

# PQI3303 – PROJETO: COLUNA DE ABSORÇÃO

Prof. Paiva / Marcelo, 2023

## Metodologia

O trabalho será realizado em grupos de 5 a 7 alunos. Os grupo devem apresentar **2ª feira 13:00 ou 2ª feira 15:00**, certifique-se que você poderá estar junto com o seu grupo na hora da apresentação. O trabalho consiste no desenvolvimento de um caso-base de projeto de separador, bem como **de um caso-adicional**, onde será analisada uma especificação de projeto adicional. O caso base será comum a todos os grupos de cada turma e será, em parte, trabalhado em sala de aula.

Os entregáveis são:

- Dia 11/08.** Um relatório **sobre o caso adicional do projeto**, contendo os cálculos e texto **explicativo** das decisões de projeto, análise da consistência dos resultados. **Discutir as diferenças entre o caso base e o caso adicional.** O caso base pode ser apresentado de forma sucinta.
- Dia 14/8, durante a aula.** Uma apresentação do efeito da especificação analisada sobre as características do equipamento projetado, **bem como sobre os fenômenos físicos que explicam estes efeitos** (10 minutos).

## Caso base do projeto

Nitrometano encontra aplicação como solvente e como reagente para síntese orgânica. Como ele é tóxico, em instalações industriais de produção ou uso deste composto, devem ser previstas medidas para reduzir o escape eventual de nitrometano ao ar para níveis seguros para a saúde humana. Entre outras medidas, propõe-se instalar um sistema de exaustão de ar acoplado a uma torre de absorção com água. As condições de projeto, especificadas para um caso crítico de escape, são descritas na seguinte tabela:

Turma (*)	Vazão de gás (mol/s)	Temperatura (K)	Pressão (atm)	Concentração de nitrometano no gás na entrada (fr. molar)	Concentração de nitrometano no gás na saída (fr. molar)
13h	20	320	1,1	0,05	0,0025
15h	20	320	1,1	0,05	0,0005

(\*) todos os grupos de uma dada turma (13h ou 15h) fazem o mesmo caso-base.

Especificações adicionais de projeto são as seguintes:

- Uma temperatura ambiente elevada, de 320K, é escolhida por segurança (absorção gasosa é menos eficaz sob maior temperatura).
- Fluxo de gás igual a 50 % do fluxo de afogamento, conforme recomendado para operações de absorção em geral.
- Razão de vazões molares de líquido em relação a gás 30% acima da razão mínima, dentro da faixa usual recomendada para operações de absorção (10 a 50%)
- Perda de carga na coluna inferior a 200 mm de coluna d'água, para limitar o investimento e custo de energia relacionados ao soprador de ar.
- Enchimento com anéis de Raschig cerâmicos com diâmetro nominal 25 mm.

- f. As propriedades das correntes de gás e líquido podem ser estimadas pelas do ar e da água, respectivamente
- g. Efeitos térmicos desprezíveis.
- h. Dados de equilíbrio para nitrometano.  $H$  = constante de Henry,  $H = p/x$  (atm),  $p$  = pressão parcial (atm) e  $x$  = fração molar de nitrometano, respec. em ar e água.

T	298 K	320 K
H	1,6	4,0

- i. Coeficientes de transporte de massa e a área molhada estimados pelas correlações de Onda, apresentadas abaixo e em planilha Excel. Adotar uma tensão interfacial de 61 dynes/cm.
- j. Assumir, preliminarmente, difusividades típicas de pequenas moléculas na fase inerte:  $10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  para o gás e  $10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  para o líquido.

As especificações dos itens f, g e h são aceitáveis desde que as concentrações sejam baixas. Estas hipóteses permitem que se realize um projeto rapidamente e com qualidade suficiente para um estudo de viabilidade inicial. Um cálculo rigoroso poderá ser feito numa fase posterior usando um simulador de processo.

As especificações a serem desenvolvidas no caso base do projeto são as seguintes:

- a. a perda de Nitrometano para a atmosfera
- b. a vazão de líquido
- c. a altura do leito
- d. o diâmetro do leito
- e. a perda de carga

A composição da fase líquida permite que se especifique o processo de purificação e reúso da água. As dimensões do leito determinam o investimento, e a perda de carga o consumo energético e investimento com o compressor. No seu conjunto, estas especificações permitem que se avalie o impacto ambiental para tratar o nitrometano.

### Caso Adicional

Deseja-se verificar se as especificações iniciais, baseadas em recomendações genéricas, são adequadas para o sistema em pauta. Para isso, pede-se desenvolver projetos alternativos variando apenas uma das especificações, conforme tabela abaixo.

Grupo 13h	Grupo 15h	Especificação a variar
A (*)	G (*)	T = 298 K
B	H	P = 10 bar
C	I	L/Lmin = 1,5
D	J	Recheio Pall 25 mm
E	K	Difusividade real do contaminante no gás e no líquido (analisar cada difusividade individualmente).
F	L	Os coeficientes individuais de transporte de massa são 20% menores (analisar cada coeficiente individualmente)

(\*) apresentar também o caso-base.

Pede-se refazer o projeto para o caso adicional e explicar como a especificação estudada influencia as especificações de projeto e quais fenômenos físicos explicam esta influência.

## Correlação de Onda (fonte: Perry)

Nota: corrigir a equação da área específica  $aw/ap$ . Trocar  $L/(\rho_L \cdot \sigma \cdot a_p)$  por  $L^2/(\rho_L \cdot \sigma \cdot a_p)$ . Esta correção já foi feita na planilha Excel.

$\frac{k'_G RT}{a_p D_G} = A \left( \frac{G}{a_p \mu_C} \right)^{0.7} N_{Sc,C}^{1/3} (a_p d'_p)^{-2.0}$ $k'_L \left( \frac{\rho_L}{\mu_L g} \right)^{1/3} = 0.0051 \left( \frac{L}{a_w \mu_L} \right)^{2/3} N_{Sc,L}^{-1/2} (a_p d'_p)^{0.4}$ <p><math>k'_L = \text{lbmol/hr ft}^2 (\text{lbmol/ft}^3) [\text{kgmol/s m}^2 (\text{kgmol/m}^3)]</math></p> $\frac{a_w}{a_p} = 1 - \exp \left\{ -1.45 \left( \frac{\sigma_C}{\sigma} \right)^{0.75} \left( \frac{L}{a_p \mu_L} \right)^{0.1} \right. \\ \left. \times \left( \frac{L^2 a_p}{\rho_L^2 g} \right)^{-0.05} \left( \frac{L}{\rho_L \sigma a_p} \right)^{0.2} \right\}$	<p>[E] Gas absorption and desorption from water and organics plus vaporization of pure liquids for Raschig rings, saddles, spheres, and rods. <math>d'_p</math> = nominal packing size, <math>a_p</math> = dry packing surface area/volume, <math>a_w</math> = wetted packing surface area/volume. Equations are dimensionally consistent, so any set of consistent units can be used. <math>\sigma</math> = surface tension, dynes/cm.</p> <p><math>A = 5.23</math> for packing <math>\geq 1/2</math> inch (0.012 m)  <math>A = 2.0</math> for packing <math>&lt; 1/2</math> inch (0.012 m)  <math>k'_G = \text{lbmol/hr ft}^2 \text{ atm} [\text{kg mol/s m}^2 (\text{N/m}^2)]</math></p> <p>Critical surface tensions, <math>\sigma_C = 61</math> (ceramic), 75 (steel), 33 (polyethylene), 40 (PVC), 56 (carbon) dynes/cm.</p> $4 < \frac{L}{a_w \mu_L} < 400$ $5 < \frac{G}{a_p \mu_C} < 1000$ <p>Most data <math>\pm 20\%</math> of correlation, some <math>\pm 50\%</math>.          Graphical comparison with data in Ref. 109.</p>
--	---

Correlação Perry Table 5-24 E

$H_C = \left( \frac{0.226}{f_p} \right) \left( \frac{N_{Sc}}{0.660} \right)^b \left( \frac{G_x}{6.782} \right)^{-0.5} \left( \frac{G_y}{0.678} \right)^{0.35}$ $H_L = \left( \frac{0.357}{f_p} \right) \left( \frac{N_{Sc}}{372} \right)^{0.5} \left( \frac{G_x/\mu}{6.782/0.0008937} \right)^{0.3}$ <p>Relative transfer coefficients [91], <math>f_p</math> values are in table:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Size, in.</th> <th>Ceramic Raschig rings</th> <th>Ceramic Berl saddles</th> <th>Metal Pall rings</th> <th>Metal Intalox</th> <th>Metal Hypac</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>1.52</td> <td>1.58</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>1.20</td> <td>1.36</td> <td>1.61</td> <td>1.78</td> <td>1.51</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>1.00</td> <td>—</td> <td>1.34</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.85</td> <td>—</td> <td>1.14</td> <td>1.27</td> <td>1.07</td> </tr> </tbody> </table> <p>Norton Intalox structured: 2T, <math>f_p = 1.98</math>; 3T, <math>f_p = 1.94</math>.</p>	Size, in.	Ceramic Raschig rings	Ceramic Berl saddles	Metal Pall rings	Metal Intalox	Metal Hypac	0.5	1.52	1.58	—	—	—	1.0	1.20	1.36	1.61	1.78	1.51	1.5	1.00	—	1.34	—	—	2.0	0.85	—	1.14	1.27	1.07	<p>Comments          E = Empirical, S = Semiempirical, T = Theoretical</p> <p>[S] <math>H_C</math> based on <math>\text{NH}_3</math> absorption data (5-28B) for which <math>H_{C, \text{base}} = 0.226</math> m with <math>N_{Sc, \text{base}} = 0.660</math> at <math>G_{x, \text{base}} = 6.782 \text{ kg}/(\text{sm}^2)</math> and <math>G_{y, \text{base}} = 0.678 \text{ kg}/(\text{sm}^2)</math> with 1½ in. ceramic Raschig rings. The exponent <math>b</math> on <math>N_{Sc}</math> is reported as either 0.5 or as 2/3.</p> $f_p = \frac{H_C \text{ for } \text{NH}_3 \text{ with } 1\frac{1}{2} \text{ Raschig rings}}{H_C \text{ for } \text{NH}_3 \text{ with desired packing}}$ <p><math>H_L</math> based on <math>\text{O}_2</math> desorption data (5-24-A).          Base viscosity, <math>\mu_{\text{base}} = 0.0008937 \text{ kg}/(\text{ms})</math>.  <math>H_L</math> in m. <math>G_y &lt; 0.949 \text{ kg}/(\text{sm}^2)</math>, <math>0.678 &lt; G_x &lt; 6.782 \text{ kg}/(\text{sm}^2)</math>.</p> <p>Best use is for absorption and stripping. Limited use for organic distillation [156].</p>
Size, in.	Ceramic Raschig rings	Ceramic Berl saddles	Metal Pall rings	Metal Intalox	Metal Hypac																										
0.5	1.52	1.58	—	—	—																										
1.0	1.20	1.36	1.61	1.78	1.51																										
1.5	1.00	—	1.34	—	—																										
2.0	0.85	—	1.14	1.27	1.07																										