

# TRATAMENTO DE BIOGÁS PARA ATENUAR O EFEITO CORROSIVO

F. G. M. PORTO<sup>1</sup>, M. L. BEGNINI<sup>1</sup> e J. R. D. FINZER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Uberaba, Curso de Engenharia Química  
fabriciomenezesporto@hotmail.com

**RESUMO** – A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, por ação física, química ou eletroquímica. Conhecendo os meios agressivos e suas características, podem ser desenvolvidos métodos eficazes para evitar a corrosão, sendo uma delas a absorção do agente corrosivo. Para aplicar a absorção em uma situação prática, selecionou-se o caso do ácido sulfídrico. Sendo esse um agente altamente oxidante, a concentração em excesso desse composto em correntes de processos industriais pode acarretar em um agravamento da corrosão de equipamentos. Uma das formas de diminuir esse problema é realizar a técnica de absorção de gases, de modo que a concentração do ácido seja consideravelmente diminuída. Foi realizado estudo de absorção de ácido sulfídrico utilizando uma solução aquosa de hidróxido de sódio a 5%. O equipamento projetado consistiu em uma coluna de recheio cilíndrica, equipada 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, no fundo, contendo o soluto que foi absorvido. No estudo, a vazão de gás foi de 12,5 m<sup>3</sup>/h com 3% em mol, de ácido sulfídrico. A coluna de absorção foi preenchida com recheio de anéis *Raschig* de 1,5 polegadas. A partir dos cálculos realizados, especificou-se uma coluna de absorção com 0,10 m de diâmetro e 3 m de altura do recheio, e com perda de pressão de 0,5 cm água/m.

## 1. INTRODUÇÃO

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação física, química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não, a esforços mecânicos. Sendo a corrosão, em geral, um processo espontâneo, ela está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixem de satisfazer os fins a que se destinam. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o meio em que este se encontra, leva a alterações prejudiciais e indesejáveis, como: desgaste, transformações químicas ou modificações estruturais, tornando o material inadequado para o uso.

O estudo dos processos de corrosão se encontra em grande ascendência, já que muitas falhas dos materiais têm sido atribuídas a este fator. Esse fenômeno pode ser acelerado com o aumento da temperatura, da pressão e de altas concentrações do meio corrosivo. Conhecendo os meios agressivos e suas características responsáveis pela deterioração dos materiais, podem ser desenvolvidos métodos eficazes para combater a corrosão, que devem ser escolhidos

dependendo da natureza do material que será protegido e do eletrólito (meio corrosivo). O custo e o tempo necessários para o emprego do método em questão devem ser considerados (Frauches-Santos *et al.*, 2013).

Uma das formas de evitar a corrosão consiste na técnica de absorção do agente corrosivo. As moléculas do gás corrosivo são difundidas em um líquido. Essa operação pode ser classificada em dois grupos principais: um em que apenas processos físicos ocorrem e outro em que ocorrem reações químicas (Leite *et al.*, 2005).

A absorção com reação química tem vasta aplicação industrial, principalmente para a remoção de gases ácidos, misturas inertes e hidrocarbonetos em correntes de gases. Quando utilizada, a reação química aumenta a eficiência de transferência de massa, devido a presença dos reagentes. Além disso, a manipulação dos parâmetros de operação (temperatura, pressão, vazões) influencia diretamente nas taxas de reação. Sendo o ácido sulfídrico ( $H_2S$ ) um agente altamente oxidante, a presença em excesso desse composto em processos industriais pode acarretar em um agravamento da corrosão de determinados equipamentos. Uma das formas de atenuar esse problema é realizar a técnica de absorção de gás, de modo que a concentração de  $H_2S$  seja inferior à padronizada. Para isso, pode ser utilizada uma solução cáustica capaz de reagir com o ácido através de uma reação ácido-base, produzindo produtos solúveis na corrente líquida. Esse procedimento se mostra bastante eficiente, sendo, amplamente utilizado em indústrias que processam gases contendo gás sulfídrico. (Richardson *et al.*, 2002).

Este trabalho tem o objetivo de especificar uma coluna de absorção de gases para separação do ácido sulfídrico contido em biogás usando uma solução cáustica no processo.

## **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, o qual 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 1.

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 2 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;  $\nu$  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  $kg/m^2.s$ ;  $\rho_x$  e  $\rho_y$  são as densidades em  $kg/m^3$ ,  $C_s$  é quantificado pela Equação 1, sendo  $u_0$  a velocidade superficial do gás na coluna,  $F_p$  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.

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

Figura 1 – Exemplo de torre recheada (tower packing).

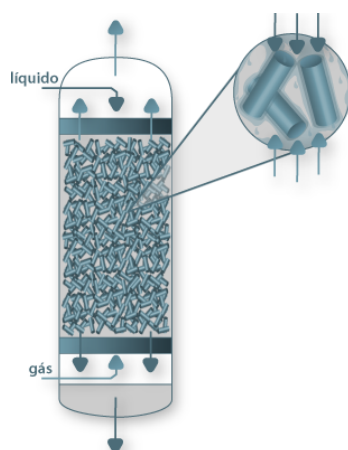
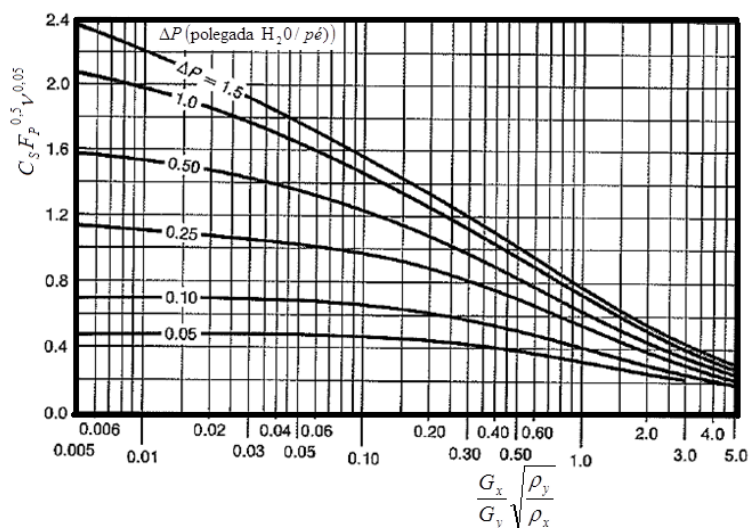


Figura 2 – Correlação generalizada para inundação e perda de pressão em colunas.



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

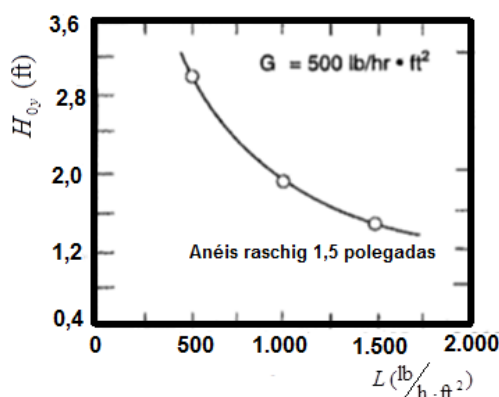
$$Z_t = N_{0y} \cdot H_{0y} \quad (3)$$

Sendo:  $H_{0y}$  a altura de uma unidade de transferência, quantificado pela Figura 3 e  $N_{0y}$  o número de unidades de transferência, sendo quantificado pela Equação 4.

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

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  $F_p = 95$  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 SULFÚDRICO

Este estudo faz parte do sistema de produção de gás em biodigestor instalado nas dependências da Universidade de Uberaba – MG. O biodigestor produz 12,5 m³/h de gás com 3% mol (3,5% m/m), em média, de H<sub>2</sub>S, medido na temperatura de 25°C e pressão barométrica local. Deve-se absorver 99% do ácido sulfídrico.

## 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 consiste em 29,15 kg/kmol. A densidade do gás medida nas condições operacionais, usando a lei dos gases, 1,192 kg/m³.

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

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

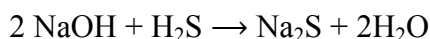
O dimensionamento da coluna de absorção foi realizado por método iterativo. O ponto de partida foi o fluxo de gás de operação de  $500 \text{ lb/h} \cdot \text{ft}^2$ , o que possibilita especificar o diâmetro da coluna usando a Equação 2.

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

Como a coluna é cilíndrica calcula-se o diâmetro:  $D = 0,300 \text{ ft} (0,100 \text{ m})$ .

## 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  $0,52 \text{ kg/h}$  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  $1,22 \text{ kg/h}$ .

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% a mais de hidróxido de sódio. Assim, a taxa de hidróxido de sódio deverá ser de  $1,47 \text{ kg/h}$  e a taxa da solução  $29,4 \text{ kg/h} (64,8 \text{ lb/h})$  a 5% em massa. A densidade da solução é igual a  $1.054 \text{ kg/m}^3$ , o que possibilita o cálculo da vazão em  $0,028 \text{ m}^3/\text{h}$ . O fluxo de solução pode ser calculado:

$$G_x = \frac{64,8 \text{ lb/h}}{\pi \frac{0,33^2}{4} \text{ ft}^2} = 758 \text{ lb/h} \cdot \text{ft}^2$$

## 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  $N_{Oy}$ , simplificada pelas considerações efetuadas.

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

A altura da unidade de transferência é obtida da Figura 3, obtendo-se:  $H_{Oy} = 2,2 \text{ ft}$  e usando a Equação 3, a altura da coluna deve ser de  $10 \text{ ft} (3 \text{ m})$ .

### 4.3. 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  $0,44 \text{ m/s}$  ( $1,45 \text{ ft/s}$ ), 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 2, obtém-se:  $\Delta P = 0,06$  polegadas água/pé de recheio ( $0,5 \text{ cm}$  água/m). A Equação 5 possibilita quantificar a perda de pressão na condição de inundação:

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

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  $12,5 \text{ m}^3/\text{h}$  de biogás a  $3\%$  mol de  $\text{H}_2\text{S}$  resultou em altura e diâmetro  $3 \text{ m}$  e  $0,1 \text{ m}$ , respectivamente, operando com perda de pressão de  $0,5 \text{ cm}$  água/m. Isso indica que pode ser diminuído o tamanho dos anéis Raschig para melhorar a eficiência da coluna de absorção.

## 6. 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.