

# FT II – Resolução Exame de Recurso

Felipe B. Pinto 61387 – MIEQB

15 de abril de 2024

Conteúdo

## Questão 1

Um tanque com o topo aberto para a atmosfera contém metanol líquido ( $\text{CH}_3\text{OH}$ , peso molecular 32 g/mol) no fundo do tanque.

- O tanque é mantido a  $30^\circ\text{C}$
- ( $d = 1.0\text{ m}$ ) O diâmetro do tanque cilíndrico é de 1.0 m
- ( $z_1 = 0\text{ m}$ ) A altura total do tanque é de 3.0 m
- ( $z_0 = 0.5\text{ m}$ ) O nível do líquido no fundo do tanque é mantido em 0.5 m
- O espaço de gás dentro do tanque está estagnado
- ( $y_1 = 0$ ) Os vapores de  $\text{CH}_3\text{OH}$  são imediatamente dispersos assim que saem do tanque.
- ( $P_{*,30^\circ\text{C}} = 163\text{ mmHg}$ ) A  $30^\circ\text{C}$ , a pressão de vapor exercida pelo  $\text{CH}_3\text{OH}$  líquido é de 163 mmHg
- ( $P_{*,40^\circ\text{C}} = 265\text{ mmHg}$ ) A  $40^\circ\text{C}$ , a pressão de vapor exercida pelo  $\text{CH}_3\text{OH}$  líquido é de 265 mmHg
- ( $D_{A,B} = 1.66\text{ cm}^2/\text{s}$ ) O coeficiente de difusão do metanol no ar é  $1.66\text{ cm}^2/\text{s}$  e varia com a temperatura  $T^{3/2}$

Q1 a.

Qual é a taxa ( $W$ ) de emissão de vapor de  $\text{CH}_3\text{OH}$  do tanque em kg/d quando o tanque está a uma temperatura de  $30^\circ\text{C}$ ? Deduza a equação necessária e as condições fronteira para este problema.

Resposta

$$p_1 \cong 163\text{ mmHg} \frac{\text{atm}}{760.00\text{ mmHg}} \cong 214.47\text{ E-3 atm};$$

$$\begin{cases} z_0 = 0.5\text{ m} & p_0 = 0\text{ atm} \\ z_1 = 3.0\text{ m} & p_1 = 214.47\text{ E-3 atm} \end{cases}$$

$$W = N_A A =$$

$$= \left( \frac{c D_{A,B}}{z_1 - z_0} \ln \frac{1 - p_{A,0}}{1 - p_{A,1}} \right) (\pi (d/2)^2) =$$

$$= \frac{\left( \frac{P}{RT} \right) D_{A,B}}{z_1 - z_0} \ln \frac{1 - p_{A,1}}{1 - p_{A,0}} * \frac{\pi d^2}{4} \cong$$

$$\cong \frac{\left( \frac{1}{82.06\text{ E-6} * (30 + 273.15)} \right) (1.66\text{ E-4})}{3.0 - 0.5} \ln \frac{1}{1 - 214.47\text{ E-3}} * \frac{\pi 1.0^2}{4} \cong$$

$$\cong 506.08\text{ E-6} \frac{\text{mol}(\text{CH}_3\text{OH})}{\text{s}} \frac{32\text{ g}_{\text{CH}_3\text{OH}}}{\text{mol}_{\text{CH}_3\text{OH}}} \frac{3600\text{ s}}{\text{h}} \frac{24\text{ h}}{\text{d}} \cong$$

$$\cong 1.40\text{ kg}(\text{CH}_3\text{OH})/\text{d}$$

Q1 b.

Se a temperatura do tanque for aumentada para  $40^\circ\text{C}$ , qual é a % de aumento na taxa de emissão para um aumento de  $10^\circ\text{C}$  na temperatura.

Resposta

$$p_1 = 265\text{ mmHg} \frac{\text{atm}}{760.00\text{ mmHg}} \cong 348.68\text{ E-3 atm};$$

$$\begin{cases} z_0 = 0.5\text{ m} & p_0 = 0\text{ atm} \\ z_1 = 3.0\text{ m} & p_1 = 348.68\text{ E-3 atm} \end{cases}$$

$$\text{Aumento} = \frac{\Delta W}{W_{30^\circ\text{C}}} = \frac{W_{40^\circ\text{C}} - W_{30^\circ\text{C}}}{W_{30^\circ\text{C}}} = \frac{W_{40^\circ\text{C}}}{W_{30^\circ\text{C}}} - 1 = \frac{N_{A,40^\circ\text{C}}}{N_{A,30^\circ\text{C}}} - 1 =$$

$$= \left( \frac{\left( \frac{P}{RT} \right) D_{A,B,40^\circ\text{C}}}{z_1 - z_0} \ln \frac{1 - y_{A,1}}{1 - y_{A,0}} \right) \frac{1}{N_{A,30^\circ\text{C}}} - 1 =$$

$$= \left( \frac{\left( \frac{P}{RT} \right) \left( D_{A,B,30^\circ\text{C}} \left( \frac{40 + 273.15}{30 + 273.15} \right)^{3/2} \right)}{z_1 - z_0} \ln \frac{1 - y_{A,1}}{1 - y_{A,0}} \right) \frac{1}{N_{A,30^\circ\text{C}}} - 1 =$$

$$= \left( \frac{\left( \frac{1}{82.06\text{ E-6} * (313.15)} \right) \left( 1.66\text{ E-4} * \left( \frac{313.15}{303.15} \right)^{3/2} \right)}{3.0 - 0.5} \ln \frac{1}{1 - 348.68\text{ E-3}} \right) *$$

$$* \frac{1}{644.36\text{ E-6}} - 1 \cong$$

$$\cong 80.52\%$$

## Questão 2

Um reator de leito fluidizado de carvão foi proposto para uma nova fábrica.

- Se operado a 1145 K, o processo de combustão em ar (21 % $\text{O}_2$  e 79 % $\text{N}_2$ ) será limitado pela difusão do  $\text{O}_2$  em contracorrente ao  $\text{CO}_2$ , formado na superfície da partícula
- Suponha que o carvão seja carbono sólido puro com densidade de  $1.28 \text{ E } 3 \text{ kg/m}^3$
- Que a partícula seja esférica com um diâmetro inicial de  $1.5 \text{ E } -4 \text{ m}$  ( $150 \text{ }\mu\text{m}$ ).
- Sob as condições do processo de combustão, a difusividade do  $\text{O}_2$  na mistura gasosa a 1145 K é  $1.3 \text{ E } -4 \text{ cm}^2/\text{s}$ .
- A reação na superfície é:  $\text{C}_{(\text{s})} + \text{O}_{2(\text{g})} \longrightarrow \text{CO}_{2(\text{g})}$
- Na superfície da partícula de carvão, a reação é muito rápida.

Se for assumido um processo de estado quase estacionário, calcule:

- $\text{O}_2$ :A
- $\text{CO}_2$ :B

Q2 a.

O tempoo necessário para reduzir o diâmetro da partícula de carbono para  $5 \text{ E } -5 \text{ m}$  ( $50 \text{ }\mu\text{m}$ ). Deduza as equações necessárias e as condições fronteira para este problema

---

---

Resposta

$$N_{A,r} = -r \pi r c D_{A,B} y_{A,\infty};$$

$$-4 \pi r c D_{A,B} y_{A,\infty} = \frac{\rho_c}{M} 4 \pi r dr;$$

$$dt = -\frac{\rho_c r dr}{M c D_{A,B} y_{A,\infty}} \implies$$

$$\implies t = \frac{\rho_c (r_0^2 - r_1^2)}{2 M c D_{A,B} y_{A,\infty}} \cong$$

$$\cong \frac{(1.28 \text{ E } 3) ((1.5 \text{ E } -4/2)^2 - (5 \text{ E } -5/2)^2)}{2 * 0.012 * \left(\frac{1}{82.06 \text{ E } -6 * 1145}\right) * (1.3 \text{ E } -8) * 0.21} \cong$$

$$\cong 9.18 \text{ E } 3 \text{ s} \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} \cong 2.55 \text{ h}$$

$$N_{A,r} = y_A(N_A + N_B) - c D_{A,B} \frac{dy_A}{dr} = -c D_{A,B} \frac{dy_A}{dr} \implies$$

$$\implies \int N_{A,r} dr = N_{A,r_0} r_0^2 \int dr/r^2 = -N_{A,r_0} r_0^2 \Delta(r^{-1}) =$$

$$= \int -c D_{A,B} dy_A = -c D_{A,B} \int dy_A = -c D_{A,B} \Delta y_A \implies$$

$$\implies N_{A,r_1} = \frac{c D_{A,B} \Delta y_A}{r_1^2 \Delta(r^{-1})} = \frac{c D_{A,B} \Delta y_A}{r_1^2 \Delta(r^{-1})}$$

Q2 b.

Explique por que razão temos neste caso difusão com reação química heterogénea.

Questão 3

Um tanque de água profundo tem O<sub>2</sub> dissolvido com uma concentração uniforme 1 g/L. Se a concentração de O<sub>2</sub> for subitamente elevada á superfície para 10 g/L, calcule:

•  $D_{\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}} = 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

$$\frac{c_{A,s} - c_A}{c_{A,s} - c_{A,0}} = \text{erf } \xi \qquad \xi = \frac{z}{\sqrt{4 D t}}$$

$$J_{A,*} = -D \frac{\partial c_A}{\partial z} = \sqrt{\frac{D}{\pi t}} \exp\left(\frac{-z^2}{4 D t}\right) (c_{A,s} - c_{A,0})$$

$C_A$  é a concentração de O<sub>2</sub> a uma distância ( $z$ ) da superfície num determinado instante ( $t$ )

$C_{A,0}$  é a concentração inicial

$C_{A,s}$  é a concentração na superfície

$D$  é o coeficiente de difusão

$a$	$\text{erf}(a)$	$a$	$\text{erf}(a)$	$a$	$\text{erf}(a)$
0.0	0.0	0.48	0.50275	0.96	0.82542
0.04	0.04511	0.52	0.53790	1.00	0.84270
0.08	0.09008	0.56	0.57162	1.10	0.88021
0.12	0.13476	0.60	0.60386	1.20	0.91031
0.16	0.17901	0.64	0.63459	1.30	0.93401
0.20	0.22270	0.68	0.66378	1.40	0.95229
0.24	0.26570	0.72	0.69143	1.50	0.96611
0.28	0.30788	0.76	0.71754	1.60	0.97635
0.32	0.34913	0.80	0.7421	1.70	0.98379
0.36	0.38933	0.84	0.76514	1.80	0.98909
0.40	0.42839	0.88	0.78669	2.00	0.99532
0.44	0.46622	0.92	0.80677	3.24	0.99999

Tabela 1: Error function values. For negative  $a$ ,  $\text{erf}(a)$  is negative

$$\text{erf}(|a|) = 1 - \left(1 + 0.2784 |a| + 0.2314 |a|^2 + 0.0781 |a|^4\right)^{-4}$$

Q3 a.

A concentração de O<sub>2</sub> a 1 mm de profundidade ao fim de 2 horas?

Resposta

$$C_A = C_{A,s} - (C_{A,s} - C_{A,0}) \text{erf}(A);$$

$$a = \frac{z}{\sqrt{4 D t}} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{4 * 10^{-9} * (2 * 3600)}} \cong 186.34 \text{ E-3} \implies$$

$$\implies \text{erf}(a) \cong 0.17901 * 186.34 \text{ E-3} / 0.16 \cong 208.48 \text{ E-3}$$

$$\therefore C_A \cong 10 - (10 - 1) 208.48 \text{ E-3} \cong 8.12$$

Q3 b.

O fluxo de O<sub>2</sub> na superfície do tanque para esse tempo?

Resposta

$$J_A = \sqrt{\frac{D}{\pi t}} (C_{A,s} - C_{A,0}) = \sqrt{\frac{10^{-9}}{\pi (2 * 3600)}} (10 - 1) \cong 1.89 \text{ E-6}$$

## Questão 4

- Ar seco (300 K e 1.013 E 5 Pa) circula a uma velocidade de 1.5 m/s
- num tubo com 6 m de comprimento e 0.15 m de diâmetro
- A superfície interior do tubo está revestida com um material adsorvente (com razão diâmetro/rugosidade,  $d/\varepsilon$ , de 10.000) que está saturado com água
- Difusidade da água em ar 300 K  $D_{\text{H}_2\text{O}-\text{Ar},300\text{ K}} = D_{\text{H}_2\text{O}-\text{Ar}} = 2.6 \text{ E } -5 \text{ m}^2 \text{ s}$
- Viscosidade cinemática do ar a 300 K:  $1.569 \text{ E } -5 \text{ m}^2 \text{ s}$
- Pressão de vapor da água a 300 K: 17.5 mmHg
- $R = 82.06 \text{ E } -3 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Fator de atrito:  $f = 0.00791 Re^{0.12}$

$$Re = \frac{\rho d v}{\mu} \quad Sc = \frac{\mu}{\rho D_{A,B}} \quad Sh = \frac{k_c d}{D_{A,B}}$$

$$\ln \frac{c_{A,s} - c_{A,0}}{c_{A,s} - c_{A,l}} = \frac{4 k_c L}{d v}$$

- $C_{A,s} = C_*$
- $v$ : Velocidade

Analogia de chilton–Colburn:

$$\frac{k_c}{v} Sc^{2/3} = f/2$$

Determine:

Q4 a.

A concentração de água à saída do tubo.

Resposta

$$\begin{aligned} \ln \frac{c_{A,s} - c_{A,0}}{c_{A,s} - c_{A,l}} &= \frac{4 k_c L}{d v} \implies c_{A,s} - \frac{c_{A,s} - c_{A,0}}{\exp\left(\frac{4 k_c L}{d v}\right)} = c_{A,s} - \frac{c_{A,s}}{\exp\left(\frac{4 k_c L}{d v}\right)} = \\ &= c_{A,s} \left(1 - \exp\left(\frac{-4 k_c L}{d v}\right)\right) = c_{A,*} \left(1 - \exp\left(\frac{-4 k_c L}{d v}\right)\right) = c_{A,l} \implies \\ \implies c_{A,l} &= c_{A,*} \left(1 - \exp\left(\frac{-4 k_c L}{d v}\right)\right) = \left(\frac{P_{A,*}}{R T}\right) \left(1 - \exp\left(\frac{-4 k_c L}{d v}\right)\right) \end{aligned}$$

$$\frac{k_c}{v} Sc^{2/3} = f/2 \implies$$

$$\begin{aligned} \implies k_c &= \frac{f v}{2 Sc^{2/3}} = \frac{(0.00791 * Re^{0.12}) v}{2 \left(\frac{\mu}{\rho D_{A,B}}\right)^{2/3}} = \\ &= \frac{\left(0.00791 * \left(\frac{\rho d v}{\mu}\right)^{0.12}\right) v}{2 \left(\frac{\mu}{\rho D_{A,B}}\right)^{2/3}} = \\ &= \frac{\left(0.00791 * \left(\frac{1*0.15*1.5}{1.569 \text{ E } -5}\right)^{0.12}\right) 1.5}{2 \left(\frac{1.569 \text{ E } -5}{1*2.6 \text{ E } -5}\right)^{2/3}} \cong \\ &\cong 26.20 \text{ E } -3 \implies \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \implies c_{A,l} &\cong \left(\frac{17.5}{82.06 \text{ E } -6 * 300 * 760.00}\right) \left(1 - \exp\left(\frac{-4 * 26.20 \text{ E } -3 * 6}{0.15 * 1.5}\right)\right) \\ &\cong 874.92 \text{ E } -3 \end{aligned}$$

Q4 b.

A velodicade de transferência de água em kg/h

$$\begin{aligned} W &= N_A A = c_{A,l} v \pi (d/2)^2 \cong 874.92 \text{ E } -3 * 1.5 * \pi * (0.15/2)^2 \cong \\ &\cong 23.19 \text{ E } -3 \text{ mol (H}_2\text{O)/s} \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \frac{18 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{mol}_{\text{H}_2\text{O}}} \cong 1.50 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

## Questão 5

Pretende-se remover  $\text{SO}_2$  de uma mistura gasosa constituída por  $\text{SO}_2$  e ar por adsorção utilizando água.

- A constante de Henry é 1.5 atm
- A coluna usada opera a  $15^\circ\text{C}$  e 3 atm.
- Num dado ponto da coluna a % molar de  $\text{SO}_2$  na fase gasosa é 20 % e na fase líquida é 1 %.
- Sabendo que os coeficientes individuais de transferência de massa são  $k_y = 5.6 \times 10^{-4} \text{ mol/s m}^2$  e  $k_x = 5.6 \text{ mol/s m}^2$ .

Determine:

Q5 a.

As composições interfaciais.

Q5 b.

A % da resistência total respeitante a cada uma das fases.

Q5 c.

O coeficiente global de transferência de massa  $K_x$ .

Q5 d.

O fluxo de  $\text{SO}_2$

Q5 e.

O valor do fluxo quando usar soluções de NaOH com a concentração crítica de NaOH. Comente.

body