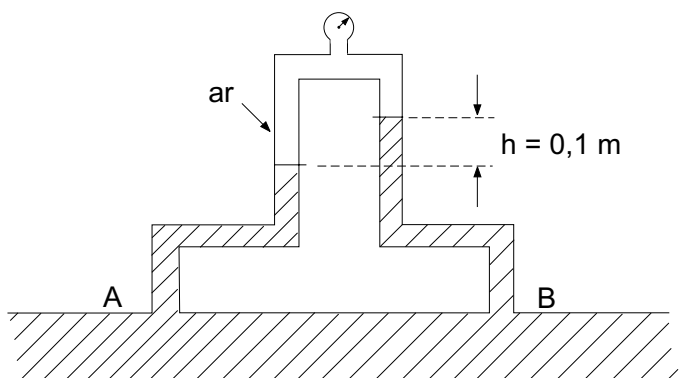


1

O dispositivo mostrado na figura abaixo mede o diferencial de pressão entre os pontos A e B de uma tubulação por onde escoar água.



$$\rho_{\text{água}} = 1.000 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{ar}} = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$$

$$g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$$

Com base nos dados apresentados na figura,

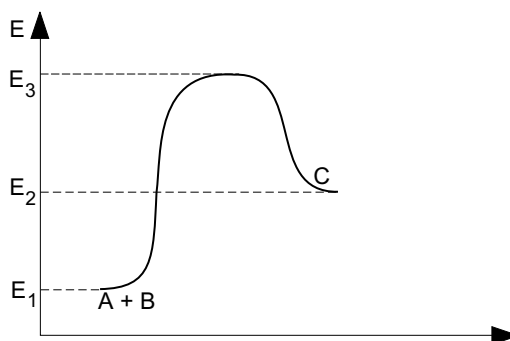
- determine o diferencial de pressão entre os pontos A e B, em Pa; **(valor: 2,5 pontos)**
- calcule a pressão absoluta no interior da camada de ar, sendo a leitura do Manômetro de Bourdon  $P_{\text{man}} = 10^4 \text{ Pa}$ , e a pressão atmosférica local  $P_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa}$ ; **(valor: 2,5 pontos)**
- responda se é possível utilizar o dispositivo mostrado na figura para medir a vazão de água que escoar através da tubulação, justificando sua resposta; **(valor: 2,5 pontos)**
- indique o sentido do escoamento do fluido ao longo da tubulação (A  $\rightarrow$  B ou B  $\rightarrow$  A). **(valor: 2,5 pontos)**

2

Ensaio de laboratório revelam que a solubilidade do dióxido de carbono, em termos de fração molar, em um hidrocarboneto não-volátil, é igual a  $5 \times 10^{-3}$  a  $10^5 \text{ Pa}$  e  $330 \text{ K}$ . Calcule a solubilidade do dióxido de carbono nesse hidrocarboneto a  $5 \times 10^6 \text{ Pa}$  e  $330 \text{ K}$ . Admita que a fase vapor se comporte como gás ideal e que a Constante de Henry independa da pressão. **(valor: 10,0 pontos)**

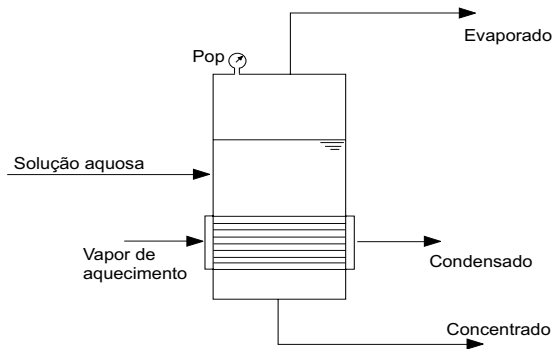
3

A figura abaixo representa o comportamento da energia E para uma reação elementar,  $A + B \rightarrow C$ , em função da coordenada de reação  $\xi$ .



- A reação é exotérmica ou endotérmica? Justifique. **(valor: 5,0 pontos)**
- Esboce um gráfico de E em função de  $\xi$  para a reação acima, que permita comparar o comportamento mostrado na figura com aquele que resultaria da ação de um catalisador sobre a reação. Justifique. **(valor: 5,0 pontos)**

Considere o evaporador esquematizado na seguinte figura:



- a) A pressão absoluta no interior do evaporador é mantida a  $1,3 \times 10^4$  Pa (pressão de operação-Pop), correspondendo a uma temperatura de saturação da água de  $51^\circ\text{C}$ . Utilizando os dados correntes apresentados na tabela abaixo, determine a vazão e a temperatura do evaporado e do concentrado, desprezando a elevação do ponto de ebulição da solução. **(valor: 5,0 pontos)**

CORRENTE	VAZÃO ( $\text{kg s}^{-1}$ )	% SOLUTO (MÁSSICA)	T ( $^\circ\text{C}$ )
Solução aquosa	2,0	10	30
Evaporado		0	
Concentrado		50	
Vapor de Aquecimento	1,8	***	126
Condensado	1,8	***	126

- b) Em termos qualitativos, o que aconteceria com a temperatura e a concentração da corrente de concentrado se a elevação do ponto de ebulição da solução fosse diferente de zero? Considere mantidas inalteradas as condições das correntes de solução aquosa e de vapor de aquecimento, bem como a Pop. Justifique a sua resposta. **(valor: 4,0 pontos)**

- c) O desempenho de evaporadores pode ser definido por

$$\eta = \frac{\text{massa de solvente evaporado}}{\text{massa de vapor de aquecimento utilizado}}$$

Proponha uma modificação no sistema de evaporação em análise que aumente o seu desempenho, mantidas inalteradas as especificações de sua alimentação, do vapor de aquecimento disponível e do concentrado produzido. **(valor: 1,0 ponto)**

5

Temos, abaixo, a representação do comportamento da concentração das substâncias A, B e P em três sistemas reacionais descontínuos, a densidade e temperatura constantes. Interprete a dependência da concentração dos componentes com o tempo em cada um dos sistemas, em termos de parâmetros cinéticos e termodinâmicos, informando e justificando cada resposta:

a) a estequiometria da reação;

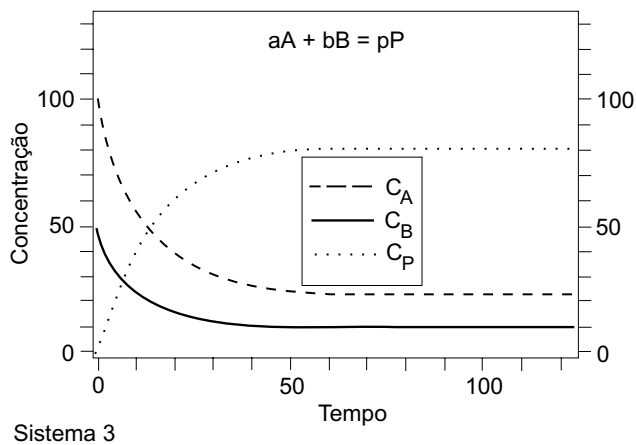
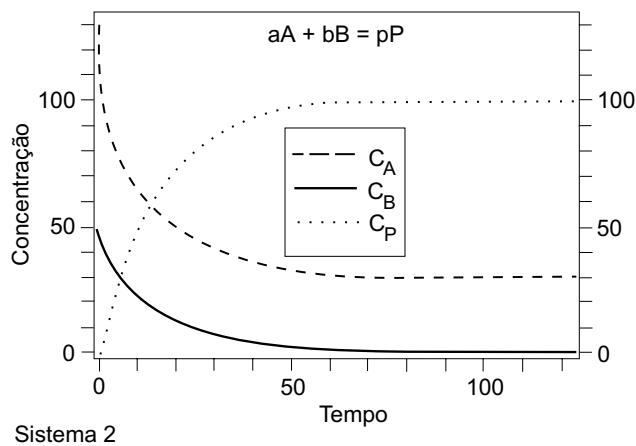
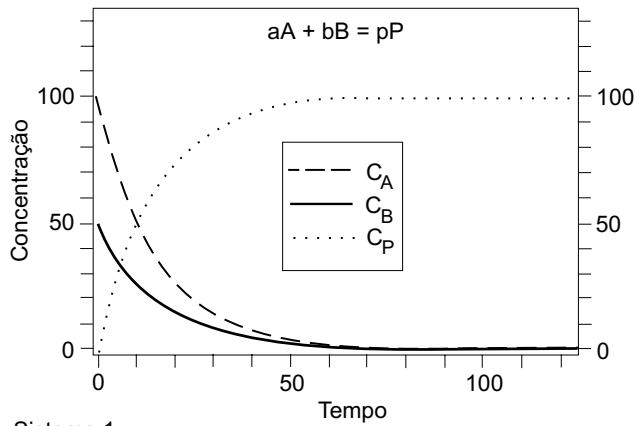
(valor: 4,0 pontos)

b) se os reagentes estão presentes em proporções estequiométricas ou não;

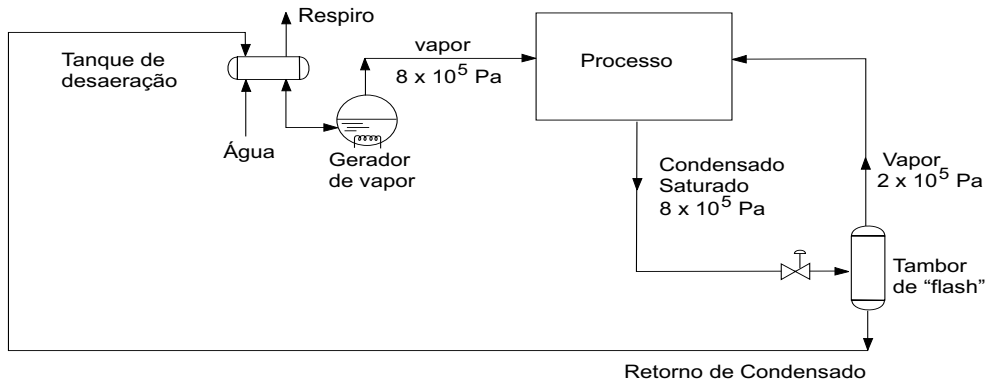
(valor: 3,0 pontos)

c) se a reação é reversível ou irreversível.

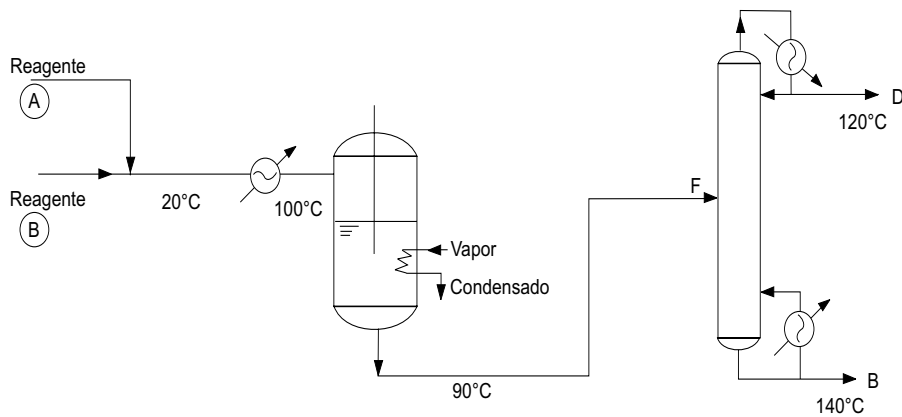
(valor: 3,0 pontos)



Um processo emprega vapor saturado a  $8 \times 10^5$  Pa (manométrica) como fluido de aquecimento. Do uso do vapor resultam  $4.000 \text{ kg h}^{-1}$  de condensado saturado na mesma pressão. Visando a uma utilização mais racional de energia, o condensado é expandido em um tambor de "flash", antes do retorno ao tanque de desaeração, gerando assim vapor de baixa pressão (a  $2 \times 10^5$  Pa manométrica), para ser utilizado no processo.



- a) Considerando essas informações, determine a quantidade de vapor gerado no tambor de "flash". **(valor: 7,0 pontos)**
- b) Sabendo-se que o fluxograma abaixo representa esse processo, de modo simplificado, indique onde o vapor de baixa pressão, gerado no tambor de "flash", poderá ser aproveitado de modo que, na eventual falha de seu suprimento, a operação do processo não fique prejudicada.



**(valor: 3,0 pontos)**

VAPOR SATURADO: TABELA DE PRESSÃO

Pressão, P kPa	Temperatura, T °C	Volume especif. (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> )		Energia interna (kJ kg <sup>-1</sup> )			Entalpia (kJ kg <sup>-1</sup> )			Entropia (kJ kg <sup>-1</sup> k <sup>-1</sup> )		
		Líquido saturado V <sub>L</sub>	Vapor saturado V <sub>V</sub>	Líquido saturado U <sub>LV</sub>	Evaporação U <sub>G</sub>	Vapor saturado U <sub>V</sub>	Líquido saturado H <sub>L</sub>	Evaporação H <sub>LV</sub>	Vapor saturado h <sub>V</sub>	Líquido saturado S <sub>L</sub>	Evaporação S <sub>LV</sub>	Vapor saturado S <sub>V</sub>
0.6113	0.01	0.001 000	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	9.1562
1.0	6.98	0.001 000	129.21	29.30	2355.7	2385.0	29.30	2484.9	2514.2	0.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	0.001 001	87.98	54.71	2338.6	2393.3	54.71	2470.6	2525.3	0.1957	8.6322	8.8279
2.0	17.50	0.001 001	67.00	73.48	2326.0	2399.5	73.48	2460.0	2533.5	0.2607	8.4629	8.7237
2.5	21.08	0.001 002	54.25	88.48	2315.9	2404.4	88.49	2451.6	2540.0	0.3120	8.3311	8.6432
3.0	24.08	0.001 003	45.67	101.04	2307.5	2408.5	101.05	2444.5	2545.5	0.3545	8.2231	8.5776
4.0	28.96	0.001 004	34.80	121.45	2293.7	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	0.001 005	28.19	137.81	2282.7	2420.5	137.82	2423.7	2561.5	0.4764	7.9187	8.3951
7.5	40.29	0.001 008	19.24	168.78	2261.7	2430.5	168.79	2406.0	2574.8	0.5764	7.6750	8.2515
10	45.81	0.001 010	14.67	191.82	2246.1	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	7.5009	8.1502
15	53.97	0.001 014	10.02	225.92	2222.8	2448.7	225.94	2373.1	2599.1	0.7549	7.2536	8.0085
20	60.06	0.001 017	7.649	251.38	2205.4	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.0766	7.9085
25	64.97	0.001 020	6.204	271.90	2191.2	2463.1	271.93	2346.3	2618.2	0.8931	6.9383	7.8314
30	69.10	0.001 022	5.229	289.20	2179.2	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	0.001 027	3.993	317.53	2159.5	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	6.6441	7.6700
50	81.33	0.001 030	3.240	340.44	2143.4	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	6.5029	7.5939
75	91.78	0.001 037	2.217	384.31	2112.4	2496.7	384.39	2278.6	2663.0	1.2130	6.2434	7.4564
100.	99.63	0.001 043	1.6940	417.36	2088.7	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	6.0568	7.3594
125.	105.99	0.001 048	1.3749	444.19	2069.3	2513.5	444.32	2241.0	2685.4	1.3740	5.9104	7.2844
150.	111.37	0.001 053	1.1593	466.94	2052.7	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	5.7897	7.2233
175.	116.06	0.001 057	1.0036	486.80	2038.1	2524.9	486.99	2213.6	2700.6	1.4849	5.6868	7.1717
200.	120.23	0.001 061	0.8857	504.49	2025.0	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	5.5970	7.1271
225.	124.00	0.001 064	0.7933	520.47	2013.1	2533.6	520.72	2191.3	2712.1	1.5706	5.5173	7.0878
250.	127.44	0.001 067	0.7187	535.10	2002.1	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	5.4455	7.0527
275.	130.60	0.001 070	0.6573	548.59	1991.9	2540.5	548.89	2172.4	2721.3	1.6408	5.3801	7.0209
300.	133.55	0.001 073	0.6058	561.15	1982.4	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	5.3201	6.9919
325.	136.30	0.001 076	0.5620	572.90	1973.5	2546.4	573.25	2155.8	2729.0	1.7006	5.2646	6.9652
350.	138.88	0.001 079	0.5243	583.95	1965.0	2548.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	5.2130	6.9405
375.	141.32	0.001 081	0.4914	594.40	1956.9	2551.3	594.81	2140.8	2735.6	1.7528	5.1647	6.9175
400.	143.63	0.001 084	0.4625	604.31	1949.3	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	5.1193	6.8959
450.	147.93	0.001 088	0.4140	622.77	1934.9	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	5.0359	6.8565
500.	151.86	0.001 093	0.3749	639.68	1921.6	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	4.9606	6.8213
550.	155.48	0.001 097	0.3427	655.32	1909.2	2564.5	655.93	2097.0	2753.0	1.8973	4.8920	6.7893
600.	158.85	0.001 101	0.3157	669.90	1897.5	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	4.8288	6.7600
650.	162.01	0.001 104	0.2927	683.56	1886.5	2570.1	684.28	2076.0	2760.3	1.9627	4.7703	6.7331
700.	164.97	0.001 108	0.2729	696.44	1876.1	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	4.7158	6.7080
750.	167.78	0.001 112	0.2556	708.64	1866.1	2574.7	709.47	2057.0	2766.4	2.0200	4.6647	6.6847
800.	170.43	0.001 115	0.2404	720.22	1856.6	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	4.6166	6.6628
850.	172.96	0.001 118	0.2270	731.27	1847.4	2578.7	732.22	2039.4	2771.6	2.0710	4.5711	6.6421
900.	175.38	0.001 121	0.2150	741.83	1838.6	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	4.5280	6.6226
950.	177.69	0.001 124	0.2042	751.95	1830.2	2582.1	753.02	2023.1	2776.1	2.1172	4.4869	6.6041
1000.	179.91	0.001 127	0.19444	761.68	1822.0	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	4.4478	6.5865

**7**

Considere um processo industrial que utiliza um leito fluidizado a gás, projetado originalmente para operar com uma velocidade superficial de fluidização ( $u_f$ ) igual ao triplo da velocidade superficial mínima de fluidização ( $u_{mf}$ ). As partículas do leito são caracterizadas por  $D_p = 0,1 \text{ mm}$  e  $\rho_s = 2,5 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ . Verifique se há risco de desfluidização do leito, caso sejam empregadas partículas com  $D_p = 0,125 \text{ mm}$  e  $3,0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ , mantida constante a vazão de gás. Suponha que a densidade e a viscosidade do gás sejam constantes ao longo do leito e justifique quantitativamente sua resposta.

A previsão de  $u_{mf}$  para dado sistema sólido-fluido pode ser feita com a Correlação de Wen e Yu (1966), dada abaixo, válida para número de Reynolds de partículas na mínima fluidização ( $Re_{p,mf}$ ) menor que 20.

$$u_{mf} = \frac{D_p^2 (\rho_s - \rho)g}{1650\mu}, \quad Re_{p,mf} = \frac{D_p u_{mf} \rho}{\mu} < 20$$

(valor: 10,0 pontos)

**Dados / Informações Adicionais**

para o gás:  $\rho = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$ ,  $\mu = 1,8 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$

$g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$

**8**

Uma indústria farmacêutica fabrica um produto **R** usando um reator de mistura de volume  $V_1 = 2$  litros e pretende expandir-se adquirindo outro de volume  $V_2 = 6$  litros. O novo sistema será formado colocando os reatores em paralelo, alimentado a uma vazão volumétrica total de  $v_o = 4 \text{ L h}^{-1}$ , com um reagente A puro, a uma concentração inicial  $C_{A0} = 20 \text{ g L}^{-1}$ . Sabe-se que o reagente se transforma segundo uma reação irreversível de 1ª ordem no único produto **R**. Na temperatura de trabalho, a constante cinética da reação é  $k_1 = 0,5 \text{ h}^{-1}$ . Calcule a produção máxima de **R** ( $F_R \text{ g h}^{-1}$ ) possível de se obter no sistema, dividindo-se a alimentação total  $v_o$  de forma adequada entre os dois reatores.

(valor: 10,0 pontos)

**Dados / Informações Adicionais:**

Equação do balanço de massa no reator de mistura ideal:

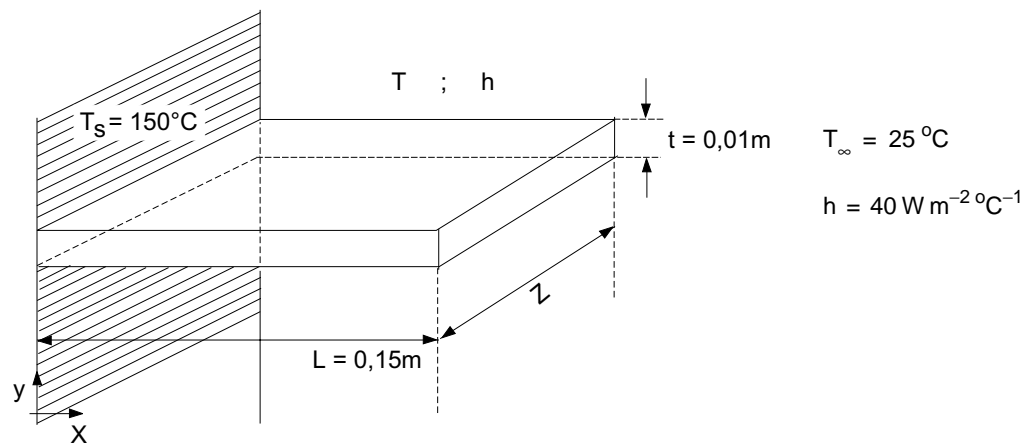
$$\frac{V_m}{F_{A0}} = \frac{X_A}{-r_A},$$

em que:

$V_m$  = volume do reator,  $F_{A0}$  = vazão mássica ou molar do reagente,

$X_A$  = conversão do reagente,  $-r_A$  = taxa de consumo do reagente.

Observe a aleta de alumínio ( $k_{Al} = 170 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ), retangular e de seção constante exposta às condições especificadas na figura abaixo.



Considere que a eficiência de uma aleta ( $\eta$ ) é definida como:

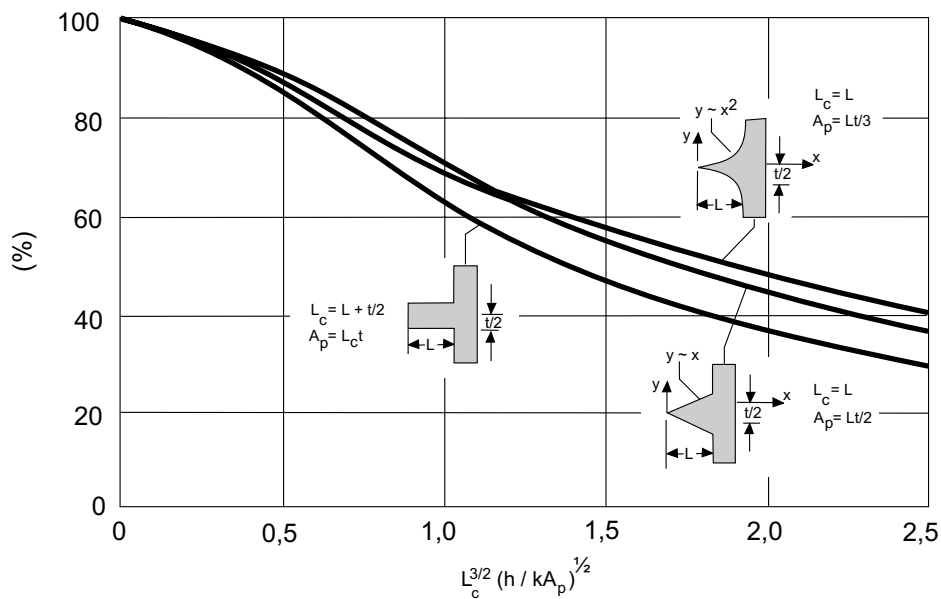
$$\eta = \frac{q_{ef}}{q_{max}} \times 100$$

em que  $q_{ef}$  é a taxa de transferência de calor entre a aleta e o ambiente (calor dissipado pela aleta) e  $q_{max}$  é a taxa entre a aleta e o ambiente se toda a aleta estivesse na temperatura da superfície na qual ela se encontra instalada ( $T_s$ ).

a) Determine a taxa de transferência de calor dissipado pela aleta para o ambiente, por unidade de profundidade ( $Z$ ).

(valor: 8,0 pontos)

Eficiência de aletas planas (perfis retangular, triangular e parabólico)



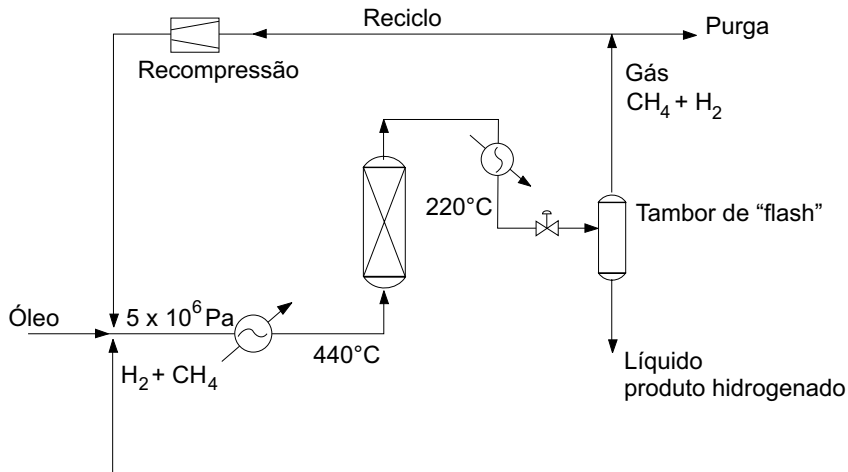
b) A eficiência da aleta que você acaba de utilizar no item anterior é obtida teoricamente a partir de um modelo que considera transferência de calor unidimensional através da aleta, ou seja,  $T = T(x)$ . Com base em que argumento esse modelo unidimensional é utilizado, uma vez que, na realidade, a temperatura no interior da aleta varia nas direções de  $x$  e  $y$ ?

(valor: 2,0 pontos)

10

Um reator de hidrogenação catalítica processará uma fração de petróleo a  $5 \times 10^6$  Pa e  $440^\circ\text{C}$ . O hidrogênio será alimentado em grande excesso, contendo 4% de  $\text{CH}_4$ , impureza que não toma parte na reação.

O efluente do reator deverá ser resfriado até  $220^\circ\text{C}$ , condensando os compostos subcríticos da mistura, para então ser submetido a uma expansão súbita ("flash"). A expansão adiabática promoverá a separação dos não-condensáveis ( $\text{H}_2$  e  $\text{CH}_4$ ) da fase líquida (produto da reação). Para o reaproveitamento do hidrogênio em excesso, parte da fase gasosa deverá ser recomprimada e reciclada para o reator (veja o fluxograma abaixo).



- a) Qual a influência da composição e da vazão de reciclo na otimização econômica do processo? **(valor: 7,0 pontos)**
- b) Esquematize a instrumentação mínima necessária para manter constante a pressão na descarga do tambor de "flash". **(valor: 3,0 pontos)**



## IMPRESSÕES SOBRE A PROVA

As questões abaixo visam a levantar sua opinião sobre a qualidade e a adequação da prova que você acabou de realizar e também sobre o seu desempenho na prova.

Assinale as alternativas correspondentes à sua opinião e à razão que explica o seu desempenho nos espaços próprios (parte inferior) do Cartão-Resposta.

Agradecemos sua colaboração.

**1**

Qual o ano de conclusão deste seu curso de graduação?

- (A) 2001.
- (B) 2000.
- (C) 1999.
- (D) 1998.
- (E) Outro.

**2**

Qual o grau de dificuldade desta prova?

- (A) Muito fácil.
- (B) Fácil.
- (C) Médio.
- (D) Difícil.
- (E) Muito difícil.

**3**

Quanto à extensão, como você considera a prova?

- (A) Muito longa.
- (B) Longa.
- (C) Adequada.
- (D) Curta.
- (E) Muito curta.

**4**

Para você, como foi o tempo destinado à resolução da prova?

- (A) Excessivo.
- (B) Pouco mais que suficiente.
- (C) Suficiente.
- (D) Quase suficiente.
- (E) Insuficiente.

**5**

A que horas você concluiu a prova?

- (A) Antes das 14.30 horas.
- (B) Aproximadamente às 14.30 horas.
- (C) Entre 14.30 e 15.30 horas.
- (D) Entre 15.30 e 16.30 horas.
- (E) Entre 16.30 e 17 horas.

**6**

As questões da prova apresentam enunciados claros e objetivos?

- (A) Sim, todas apresentam.
- (B) Sim, a maioria apresenta.
- (C) Sim, mas apenas cerca de metade apresenta.
- (D) Não, poucas apresentam.
- (E) Não, nenhuma apresenta.

**7**

Como você considera as informações fornecidas em cada questão para a sua resolução?

- (A) Sempre excessivas.
- (B) Sempre suficientes.
- (C) Suficientes na maioria das vezes.
- (D) Suficientes somente em alguns casos.
- (E) Sempre insuficientes.

**8**

Como você avalia a adequação da prova aos conteúdos definidos para o Provão/2001 desse curso?

- (A) Totalmente adequada.
- (B) Medianamente adequada.
- (C) Pouco adequada.
- (D) Totalmente inadequada.
- (E) Desconheço os conteúdos definidos para o Provão/2001.

**9**

Como você avalia a adequação da prova para verificar as habilidades que deveriam ter sido desenvolvidas durante o curso, conforme definido para o Provão/2001?

- (A) Plenamente adequada.
- (B) Medianamente adequada.
- (C) Pouco adequada.
- (D) Totalmente inadequada.
- (E) Desconheço as habilidades definidas para o Provão/2001.

**10**

Com que tipo de problema você se deparou *mais freqüentemente* ao responder a esta prova?

- (A) Desconhecimento do conteúdo.
- (B) Forma de abordagem do conteúdo diferente daquela a que estou habituado.
- (C) Falta de motivação para fazer a prova.
- (D) Espaço insuficiente para responder às questões.
- (E) Não tive qualquer tipo de dificuldade para responder à prova.

**Como você explicaria o seu desempenho em cada questão da prova?**

Números das questões da prova.	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Números dos campos correspondentes no CARTÃO-RESPOSTA.	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
O conteúdo ...										
(A) não foi ensinado; nunca o estudei.										
(B) não foi ensinado; mas o estudei por conta própria.										
(C) foi ensinado de forma inadequada ou superficial.										
(D) foi ensinado há muito tempo e não me lembro mais.										
(E) foi ensinado com profundidade adequada e suficiente.										