

PROVA 1 OPERAÇÕES UNITÁRIAS II EQE483G 31/10/2011 2ºP/2011 J.LUIZ

QUESTÃO 1 (5.0 PTS) [Pontos: (i)20%, (ii)20%, (iii)20%, (iv)30%, (v)10%]

Na Fig. 1 separação da corrente E de Ar ($80\% \text{ N}_2 + 20\% \text{ O}_2$, 100bar , 300K) em G (Resíduo, 1bar), D ($99\% \text{ N}_2 + 1\% \text{ O}_2$, $X_D=0.99$, $V.S.$, 1bar) e B ($1\% \text{ N}_2 + 99\% \text{ O}_2$, $X_B=0.01$, $L.S.$, 1bar) ($\text{N}_2 \equiv "1"$, $\text{O}_2 \equiv "2"$). As máquinas são **Isentrópicas** e usamos **Gás ideal** e **Solução Ideal**. Os produtos D ($99\% \text{ N}_2$) e B ($99\% \text{ O}_2$) são considerados N_2 e O_2 puros nos respectivos pontos de ebulição (1bar) 77K e 90K . O processo compreende duas áreas operando juntas: (i) Liquefação (H_1, T_1, S_1); (ii) Destilação Criogênica (D_1, C_1, S_2).

Destilação Criogênica: Coluna D_1 , $P=1\text{bar}$, não possui recurso frio capaz de resfriar o seu topo com $99\% \text{ N}_2$ a $T_D=77\text{K}$. Assim usa-se Re-Compressão de Vapor de Topo (RVT) para condensar o topo e aquecer o fundo. Na RVT não há vapor de aquecimento nem água de resfriamento, ao invés, usa-se potência mecânica no compressor C_1 de vapor de topo (V_0) cuja saída é V_{RVT} com $P_{RVT}=10\text{bar}$, $T_{RVT}=145.7\text{K}$ que condensa acima da temperatura do refeedor ($T_B=90\text{K}$), gerando o refluxo de fundo V_1 . Após o refeedor, V_{RVT} despressuriza a 1bar na válvula X_1 tornando-se bifásica a 77K . No Separador S_2 formam-se L.S. e V.S. ambos com $99\% \text{ N}_2$. O L.S. de S_2 é o refluxo no topo de D_1 (L_0) e o seu V.S. é o destilado D . A carga de D_1 (F) é L.S. de S_1 a $P_F=1\text{bar}$ e T_F com fração molar Z em N_2 .

Liquefação: Expansão isentrópica de E_2 a 100bar na turbina T_1 com descarga a 1bar em S_1 . O ELV de S_1 é acoplado com **Balço de Entropia** entre E_2 , F e G de modo a obter T_F , β_{S1} , Z . O gás (G) gerado em S_1 a T_F é frio o bastante para resfriar E de 300K a 146.7K (E_2) em H_1 . Este resfriamento é vital na Liquefação. A potência de T_1 aciona C_1 e ainda exporta potência POT . Usando dados abaixo, responda:

- (i) Com Flash + Balço de Entropia de T_1 resolver S_1 para fração vaporizada (β_{S1}), temperatura (T_F) e composições de F (Z) e de G . Obter a RELV de D_1 com a Volatilidade Rel.12 de S_1 constante;
- (ii) Escrever as correntes de D_1 em termos da Razão de Refluxo de Fundo (S). Obter a Razão de Refluxo Mínima S^{MIN} , o Número Mínimo de Estágios N^{MIN} e razões $d=D/F$, $b=B/F$, D/E , B/E , G/E ;
- (iii) Mostre, com Balço de Energia para V_{RVT} entre saída de C_1 e as saídas de S_2 , que $\frac{V_{RVT}}{F} = \frac{bS + 1 - b}{1 + \xi}$.

Com McCabe-Thiele em D_1 mostre que $\frac{V_{RVT}}{F} = bS$. Mostre que RVT faz $S = \frac{1-b}{\xi b}$; obter S , $\frac{V_{RVT}}{F}$.

- (iv) Calcule o Número de Estágios de D_1 e o Estágio Ótimo de Carga;
- (v) Obter potências (kW) de C_1 , T_1 , POT e vazões D , B de N_2 e O_2 para $E=10^2 \text{ mol/s}$;

QUESTÃO 2 (5.0 PTS) [Pontos: (i)10%,(ii)30%,(iii)20%,(iv)40%]

Na Fig. 2 **Destilação Batelada (DB) Sem Retiradas** com 2 estágios perfeitos no casco, 2 tanques e correntes internas $F=1 \text{ mol/s}$.

A DB é usada na Destilação Criogênica da **Questão 1** via Bomba Térmica com N_2 operando a 70K no topo e 95K no fundo. A DB é carregada com Ar L.S. ($80\% \text{ N}_2 + 20\% \text{ O}_2$) a 1bar em ambos os tanques ($X_{HD0} = X_{HB0} = 0.8$), sendo $H_{D0} = 8000 \text{ mol}$ e $H_{B0} = 2000 \text{ mol}$. Usando volatilidade relativa constante obtida na **Questão 1**, responda:

- (i) Mostre que H_D e H_B são **constantes** e que em **qualquer t** vale $4 = X_{HB}(t) + 4X_{HD}(t)$
- (ii) Mostre que a DB possui limite de Estado Estacionário em $t \rightarrow \infty$; com X_{HD}^{MAX} , X_{HB}^{MIN} . Calcule-os e esboce gráfico X_{HD} , X_{HB} vs t explicitando a C.I. e a Condição Limite.
- (iii) Obter Equação de Operação MPD com F , X_{HD} e Y_1 . Obter dX_{HD}/dt , dX_{HB}/dt . Obter a Equação de Projeto da DB para t_F e possível estratégia de cálculo.
- (iv) Estimar o Tempo t_F da DB para a Condição de Parada na Fig. 2.

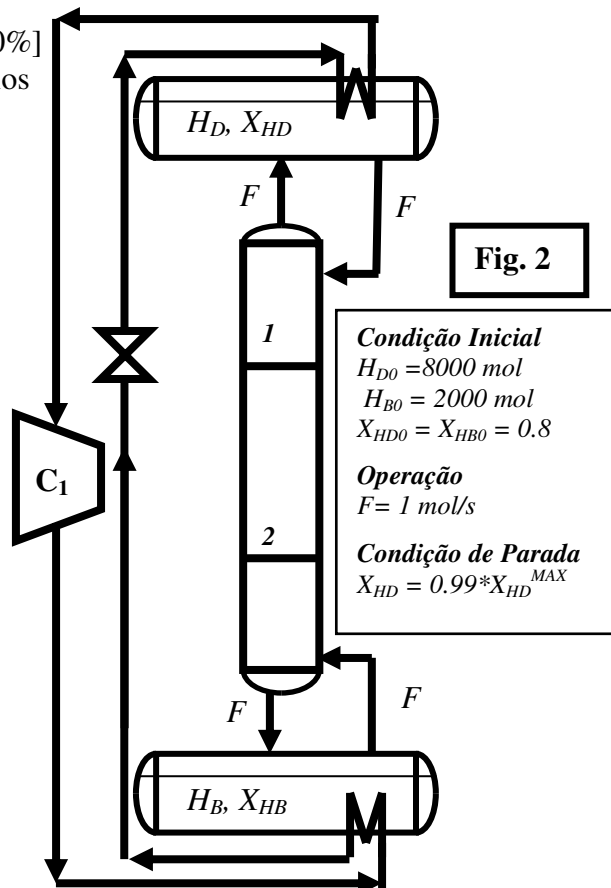
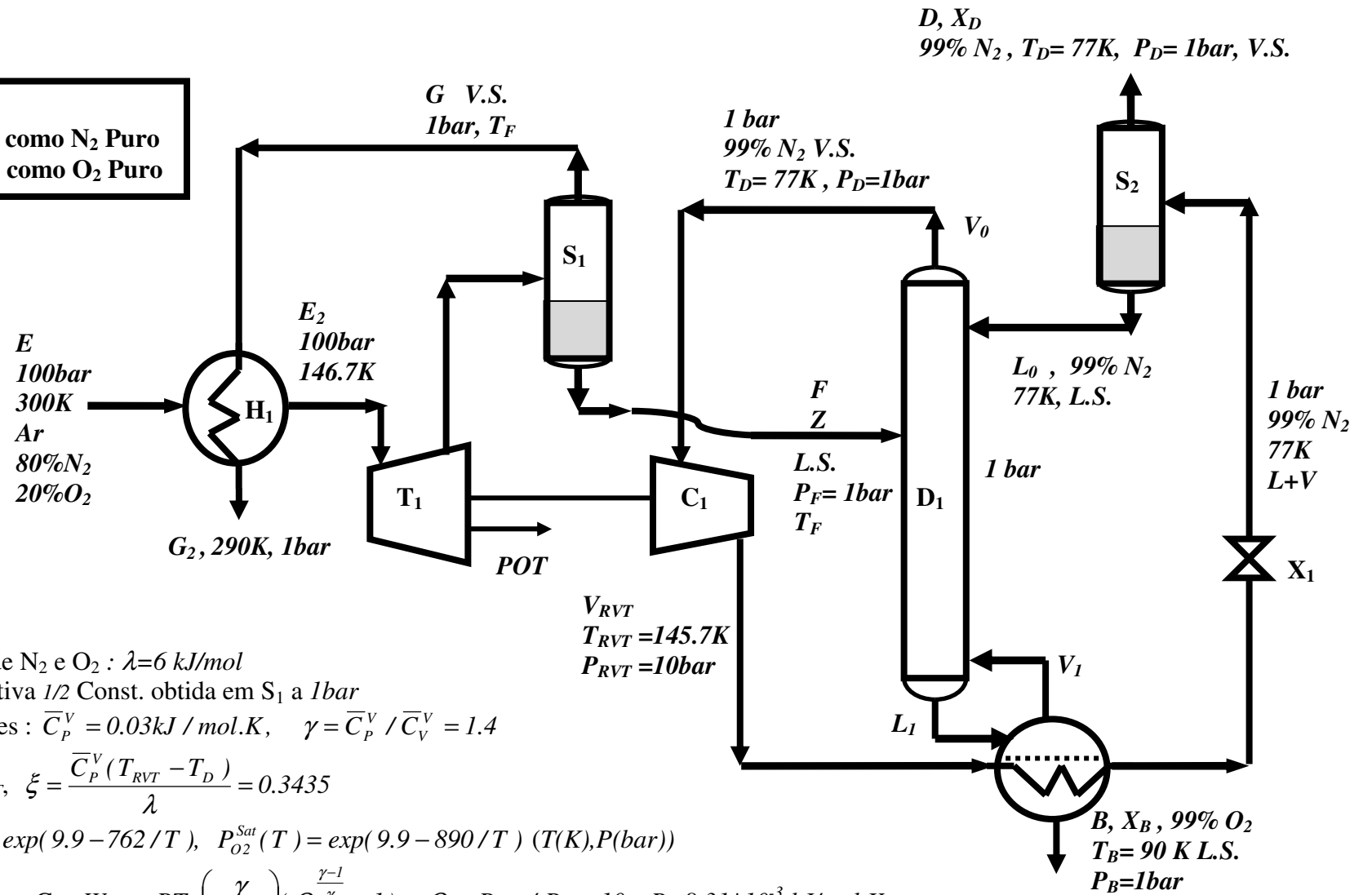


Fig. 1
 99% N₂ como N₂ Puro
 99% O₂ como O₂ Puro



Dados Termodinâmicos:

Calor de Vaporização a 1 bar de N₂ e O₂ : $\lambda = 6 \text{ kJ/mol}$

ELV em D₁ : Volatilidade Relativa 1/2 Const. obtida em S₁ a 1 bar

Capacidade Calorífica dos Gases : $\bar{C}_p^v = 0.03 \text{ kJ/mol.K}$, $\gamma = \bar{C}_p^v / \bar{C}_v^v = 1.4$

Razão de Aquecimento de V_{RVT}, $\xi = \frac{\bar{C}_p^v (T_{RVT} - T_D)}{\lambda} = 0.3435$

Pressões de Vapor : $P_{N_2}^{Sat}(T) = \exp(9.9 - 762/T)$, $P_{O_2}^{Sat}(T) = \exp(9.9 - 890/T)$ (T(K), P(bar))

Trabalho (kJ/mol) no Compressor C₁ : $W_{C1} = RT_D \left(\frac{\gamma}{\gamma-1} \right) (\Omega^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1)$, $\Omega = P_{RVT} / P_D = 10$, $R = 8.31 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/mol.K}$

Trabalho (kJ/mol) na Turbina T₁ (H=0 no L.S.) : $W_{T1} = \bar{H}_{E2} - \beta_{S1} \bar{H}_G - (1 - \beta_{S1}) \bar{H}_F \Rightarrow W_{T1} = \bar{C}_p^v (T_{E2} - T_F) + (1 - \beta_{S1}) \lambda$

Balço de Entropia entre E₂, G e F (S=0 no L.S.) : $\bar{S}_{E2} - \beta_{S1} \bar{S}_G - (1 - \beta_{S1}) \bar{S}_F = 0 \Rightarrow \bar{C}_p^v \ln \left(\frac{T_{E2}}{T_F} \right) - R \ln \left(\frac{P_{E2}}{P_F} \right) + (1 - \beta_{S1}) \frac{\lambda}{T_F} = 0$

