

MARINHA DO BRASIL  
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA DO BRASIL

CP-CEM/ 2020 ENGENHARIA QUÍMICA

1ª QUESTÃO – 8 PONTOS

Dados de  $1/(-r_A)$  e  $C_A$

$C_A$ (mol/l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$-1/r_A$ (min.l/mol)	100	40	20	10	5

Conversão de 80% de A:  $(C_{A0} - C_A)/C_{A0} = 0,8 \Rightarrow C_A = 0,2$  mol/l

a)(4 pontos)

$$dt = \frac{dC_A}{-r_A} \Rightarrow t = \int_{1,0}^{0,2} \frac{dC_A}{-r_A} \cong \sum_{i=1}^4 \frac{1}{-r_{Ai}} \Delta C_{Ai}$$

$$t = \sum_{i=1}^4 \frac{1}{-r_{Ai}} \Delta C_{Ai} \cong 0,2 \times \left[ \left( \frac{100 + 40}{2} \right) + \left( \frac{40 + 20}{2} \right) + \left( \frac{20 + 10}{2} \right) + \left( \frac{10 + 5}{2} \right) \right]$$

$$t \cong 24,5 \text{ min}$$

b)(4 pontos)

$$C_{Ae} = 1 \text{ mol/l}$$

Conversão de 80% de A:  $C_{As} = 0,2$  mol/l  $\Rightarrow -r_A = 0,01$  mol/(l.min)

$$(C_{Ae} - C_{As})q = (-r_A)V_M \Rightarrow (1,0 - 0,2)q = 0,01 \times 100 \Rightarrow q = 1,25 \text{ l/min} = 0,075 \text{ m}^3/\text{s}$$

2ª QUESTÃO – 8 PONTOS

a)(4 pontos)

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{1,2 \times 3 \times 10}{2,0 \cdot 10^{-5}} = 1,8 \cdot 10^6 \Rightarrow Nu = 2544 = \frac{hL}{k} \Rightarrow h = 2544 \frac{k}{L}$$

$$h = 2544 \frac{k}{L} = 2455 \times \frac{0,027}{10} = 6,9 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$q''_{ext} = h(T_{S1} - T_{ar}) = 6,9(320 - 295) = 172 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

b)(4 pontos)

$$U_{int} = \frac{1}{\frac{\Delta x}{kt} + \frac{1}{hi}} = \frac{1}{\frac{0,005}{0,2} + \frac{1}{4}} = 3,64 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$q''_{int} = U_{int}(T_{S1} - T_i) = 3,64(320 - 300) = 72,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$q''_{int} = hi(T_{S2} - T_i) = 4(T_{S2} - 300) = 72,8 \Rightarrow T_{S2} = 318,2 \text{ K}$$

### 3ª QUESTÃO – 8 PONTOS

a)(4 pontos)

Fração molar de  $\text{C}_2\text{H}_2$  no líquido:

$$x = \frac{3 \cdot 10^{-4}/26}{3 \cdot 10^{-4}/26 + 1/18} = 2,08 \cdot 10^{-4}$$

Pressão parcial de  $\text{C}_2\text{H}_2$  em equilíbrio:

$$P_{\text{C}_2\text{H}_2}^* = H_{\text{C}_2\text{H}_2} x = 1300 \times 2,08 \cdot 10^{-4} = 0,27 \text{ atm}$$

Pressão parcial de  $\text{C}_2\text{H}_2$  em equilíbrio:

$$P_{\text{C}_2\text{H}_2} = yP = 0,15 \times 1 = 0,15 \text{ atm}$$

Como  $P_{\text{C}_2\text{H}_2}^* > P_{\text{C}_2\text{H}_2}$ , a transferência é no sentido líquido  $\Rightarrow$  gás. Deve ocorrer a dessorção do acetileno.

b) (4 pontos)

$$m = \frac{H_{\text{C}_2\text{H}_2}}{P} = 1300$$

A força motriz expressa em fração molar é dada por:

$$(x - x^*) = \left(2,08 \cdot 10^{-4} - \frac{y}{m}\right) = \left(2,08 \cdot 10^{-4} - \frac{0,15}{1300}\right) = 9,26 \cdot 10^{-5}$$

$$K_x = \frac{1}{1/k_x + 1/mk_y} = \frac{1}{1/3 \cdot 10^{-3} + 1/1300 \times 2 \cdot 10^{-3}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ kmol de A} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$N_{\text{C}_2\text{H}_2} = K_x(x - x^*) = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ kmol de A} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Analogamente:

$$(y^* - y) = (mx - 0,15) = (1300 \times 2,08 \cdot 10^{-4} - 0,15) = 0,12$$

$$K_y = \frac{1}{m/k_x + 1/k_y} = \frac{1}{1300/3 \cdot 10^{-3} + 1/2 \cdot 10^{-3}} = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ kmol de A.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$N_{C_2H_2} = K_y(y^* - y) = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ kmol de A.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

#### 4ª QUESTÃO – 8 PONTOS

a) (6,0 pontos)

$$B + S = L + P$$

$$x_{A,B}B + x_{A,S}S = x_{A,L}L + x_{A,P}P$$

$$x_{I,B}B + x_{I,S}S = x_{I,L}L + x_{I,P}P$$

$$x_{A,B} = 0,4 ; x_{I,B} = 0,6 ; x_{C,B} = x_{I,S} = x_{A,S} = x_{I,L} = 0 ; x_{C,S} = 1$$

$$x_{A,L} = ? ; x_{C,L} = ? ; x_{I,P} = ? ; x_{C,P} = ? \text{ e } x_{A,P} = ?$$

$$B = 1000 ; (x_{A,P} + x_{C,P}) / x_{I,P} = 1,2 ; x_{A,L}L = 0,9 x_{A,B}B$$

$$\text{Equilíbrio: } x_{A,P} / (x_{A,P} + x_{C,P}) = x_{A,L} / (x_{A,L} + x_{C,L})$$

$$x_{A,B}B = 0,4 \times 1000 = 400 \text{ kg}$$

$$x_{A,L}L = 0,9 \times 0,4 \times 1000 = 360 \text{ kg}$$

$$x_{I,B}B = 0,6 \times 1000 = 600 \text{ kg}$$

$$x_{A,B}B + x_{A,S}S = x_{A,L}L + x_{A,P}P \Rightarrow 400 + 0 = 360 + x_{A,P}P \Rightarrow x_{A,P}P = 40 \text{ kg}$$

$$x_{I,B}B + x_{I,S}S = x_{I,L}L + x_{I,P}P \Rightarrow 600 + 0 = 0 + x_{I,P}P \Rightarrow x_{I,P}P = 600 \text{ kg}$$

$$(x_{A,P} + x_{C,P}) / x_{I,P} = 1,2 \Rightarrow (x_{A,P} + x_{C,P})P = 1,2 \times x_{I,P}P = 720 \text{ kg}$$

$$x_{A,P}P + x_{C,P}P = 40 + x_{C,P}P = 720 \text{ kg} \Rightarrow x_{C,P}P = 680 \text{ kg}$$

$$P = x_{A,P}P + x_{C,P}P + x_{I,P}P = 40 + 680 + 600 = 1320 \text{ kg}$$

$$x_{I,P}P = 600 = 1320 x_{I,P} \Rightarrow x_{I,P} = 0,4545$$

$$x_{A,P}P = 40 = 1320 x_{A,P} \Rightarrow x_{A,P} = 0,0303$$

$$x_{C,P}P = 680 = 1320 x_{C,P} \Rightarrow x_{C,P} = 0,5152$$

b) (2,0 pontos)

$$x_{A,P} / (x_{A,P} + x_{C,P}) = x_{A,L} / (x_{A,L} + x_{C,L})$$

$$0,0303 / (0,0303 + 0,5152) = x_{A,L} / (1) \Rightarrow x_{A,L} = 0,0556$$

$$x_{A,L}L = 0,0556L = 360 \Rightarrow L = 6480 \text{ kg}$$

$$B + S = L + P = 1000 + S = 6480 + 1320 \Rightarrow S = 6800 \text{ kg}$$

5ª QUESTÃO – 8 PONTOS

a) (4 pontos)

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 = 300 \text{ K}$$

$$T_3 = 400 \text{ K}$$

$$P_1 = 1 \text{ bar}$$

$$P_3 = 12 \text{ bar}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_1} = \frac{P_3 V_2}{T_3} \Rightarrow$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 ; \quad \frac{P_2}{T_1} = \frac{P_3}{T_3} \Rightarrow \frac{P_2}{300} = \frac{12}{400} \Rightarrow P_2 = 9 \text{ bar}$$

Transformação 1->2:

$$\begin{aligned} W_{12} &= \int -pdV \\ &= - \int \frac{NRT}{V} dV \\ &= -NRT \int \frac{dV}{V} = -NRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = -NRT \ln\left(\frac{NRT P_1}{NRT P_2}\right) \\ &= -NRT \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = NRT \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 300R \ln\left(\frac{9}{1}\right) \\ &= 300 \times 8,314 \times \ln(9) = 2495 \ln(9) = 5480 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\Delta U_{12} = 0 = W_{12} + Q_{12} \Rightarrow Q_{12} = -W_{12} = -5480 \text{ J}$$

b) (4 pontos)

Transformação 2->3:

$$W_{23} = 0 \Rightarrow \Delta U_{23} = W_{23} + Q_{23} = Q_{23}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{23} = Q_{23} &= N C_v (T_3 - T_2) = N \frac{5}{2} R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} \times 8,314 \times (400 - 300) \\ &= 2079 \text{ J} \end{aligned}$$

Para o processo:

$$\Delta U = \Delta U_{23} + \Delta U_{12} = 2079 \text{ J}$$

$$\Delta H = nC_p(T_3 - T_1) = n \frac{7}{2} R(T_3 - T_1) = \frac{7}{2} \times 8,314 \times (400 - 300) = 2910 \text{ J}$$

$$W = W_{12} + W_{23} = 2495 \ln(9) = 5480 \text{ J}$$

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = -2495 \ln(9) + 2079 = -3401 \text{ J}$$

### 6ª QUESTÃO – 8 PONTOS

a) a composição da mistura inicial de hidrogênio e oxigênio em porcentagem volumétrica. (4 pontos)

Para 1L da mistura inicial a 27°C e 1atm:

$$pV=nRT$$

$$1\text{atm} \cdot 1\text{L} = n \cdot 0,082 \cdot (27+273)$$

$$n_{\text{total}}=0,041 \text{ mols de mistura.}$$

Oxigênio recolhido: 750mL = 0,750L; a 27°C e 1atm.

$$pV=nRT$$

$$1\text{atm} \cdot 0,750\text{L} = n \cdot 0,082 \cdot (27+273)$$

$$n_{\text{O}_2}=0,030 \text{ mols.}$$

Quantidade de hidrogênio no início:

$$n_{\text{H}_2} = 0,041 - 0,030 = 0,011 \text{ mols}$$

%volumétrica = %molar

Assim:

$$\% \text{H}_2 = \frac{0,011}{0,041} \times 100 = 27\%$$

$$\% \text{O}_2 = \frac{0,030}{0,041} \times 100 = 73\%$$

b) a porcentagem em massa de CuO utilizada no processo, se havia 10g de CuO inicialmente. (4 pontos)

De acordo com a equação química:



(63,5+16)g.....2g

$m_{\text{CuO}} \dots\dots\dots 0,011 \times 2$

Massa de CuO consumida:  $m_{\text{CuO}} = 0,875\text{g}$

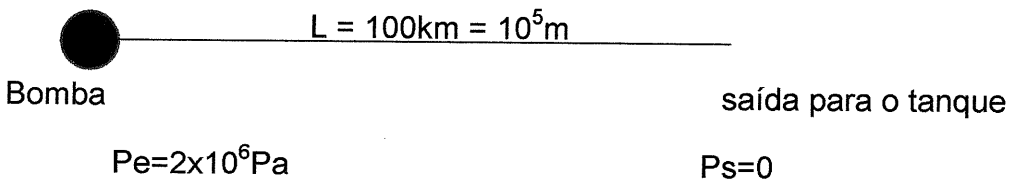
% de massa utilizada:

$$\%m_{\text{CuO}} = \frac{0,875}{10} \times 100 = 8,75\%$$

7ª QUESTÃO – 8 PONTOS

Estime em que ponto da tubulação, a partir da bomba, deve se localizar o vazamento.

Operação Normal:



Equação de Bernoulli:

$$\frac{v_{b1}^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + \eta_p W_s = \frac{v_{b2}^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + l w_f$$

Da saída da bomba até a entrada do tanque:

$$\frac{v_{b1}^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + \eta_p W_s = \frac{v_{b2}^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + l w_f$$

$v_{b1} = v_{b2}$  (diâmetro constante)

$z_1 = z_2$  (tubulação na horizontal)

$\eta_p W_s = 0$  (sem bomba no volume de controle utilizado)

Assim tem-se:

$$\frac{P_s - P_e}{\rho} + \frac{2fLv_b^2}{D} = 0$$

$$f = \frac{16}{Re}$$

$$Re = \frac{Dv_b\rho}{\mu}$$

Tem-se assim:

$$-2 \times 10^6 + \frac{32 \times 10^5 \mu v_b}{D^2} = 0$$

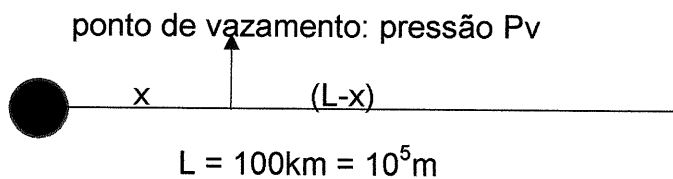
$$v_b = \frac{4q}{\pi D^2} \text{ e } q = 0,10 \text{ m}^3/\text{s}$$

Obtém-se:

$$\frac{\mu}{D^4} = 4,91$$

Operação com vazamento:

Operação Normal:



Bomba

$$P_e = 0 \text{ Pa}$$

$$q = 0,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

saída para o tanque

$$P_s = 0$$

$$q = 0,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

Equação de Bernoulli:

$$\frac{v_{b1}^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + \eta_p W_s = \frac{v_{b2}^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + l w f$$

Volume de controle: da saída da bomba até o ponto de vazamento:

$v_{b1}=v_{b2}$  (diâmetro constante)

$z_1=z_2$  (tubulação na horizontal)

$\eta_p W_s=0$  (sem bomba no volume de controle utilizado)

Assim tem-se:

$$\frac{P_v - P_e}{\rho} + \frac{2fxv_b^2}{D} = 0$$

$$f = \frac{16}{Re}$$

$$Re = \frac{Dv_b\rho}{\mu}$$

$$v_b = \frac{4q}{\pi D^2} \text{ e } q=0,15\text{m}^3/\text{s}$$

Obtém-se:

$$P_v + \frac{6,11x\mu}{D^4} = 0$$

Como:

$$\frac{\mu}{D^4} = 4,91$$

Tem-se:

$$P_v = 30x \text{ (equação a)}$$

Volume de controle: do ponto de vazamento até a saída para o tanque:

$v_{b1}=v_{b2}$  (diâmetro constante)

$z_1=z_2$  (tubulação na horizontal)

$\eta_p W_s=0$  (sem bomba no volume de controle utilizado)

Assim, tem-se:

$$\frac{P_v - P_e}{\rho} + \frac{2f(L-x)v_b^2}{D} = 0$$

$$f = \frac{16}{Re}$$

$$Re = \frac{Dv_b\rho}{\mu}$$



$$v_b = \frac{4q}{\pi D^2} \text{ e } q=0,09\text{m}^3/\text{s}$$

Obtém-se:

$$\frac{\mu}{D^4} = 4,91$$

$$-Pv + 18,02(L - x)=0$$

$$Pv=18,02(L-x) \text{ (equação b)}$$

Das equações a e b:

$$18,02(L-x) = 30x$$

$$\text{E obtém-se: } x=37,5\text{km}$$

O vazamento deve estar a 37,5km após a bomba.

### 8ª QUESTÃO – 8 PONTOS

...nos itens **a** e **b**, analise as seguintes propriedades:

-dureza;

-limite de resistência;

-ductilidade; e

-soldabilidade.

a)carbono. (4 pontos)

O aumento de carbono proporciona: aumento da dureza, aumento do limite de resistência, redução da ductilidade e redução da soldabilidade.

Justificativa:

Aumentando-se o carbono, haverá maior quantidade de cementita (carbeto de ferro) no aço, o que é responsável pelo aumento da dureza e resistência e, como consequência, diminuição da ductilidade. Quanto mais carbono, maior a temperabilidade do aço (possível formação de martensita), o que torna a soldagem cada vez mais difícil, devido ao endurecimento e aparecimento de trincas nas soldas e na região termicamente afetada pela solda.

Ferro e carbono forma uma liga intersticial.

b) manganês (4 pontos)

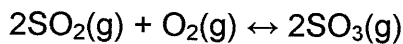
O aumento de manganês proporciona o aumento da dureza, aumento do limite de resistência. Tanto a ductilidade como a soldabilidade não são tão afetadas pelo aumento do manganês. Esse fato ocorre porque o ferro e o manganês possuem raios atômicos semelhantes (ferro 126pm e manganês 127pm), além de ambos se cristalizarem no mesmo sistema cristalino – Cúbico de corpo centrado.

Ferro e manganês forma uma liga substitucional.

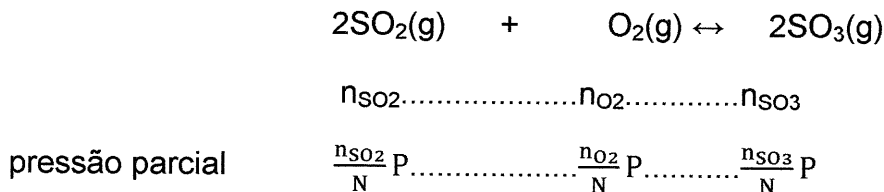
### 9ª QUESTÃO – 8 PONTOS

a) expresse a constante de equilíbrio  $K_p$  em função de  $n_{SO_2}$ ,  $n_{O_2}$ ,  $n_{SO_3}$ ,  $N$  e  $P$ . (2 pontos)

Reação:



No equilíbrio:



A constante de equilíbrio será:

$$K_p = \frac{\left[ \frac{n_{SO_3}}{N} P \right]^2}{\left[ \frac{n_{SO_2}}{N} P \right] \left[ \frac{n_{O_2}}{N} P \right]^2}$$

Que resulta em:

$$K_p = \frac{N \cdot n_{SO_3}}{n_{SO_2}^2 n_{O_2} P}$$

b) mostre e comente como a conversão do  $SO_3$  é afetada se um gás inerte, como o nitrogênio, for adicionado ao recipiente de equilíbrio. (2 pontos)

$$n_{\text{SO}_3} = \frac{K_p \cdot n_{\text{SO}_2}^2 \cdot n_{\text{O}_2}}{N}$$

A equação anterior mostra que ao se aumentar o número total de mols, N, de gases no recipiente de reação, pela adição de um gás inerte, a quantidade de SO<sub>3</sub> irá diminuir no equilíbrio.

- c) justifique o porquê de a constante de equilíbrio, K<sub>p</sub>, diminuir com o aumento de temperatura. (2 pontos)



Conforme informado, a reação é exotérmica. Dessa maneira, a retirada de calor do sistema reacional favorece a formação de SO<sub>3</sub>. O aumento de temperatura diminui a quantidade de SO<sub>3</sub> no equilíbrio, diminuindo a constante de equilíbrio K<sub>p</sub>.

- d) indique e justifique a indicação de três fatores que promovem o aumento da produção de SO<sub>3</sub> a partir da reação II. (2 pontos)

De acordo com o Princípio de Le Chatelier, o equilíbrio é deslocado no sentido de formar o produto:

- diminuindo a concentração de SO<sub>3</sub> no produto;
- aumentando a concentração de SO<sub>2</sub> ou de O<sub>2</sub> nos reagentes;
- aumentando a pressão dos reagentes o que desloca o equilíbrio no sentido do menor volume, ou seja, no sentido da produção de SO<sub>3</sub>; e
- diminuindo a temperatura, já que a reação é exotérmica.

### 10ª QUESTÃO – 8 PONTOS

Observe o texto apresentado a seguir e indique se os aspectos indicados para a corrosão foram apresentados corretamente ou não. Justifique os aspectos que julgar corretos e os que julgar incorretos, apresente a forma correta e justifique.

“Irregularidades microscópicas na textura de um metal, bem como diferença de estados de tensão mecânica numa peça metálica não são fatores importantes na corrosão. São fatores que contribuem para a corrosão: a presença de

umidade, a diferença de temperatura e a diferença de aeração. O contato entre metais ou ligas diferentes pouco interfere na corrosão, permitindo, assim, um amplo uso de metais e liga em contato. ”

Resposta:

Irregularidades microscópicas na textura de um metal: são decorrentes de diferenças de natureza, tamanho e orientação de grãos que constituem os metais. São causadores de corrosão apreciável. É um fator importante, portanto. Afirmação no texto está errada.

Diferença de estados de tensão mecânica: regiões mais tensionadas do que outras são responsáveis por corrosão. Manifesta-se por aparecimento de trincas. É um fator importante, portanto. É um fator importante, portanto. Afirmação no texto está errada.

A presença de umidade: a água reage formando ácidos que são altamente agressivos e corrosivos, além de aumentar a condutibilidade elétrica do meio. Afirmação correta no texto.

A diferença de temperatura: a temperatura afeta a atividade química e, portanto, afeta a corrosão. Afirmação correta no texto.

A diferença de aeração: a diferença de concentração de oxigênio no meio alimenta o processo catódico de redução do oxigênio na água. Assim, o processo anódico de oxidação do metal é alimentado, aumentando a corrosão. Afirmação correta no texto.

O contato entre metais ou ligas diferentes pouco interfere na corrosão, permitindo, assim, um amplo uso de metais e liga em contato: o contato entre metais ou ligas diferentes em meio adequado, por exemplo, meio aquoso, provoca a corrosão galvânica, em que o metal menos nobre é corroído. Afirmação no texto está errada.