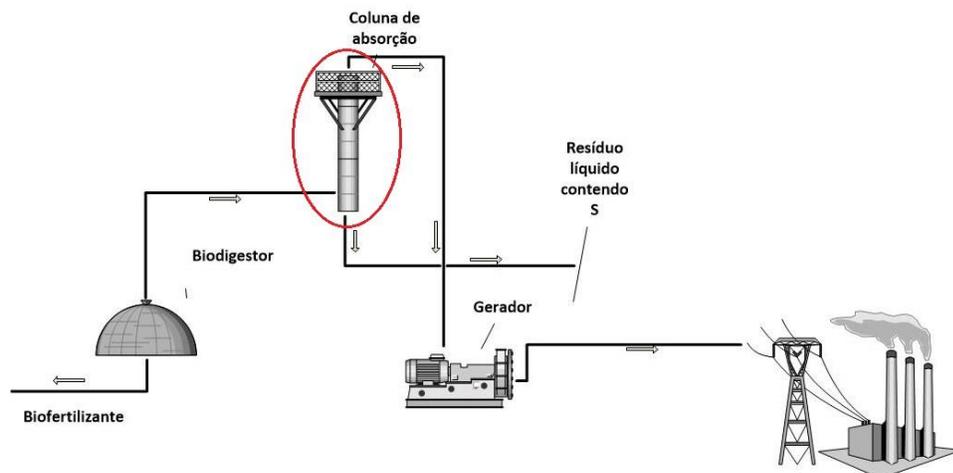


Figura 4 – Sistema de produção de biogás.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Diâmetro da Coluna de Absorção

Para o dimensionamento da coluna de absorção são requeridos parâmetros estequiométricos na utilização das equações de projeto. A massa molecular média do gás de admissão calculado com o dado de 3% em mol de ácido sulfídrico no gás, consiste em 29,15 kg/kmol. A densidade do gás medida nas condições operacionais, usando a lei dos gases, é de 1,192 kg/m³.

A taxa de escoamento do gás na coluna pode ser quantificada:

$$W = 12,5 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,192 \text{ kg/m}^3 = 14,9 \text{ kg/h} (32,82 \text{ lb/h})$$

O dimensionamento da coluna de absorção foi realizado com utilização do fluxo de gás de operação de 500 lb/h·ft² usado para operação de torre recheada com anéis Raschig de 1,5 polegadas (Norman, 1962), o que possibilita especificar o diâmetro da coluna usando a Equação 2.

$$S = \frac{W}{G_{y \text{ operação}}} = \frac{32,82 \text{ lb/h}}{500 \text{ lb/h} \cdot \text{ft}^2} = 0,066 \text{ ft}^2$$

Como a coluna possui geometria cilíndrica, calcula-se o diâmetro: D = 0,300 ft (0,100 m).

4.2. Fluxo de Solução Alcalina de Absorção com Reação Química

A quantidade de ácido sulfídrico na alimentação da coluna é obtida do produto da taxa mássica de gás a ser tratado pela fração mássica da corrente (0,035) consistindo em 0,52 kg/h e a quantidade de hidróxido de sódio é calculada pela estequiometria da reação.



Como a proporção molar é de dois para um, a taxa teórica de hidróxido de sódio é de 1,22 kg/h.

Contudo, em gases contendo dióxido de carbono ocorre precipitação de bicarbonato de sódio quando o pH é baixo, e sulfeto de sódio e carbonato de sódio em pH alto, porém as reações são lentas (Mamrosh et al., 2008). Para minimizar esse efeito selecionou-se 20% em excesso de hidróxido de sódio. Assim, a taxa de hidróxido de sódio deverá ser de 1,47 kg/h e a taxa da solução 29,4 kg/h (64,8 lb/h) a 5% em massa. A densidade da solução é igual a 1.054 kg/m³, o que possibilita o cálculo da vazão em 0,028 m³/h. O fluxo de solução pode ser calculado:

$$G_x = \frac{64,8 \text{ lb/h}}{\pi \frac{0,30^2}{4} \text{ ft}^2} = 917 \text{ lb/h} \cdot \text{ft}^2$$

4.3. Altura da Coluna

A reação do ácido sulfídrico com o hidróxido de sódio é bastante rápida e o valor de equilíbrio com uma solução tende a zero, o que facilita o tratamento matemático (Mamrosh, et al., 2008). A Equação 4 possibilita o cálculo de N_{O_y} , simplificada pelas considerações efetuadas.

$$N_{O_y} = \int_{y_{\text{saída}}}^{y_{\text{entrada}}} \frac{dy}{y} = \ln y_{0,0003}^{0,03} = \ln 0,03 - \ln 0,0003 = 4,61$$

A altura da unidade de transferência é obtida da Figura 3, obtendo-se: $H_{O_y} = 1,9 \text{ ft}$ e usando a Equação 3, a altura da coluna deve ser de 8,8 ft (2,7 m).

4.4. Perda de pressão na coluna

Com os fluxos G_x e G_y , a viscosidade da solução $\nu = 1,2 \text{ cS}$, e a velocidade superficial do gás 0,44 m/s (1,45 ft/s), calcula-se $C_S = 0,05$; o valor da abscissa é quantificado em 0,052 e:

$$C_S F_p^{0,5} \nu^{0,05} = 0,05 \cdot 95^{0,5} \cdot 1,2^{0,05} = 0,5$$

Utilizando a Figura 1, obtém-se: $\Delta P = 0,06$ polegada água/pé de recheio (0,5 cm água/m). A Equação 5 possibilita quantificar a perda de pressão na condição de inundação:



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

$$\Delta P_{inundação} = 0,115 \cdot 95^{0,7} = 2,8 \text{ polegada de água/pé altura recheio}$$

A perda de pressão na operação é 2,1% da perda de pressão na inundação, o que consiste em indicação de funcionamento adequado da coluna e pode-se reduzir a dimensão do recheio para melhorar a eficiência da transferência de massa. Os fatores F_p para anéis Raschig de 0,5 e de 1,0 polegadas são 580 e 155, respectivamente (McCabe et al., 2004). A Equação 5 possibilita o cálculo das perdas de pressão na condição de inundação para os dois anéis de 0,5 e de 1,0 polegadas igual 9,9 e 3,9 polegada de água/pé altura recheio, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

O estudo realizado na especificação de uma coluna de absorção de gases para processar 12,5 m³/h de biogás a 3% mol de H₂S resultou em altura e diâmetro 3 m e 0,1 m, respectivamente, operando com perda de pressão de 0,5 cm água/m. Os resultados mostram que pode ser diminuído o tamanho dos anéis Raschig para melhorar a eficiência da coluna de absorção.

5. REFERÊNCIAS

- FRAUCHES-SANTOS, C.; ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C.; ECHEVARRIA, A. A. A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos. *Rev. Virtual Quim.*, v. 6, p. 293-309, 2014.
- LEITE, A. B.; BERTOLI, S. L.; BARROS, A. A. C. Absorção Química de dióxido de nitrogênio. *Eng. Sanit. Ambient.* v.10, 2005.
- MAMROSH, D.; BEITLER, C.; FISHER, K. Consider improved scrubbing designs for acid gases: Better application of process chemistry enables efficient sulfur abatement. *Hydrocarbon Processing*. p. 69-74, 2008.
- MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. *Unit operations of chemical engineering*. 6. ed. Boston: McGraw Hill, 2005.
- NORMAN, W.S. *Absorption, distillation and cooling towers*. London: Longmans. 1962.
- RICHARDSON, J., COULSON, J. *Chemical engineering design*. Boston: Butterworth-Heinemann. 2002.

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pelo suporte dado à apresentação deste trabalho no COBEQ 2016

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO

