

- 1) Quantidades equimolares de A e B são alimentadas num tanque a 25 °C. Sabendo-se que as pressões de vapor dos componentes puros a 25 °C são iguais a  $P_A^{sat} (bar) = 1$  e  $P_B^{sat} (bar) = 3$ , que a fase gasosa se comporta como gás ideal e que a fase líquida forma uma mistura **não ideal**, descrita através do modelo de Margules ( $\ln \gamma_A = 4x_B^2$  e  $\ln \gamma_B = 4x_A^2$ ), calcule a pressão de ponto de bolha desta mistura.
- 2) Utilizando as informações correspondentes à Questão 1, mostre como se calcularia as composições das fases correspondentes para que o sistema apresente 50% de vapor no interior do tanque.
- 3) Quantidades equimolares de A e B são alimentadas num tanque a 25 °C. Sabendo-se que as pressões de vapor dos componentes puros a 25 °C são iguais a  $P_A^{sat} (bar) = 1$  e  $P_B^{sat} (bar) = 2$ , que a fase gasosa se comporta como gás ideal e que os componentes são imiscíveis na fase líquida, calcule a pressão e as composições de equilíbrio.
- 4) Uma corrente contendo 1 mol de A e 1 mol de inerte (I) entra num reator catalítico de leito fixo para formar B através da seguinte reação:  $A(g) \rightleftharpoons B(g)$ , onde  $\Delta G_{298K} = 600 cal/mol$  e  $\Delta H_{298K} \cong \Delta H_{596K} = 1200 cal/mol$ . Considerando o comportamento de gás ideal, onde a constante universal dos gases é  $R = 2 cal/gmolK$ , calcule as composições de A e B ( $y_A$  e  $y_B$ ) em equilíbrio quando o reator opera a 596K e 2 bar.
- 5) Sabendo-se que os componentes A e B formam uma mistura ideal com composição equimolar, calcule o calor molar de mistura ( $\Delta H$ ), o volume molar de mistura ( $\Delta V$ ), a entropia molar de mistura ( $\Delta S$ ) e a energia livre de Gibbs molar de mistura ( $\Delta G$ ).

1) (40 pontos) Uma mistura contendo 40%, em mols, de dissulfureto de carbono (1) e o restante de acetona (2) escoam numa tubulação industrial a 35 °C. Calcule a maior pressão de operação para que o sistema apresente apenas fase vapor.

Dados:

- O comportamento da mistura é bem descrito pelo modelo de Margules ( $\frac{G^E}{RT} = A x_1 x_2$ ).
- O sistema forma azeótropo a 35 °C na composição de  $y_1^{AZ} = 0,67$ .
- As pressões de vapor a 35 °C são:  $P_1^{SAT} = 0,7\text{bar}$  e  $P_2^{SAT} = 0,5\text{bar}$ .

2) (30 Ptos) Uma mistura equimolar de A e B entra num reator e os componentes participam das seguintes reações a 450 K e 2 atm:  $A(g) \rightleftharpoons B(g)$  e  $B(g) \rightleftharpoons 2 D(g)$ . Considerando o comportamento de gás ideal e que só existem A, B e D dentro do sistema, calcule a composição de equilíbrio na saída do reator.

Dados: Energias livres de Gibbs e calores de formação dos componentes a 400 K e 1 atm no estado de referência de gás ideal.

| Compostos | $\Delta G_f^0$ (cal/gmol) | $\Delta H_f^0$ (cal/gmol) |
|-----------|---------------------------|---------------------------|
| A         | 20                        | 40000                     |
| B         | 25                        | 30000                     |
| D         | 15                        | 50000                     |

3) (30 Ptos) O esquema abaixo representa o ciclo de Rankine utilizado para produção de energia elétrica de uma fábrica.

Dados: i- Corrente 1: 1000 °F e 1000 Psia; Corrente 2: 20 psia; Corrente 3: 212 °F

ii- A turbina trabalha com 80 % de eficiência.

- Calcule as propriedades P, T, H e S das correntes.
- Calcule a potência elétrica produzida quando são gastos 30000 Btu/min na caldeira.

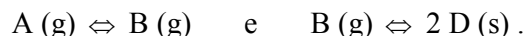
1) (40 pontos) Uma corrente industrial contém 30 % (em mols) de propano(1), 40 % (em mols) de n-hexano e o restante de um solvente especial (líquido iônico, cuja pressão de vapor pode ser considerada igual a zero) escoando a 300K.

Dados:  $P_1^{\text{sat}}(300\text{K}) = 68 \text{ kPa}$  e  $P_2^{\text{sat}}(300\text{K}) = 45 \text{ kPa}$  e  $P_3^{\text{sat}}(300\text{K}) = 0 \text{ kPa}$

a) Calcule a menor pressão de operação para que o sistema apresente apenas fase líquida.

b) Calcule as composições molares das fases para que a corrente apresente 30% de vapor.

2) (30 Pontos) Uma mistura de 20% de A, 30% de B e o restante de inerte I entra num reator e os componentes participam das seguintes reações a 500 K e 4 atm:



Considerando o comportamento de gás ideal e que D é sólido dentro do sistema, calcule a composição da fase gasosa de equilíbrio na saída do reator.

Dados: Energias livres de Gibbs e calores de formação dos componentes a 400 K e 1 atm no estado de referência de gás ideal para os compostos A e B e no estado de sólido puro para D.

| Compostos | $\Delta G_f^0(\text{cal/gmol})$ | $\Delta H_f^0(\text{cal/gmol})$ |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|
| A         | 200                             | 4000                            |
| B         | 250                             | 3000                            |
| D         | 150                             | 2500                            |

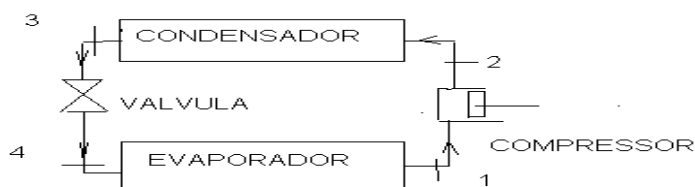
3) (30 Pontos) O esquema abaixo representa o ciclo de refrigeração utilizado para produção de uma corrente de refrigerante.

Dados: i- o compressor trabalha com 80% de eficiência.

ii- a corrente 1 é vapor saturado.

iii- o ciclo trabalha com freon 12.

| CORRENTES     | 1   | 2' | 2    | 3  | 4 |
|---------------|-----|----|------|----|---|
| T (°F)        | -30 |    |      | 60 |   |
| P (Psia)      |     |    | 90,3 |    |   |
| H (Btu/lbm)   |     |    |      |    |   |
| S (Btu/lbm°F) |     |    |      |    |   |



a) Calcule as propriedades P, T, H e S das correntes.

b) Calcule a potência elétrica consumida para uma produção de 50000 Btu/min de refrigeração.

SEGUNDA PROVA DE TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS (EQE-363)  
Prof. Frederico W. Tavares

1) (40 pontos) Uma corrente industrial contém 30 % (em mols) de propano(1), 40 % (em mols) de n-hexano e o restante de um solvente especial (líquido iônico, cuja pressão de vapor pode ser considerada igual a zero) escoando a 300K.

Dados:  $P_1^{\text{sat}}(300\text{K}) = 68 \text{ kPa}$  e  $P_2^{\text{sat}}(300\text{K}) = 45 \text{ kPa}$  e  $P_3^{\text{sat}}(300\text{K}) = 0 \text{ kPa}$

- Calcule a menor pressão de operação para que o sistema apresente apenas fase líquida.
- Calcule as composições molares das fases para que a corrente apresente 30% de vapor.

2) (40 Ptos) Uma mistura equimolar de A e I (inerte) entra num reator e onde ocorrem as seguintes reações a 500 K e 3 atm:  $A(g) \rightleftharpoons B(g)$  e  $B(g) \rightleftharpoons D(g)$ . Considerando o comportamento de gás ideal e que só existem A, B, D e I dentro do sistema, calcule a composição de equilíbrio na saída do reator.

Dados: Capacidade calorífica média, energias livres de Gibbs e calores de formação dos componentes a 400 K e 1 atm no estado de referência de gás ideal.

| Compostos | $\Delta G_f^0(\text{cal/gmol})$ | $\Delta H_f^0(\text{cal/gmol})$ | $\langle C_p \rangle (\text{cal/gmolK})$ |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--|
| A         | 20                              | 40000                           | 8  |
| B         | 25                              | 30000                           | 8  |
| D         | 15                              | 50000                           | 8  |
| I         | 10                              | 50000                           | 10                                       |

3) (20 Ptos) Sabendo-se que os componentes A e B formam uma mistura ideal com composição equimolar, calcule o calor molar de mistura ( $\Delta H$ ), o volume molar de mistura ( $\Delta V$ ), a entropia molar de mistura ( $\Delta S$ ) e a energia livre de Gibbs molar de mistura ( $\Delta G$ ).

Sabe-se que:  $\Delta G = RT(\sum_i x_i \ln \hat{a}_i)$  onde  $\hat{a}_i = \hat{f}_i / f_i^0$

# SEGUNDA PROVA DE TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS

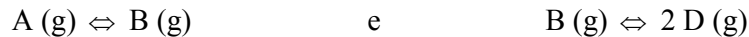
(EQE-363)

Prof. Frederico W. Tavares

1) (40 pontos) Uma mistura contendo 40%, em mols, de dissulfureto de carbono (1) e o restante de acetona (2) escoam numa tubulação industrial a 35 °C. Calcule a maior pressão de operação para que o sistema apresente apenas fase vapor.

Dados: modelo de Margules ( $G^E / RT = 1,2x_1x_2$ ) e as pressões de vapor a 35 °C ( $P_1^{SAT} = 0,7\text{bar}$  e  $P_2^{SAT} = 0,5\text{bar}$ ).

2) (40 Ptos) Uma mistura contendo 1 mol de A e 2 mols de B entra num reator e os componentes participam das seguintes reações a 450 K e 3 atm:



Considerando o comportamento de gás ideal e que só existem A, B e D dentro do sistema, calcule a composição de equilíbrio na saída do reator.

Dados: Capacidade calorífica média, energias livres de Gibbs e calores de formação dos componentes a 400 K e 1 atm no estado de referência de gás ideal.

| Compostos | $\Delta G_f^0$ (cal/gmol) | $\Delta H_f^0$ (cal/gmol) | $\langle C_p \rangle$ (cal/gmolK) |
|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| A         | 20                        | 4000                      | 8                                 |
| B         | 25                        | 3000                      | 10                                |
| D         | 15                        | 4000                      | 5                                 |

3) (20 Ptos) Misturam-se quantidades iguais de duas correntes em um tanque. Uma de água pura a 21,1 °C e outra de solução aquosa contendo 80%(p/p) de ácido sulfúrico a 37,8 °C. Qual o calor envolvido no processo para que a temperatura da corrente de saída do tanque seja de 37,8 °C?

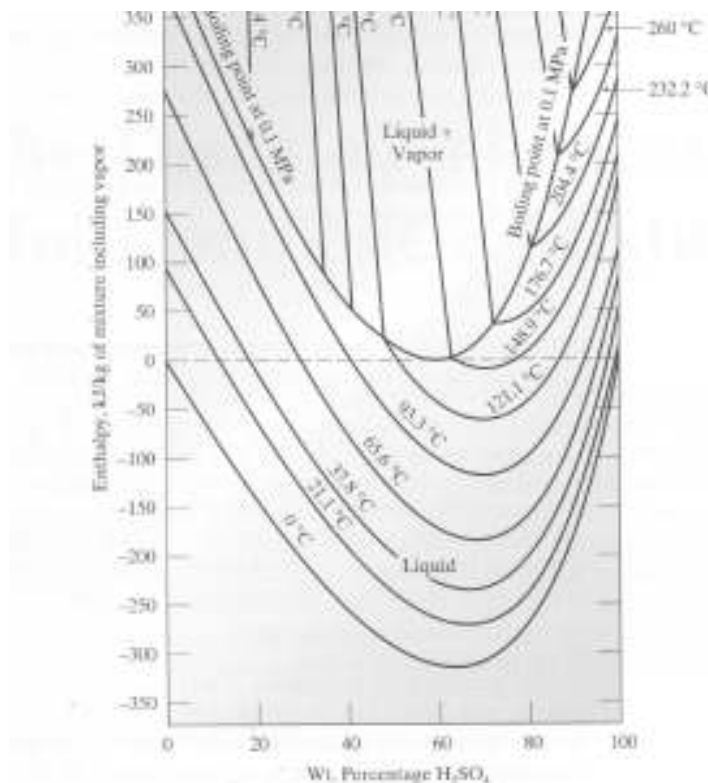


Figure 6.1-1 Enthalpy-concentration diagram for aqueous sulfuric

1) (40 pontos) Um tanque fechado contém 40%, em mols, de n-octano(1), 20%, em mols, de n-decano(2) e 40%, em mols, de água(3) a 190 °F e 15 psia. Calcule as composições das fases presentes no tanque sabendo-se que a água é completamente imiscível na fase líquida e que os compostos orgânicos (n-octano e n-decano) formam mistura ideal na fase líquida. Na fase vapor, os três componentes se comportam como gases ideais.

Dados:  $P_1^{\text{SAT}}(190^\circ\text{F}) = 7\text{psia}$   $P_2^{\text{SAT}}(190^\circ\text{F}) = 1\text{psia}$   $P_3^{\text{SAT}}(190^\circ\text{F}) = 10\text{psia}$

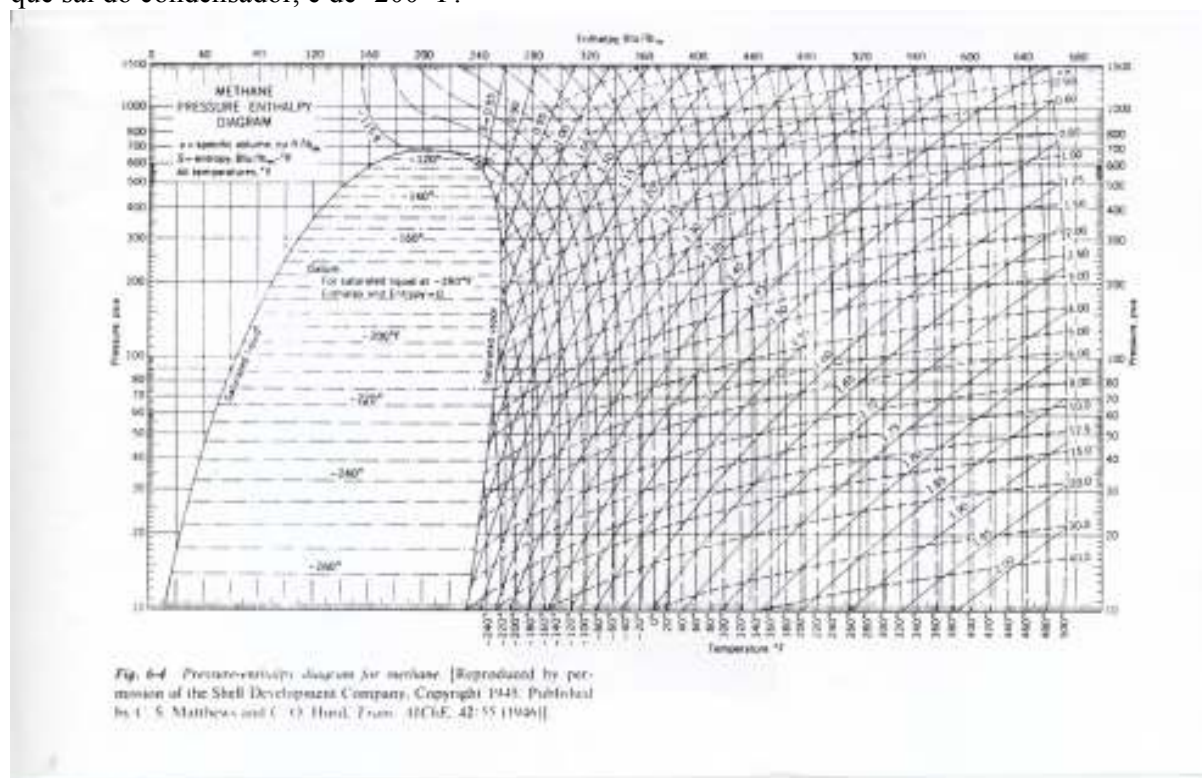
2) (30 Pontos) Uma mistura de 20% de A, 30% de B e o restante de inerte I entra num reator e os componentes participam das seguintes reações a 500 K e 4 atm:  $A(g) \rightleftharpoons B(g)$  e  $B(g) \rightleftharpoons 2D(s)$ .

Considerando o comportamento de gás ideal e que D é sólido dentro do sistema, calcule a composição da fase gasosa de equilíbrio na saída do reator.

Dados: Energias livres de Gibbs e calores de formação dos componentes a 400 K e 1 atm no estado de referência de gás ideal para os compostos A e B e no estado de sólido puro para D.

| Compostos  | $\Delta G_f^0(\text{cal/gmol})$ | $\Delta H_f^0(\text{cal/gmol})$ |
|------------|---------------------------------|---------------------------------|
| A (gás)    | 200                             | 4000                            |
| B (gás)    | 250                             | 3000                            |
| D (sólido) | 150                             | 2500                            |
| I (gás)    | 200                             | 2500                            |

3) (30 Pontos) Metano é utilizado como refrigerante em um ciclo de refrigeração. Dados: i) a eficiência do compressor é de 70%; ii) a corrente que entre no compressor, corrente 1, é de vapor saturado a 40 psia; iii) a pressão da corrente que sai do compressor, corrente 2, é de 200 psia; iv) a temperatura da corrente 3, corrente que sai do condensador, é de -200 °F.



A partir do diagrama do metano:

a) Encontre as propriedades P, T, H e S das quatro correntes existentes.

b) Mostre o ciclo real no diagrama fornecido.

c) Calcule a potencia frigorífica, sabendo-se que 200 lbm/s de metano circulam na máquina.

1) (40 pontos) Uma mistura, em estado de líquido saturado, contendo 60%, em mols, de n-butano, 20%, em mols, de n-hexano e 20%, em mols, de n-octano é alimentada a unidade de flash a 1 atm. O tanque de flash trabalha a 1 atm e 50 °C. Fazendo-se as suposições pertinentes, calcular as composições das correntes de saída e o calor (aproximado) envolvido no processo. Dados:  $R = 1,987 \text{ cal}/(\text{gmolK}) = 82,05(\text{atmcm}^3)/(\text{gmolK})$

| Compostos | $T_c(\text{K})$ | $P_c(\text{atm})$ | w     | $\langle C_p \rangle^v$ (cal/gmolK) | $\langle C_p \rangle^L$ (cal/gmolK) |
|-----------|-----------------|-------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| n-butano  | 425,2           | 38,0              | 0,166 | 28                                  | 35                                  |
| n-hexano  | 507,5           | 30,0              | 0,295 | 20                                  | 25                                  |
| n-octano  | 568,8           | 24,5              | 0,394 | 19                                  | 22                                  |

$$P^{\text{SAT}} = P_c \exp[5,4(w+1)(1 - T_c/T)]$$

$$\Delta S_n^{\text{VAP}} (\text{cal/gmolK}) = 8,0 + 1,897 \ln(T_n)$$

2) (30 pontos) Duas correntes de amônia, corrente 1 (2 lbm/s de líquido saturado a 10 psia) e corrente 2 (10 lbm/s nas condições de 10 psia e 120 °F), são misturadas em um trocador de calor de contato direto, produzindo uma corrente 3. A corrente 3 passa por um compressor (com eficiência de compressão de 70%) e produz uma corrente 4 a 100 psia. Encontre as propriedades termodinâmicas (T, P, H e S) das correntes e calcule a potência envolvida no processo.

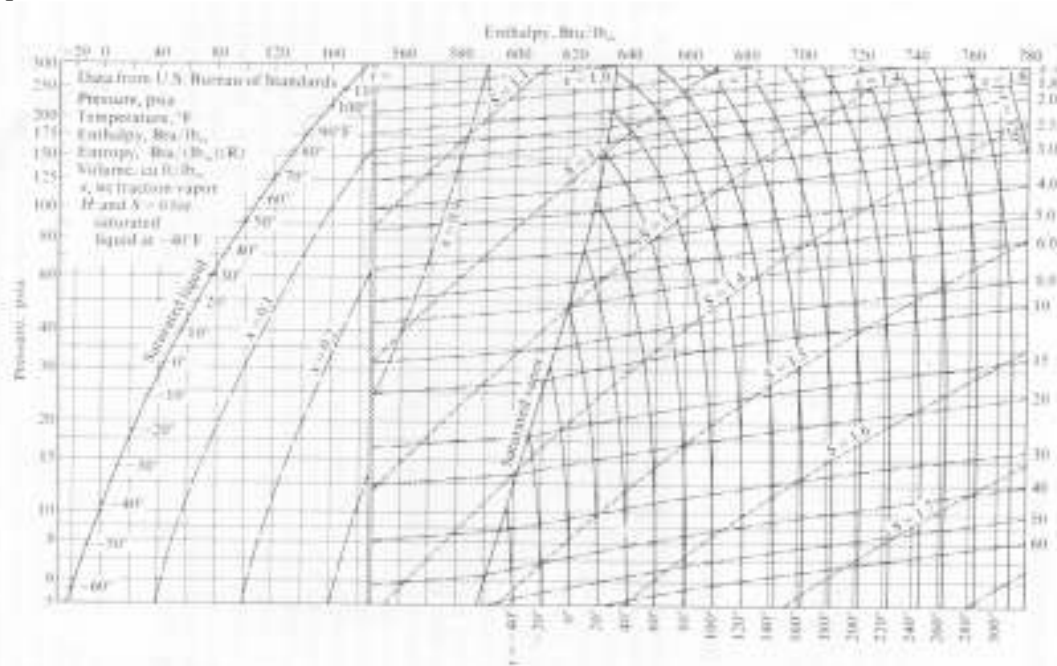


Figure 9-4 Pressure-enthalpy diagram for ammonia.

3) (20 pontos) O diagrama abaixo representa dados experimentais no plano T-P do sistema metano- $\text{CO}_2$ .

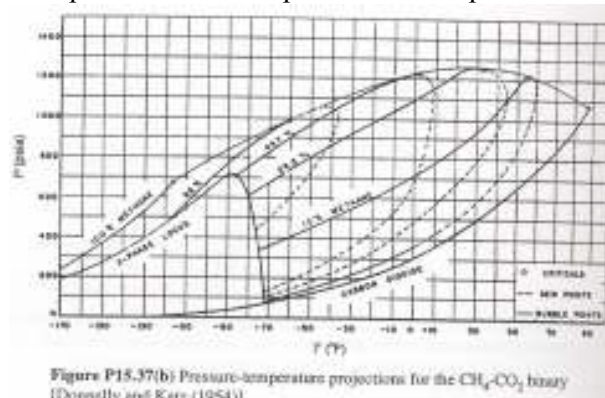


Figure P15.37(b) Pressure-temperature projections for the  $\text{CH}_4\text{-CO}_2$  binary [Donnelly and Katz (1954)].

- Usando o diagrama, explique o fenômeno de condensação retrógrada a 1200 psia.
- Mostre o diagrama PXY para o sistema binário a 10 °F.

SEGUNDA PROVA DE TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS  
(EQE-363)

Prof. Frederico W. Tavares

1) (30 pontos) Uma corrente de 1 kg/s de água líquida pura a  $0^{\circ}\text{C}$  é misturada continuamente com outra de igual vazão de solução contendo 90% (p/p) de ácido sulfúrico a  $0^{\circ}\text{C}$ . Qual a taxa de calor que deve ser usada no misturador de modo que a temperatura da corrente de saída seja líquida e com temperatura igual a  $37,8^{\circ}\text{C}$ ? O calor é adicionado ou removido do misturador?

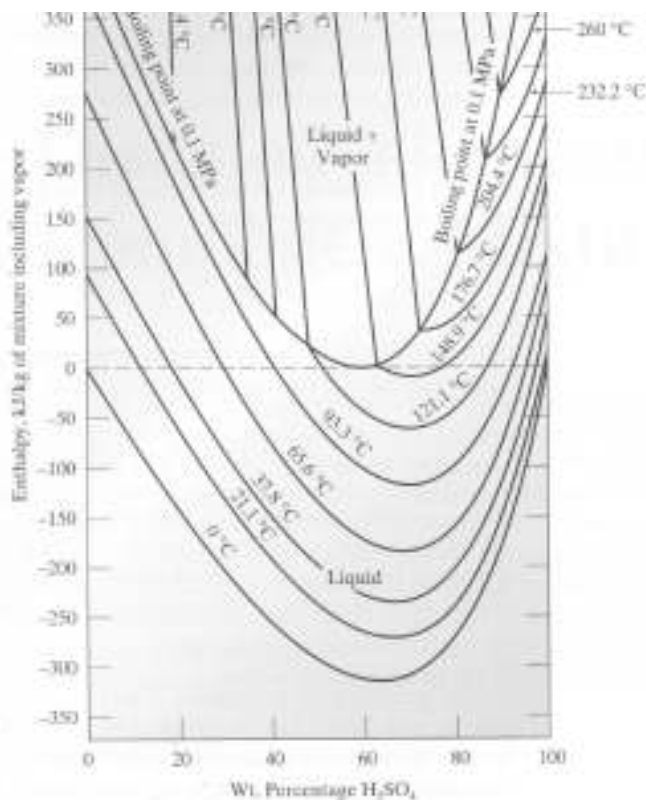


Figure 6.1-1 Enthalpy-concentration diagram for aqueous sulfuric

2) (30 pontos) Uma mistura contendo 40%, em mols, de éter (1) e o restante de acetona (2) escoam numa tubulação industrial a  $50^{\circ}\text{C}$ . Calcule a maior pressão de operação para que o sistema apresente apenas fase vapor. Nesta pressão de operação, calcule as composições em equilíbrio.

Dados: modelo de Margules ( $\ln \gamma_1 = x_2^2$  e  $\ln \gamma_2 = x_1^2$ ) e as pressões de vapor a  $50^{\circ}\text{C}$  ( $P_1^{SAT} = 1,7\text{bar}$  e  $P_2^{SAT} = 0,8\text{bar}$ ).

3) (40 Pontos) Uma mistura de 10% de A, 20% de B e o restante de inerte I entra num reator a  $400\text{K}$  e  $1\text{atm}$  e os componentes participam das seguintes reações a  $500\text{K}$  e  $4\text{atm}$ :  $\text{A (g)} \rightleftharpoons \text{B (g)}$  e  $\text{B (g)} \rightleftharpoons 2\text{D (s)}$ .

Considerando o comportamento de gás ideal e que D é sólido dentro do sistema, calcule:

- As composições de equilíbrio da fase gasosa na saída do reator.
- O calor envolvido no processo.

Dados: Energias livres de Gibbs e calores de formação dos componentes a  $400\text{K}$  e  $1\text{atm}$  no estado de referência de gás ideal para os compostos A, B e I e no estado de sólido puro para D. As capacidades caloríficas médias são também relacionadas.

| Compostos  | $\Delta G_f^0$ (cal/gmol) | $\Delta H_f^0$ (cal/gmol) | $\langle C_p \rangle$ (cal/gmolK) |
|------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| A (gás)    | 200                       | 4000                      | 10                                |
| B (gás)    | 250                       | 3000                      | 10                                |
| D (sólido) | 150                       | 2500                      | 5                                 |
| I (gás)    | 200                       | 2500                      | 10                                |



PROVA SUBSTITUTIVA DE TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS (EQE-363)  
Prof. Frederico W. Tavares

1) (20 pontos) Uma corrente de 1 kg/s de água líquida pura a  $0^\circ\text{C}$  é misturada continuamente com outra de igual vazão de solução contendo 90% (p/p) de ácido sulfúrico a  $21,1^\circ\text{C}$ . Qual a taxa de calor que deve ser usada no misturador de modo que a temperatura da corrente de saída seja líquida e com temperatura igual a  $37,8^\circ\text{C}$ ? O calor é adicionado ou removido do misturador?

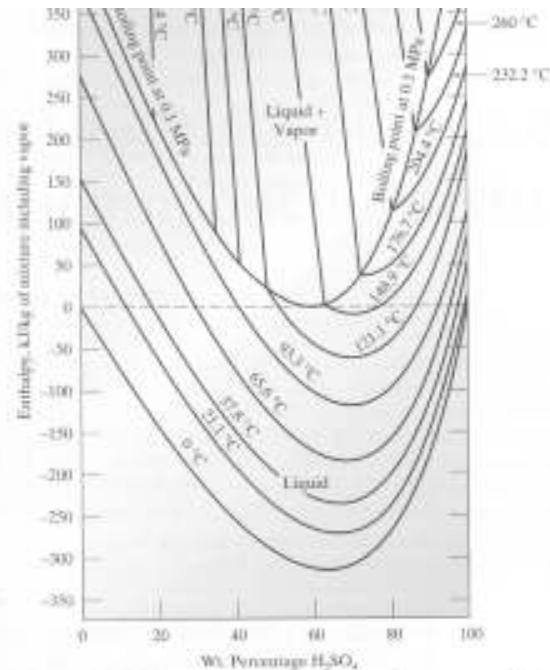


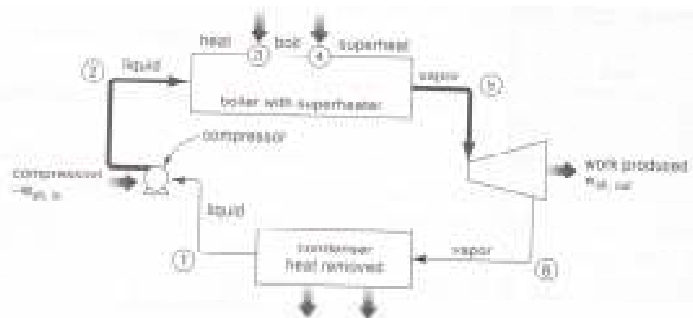
Figure 6.1-1 Enthalpy-concentration diagram for aqueous sulfuric acid.

2) (30 pontos) Uma mistura contendo 40%, em mols, de éter (1) e o restante de acetona (2) escoam numa tubulação industrial a  $50^\circ\text{C}$ . Calcule a maior pressão de operação para que o sistema apresente apenas fase vapor. Nesta pressão de operação, calcule as composições em equilíbrio.

Dados: modelo de Margules ( $\ln \gamma_1 = Ax_2^2$  e  $\ln \gamma_2 = Ax_1^2$ ) e as pressões de vapor a  $50^\circ\text{C}$  ( $P_1^{\text{SAT}} = 1,7\text{bar}$  e  $P_2^{\text{SAT}} = 0,8\text{bar}$ ). Sabe-se, também, que  $\gamma_1^\infty = \gamma_2^\infty = 2,72$ .

3) (30 Ptos) O esquema abaixo representa o ciclo de Rankine utilizado para produção de energia elétrica de uma fábrica. Sabendo-se os seguintes dados das correntes: Corrente 5:  $450^\circ\text{F}$  e 100 psia; Corrente 6: 15 psia; Corrente 1: é líquido saturado, e que a turbina trabalha com 80 % de eficiência, calcule:

- as propriedades P, T, H e S das correntes.
- a potência elétrica produzida quando são gastos 30000 Btu/min na caldeira.



4) (20 Ptos) Duas correntes de água, corrente 1 (15 lbm/s de líquido 15 psia e  $162^\circ\text{F}$ ) e corrente 2 (10 lbm/s nas condições de 15 psia e  $500^\circ\text{F}$ ), são misturadas em um trocador de calor de contato direto, produzindo uma corrente 3. Encontre as propriedades termodinâmicas (T, P, H e S) da corrente 3.

PROVA FINAL DE TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS  
Prof. Frederico W. Tavares

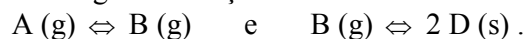
**ALUNO:**

1) (40 pontos) Uma corrente industrial contém 30 % (em mols) de n-butano (1), 40 % (em mols) de n-hexano (2) e o restante de polipropileno (3) (cuja pressão de vapor pode ser considerada igual a zero) escoada a 2atm.

Dados:  $P_1^{\text{SAT}}(\text{atm}) = 38 \exp\left(6,296 - \frac{2677}{T(\text{K})}\right)$ ,  $P_2^{\text{SAT}}(\text{atm}) = 30 \exp\left(6,993 - \frac{3549}{T(\text{K})}\right)$  e  $P_3^{\text{SAT}}(\text{atm}) = 0,0$

- a) Calcule a maior temperatura de operação para que o sistema apresente apenas fase líquida.  
b) Calcule a temperatura e as frações molares das fases para que a fração molar de polipropileno na fase líquida seja de 80% .

2) (30 Pontos) Uma mistura de 20% (em mols) de A, 30% (em mols) de B e o restante de inerte I entra num reator e os componentes participam das seguintes reações a 500 K e 3 atm:



Considerando o comportamento de gás ideal e que D é sólido dentro do reator, calcule a composição de equilíbrio da fase gasosa na saída do reator.

Dados: Energias livres de Gibbs e calores de formação dos componentes a 400 K e 1 atm no estado de referência de gás ideal para os compostos A e B e no estado de sólido puro para D.

| Compostos | $\Delta G_f^0(\text{cal/gmol})$ | $\Delta H_f^0(\text{cal/gmol})$ |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|
| A         | 200                             | 4000                            |
| B         | 250                             | 3000                            |
| D         | 150                             | 1500                            |

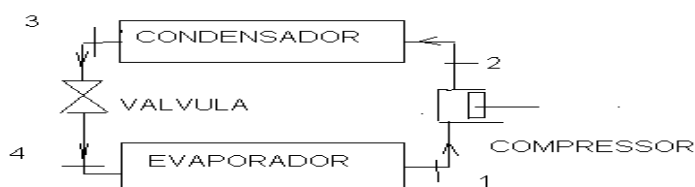
3) (30 Pontos) O esquema abaixo representa o ciclo de refrigeração por compressão.

Dados: i- o compressor trabalha com 80% de eficiência.

ii- a corrente 1 é vapor saturado.

iii- o ciclo trabalha com amônia.

| CORRENTES     | 1  | 2' | 2  | 3   | 4 |
|---------------|----|----|----|-----|---|
| T (°F)        |    |    |    | 0,0 |   |
| P (Psia)      | 10 |    | 60 |     |   |
| H (Btu/lbm)   |    |    |    |     |   |
| S (Btu/lbm°F) |    |    |    |     |   |



- a) Apresente o ciclo no diagrama em anexo.  
b) Calcule as propriedades P, T, H e S das correntes.  
c) Calcule a potência elétrica consumida para uma produção de 80000 Btu/min de refrigeração.

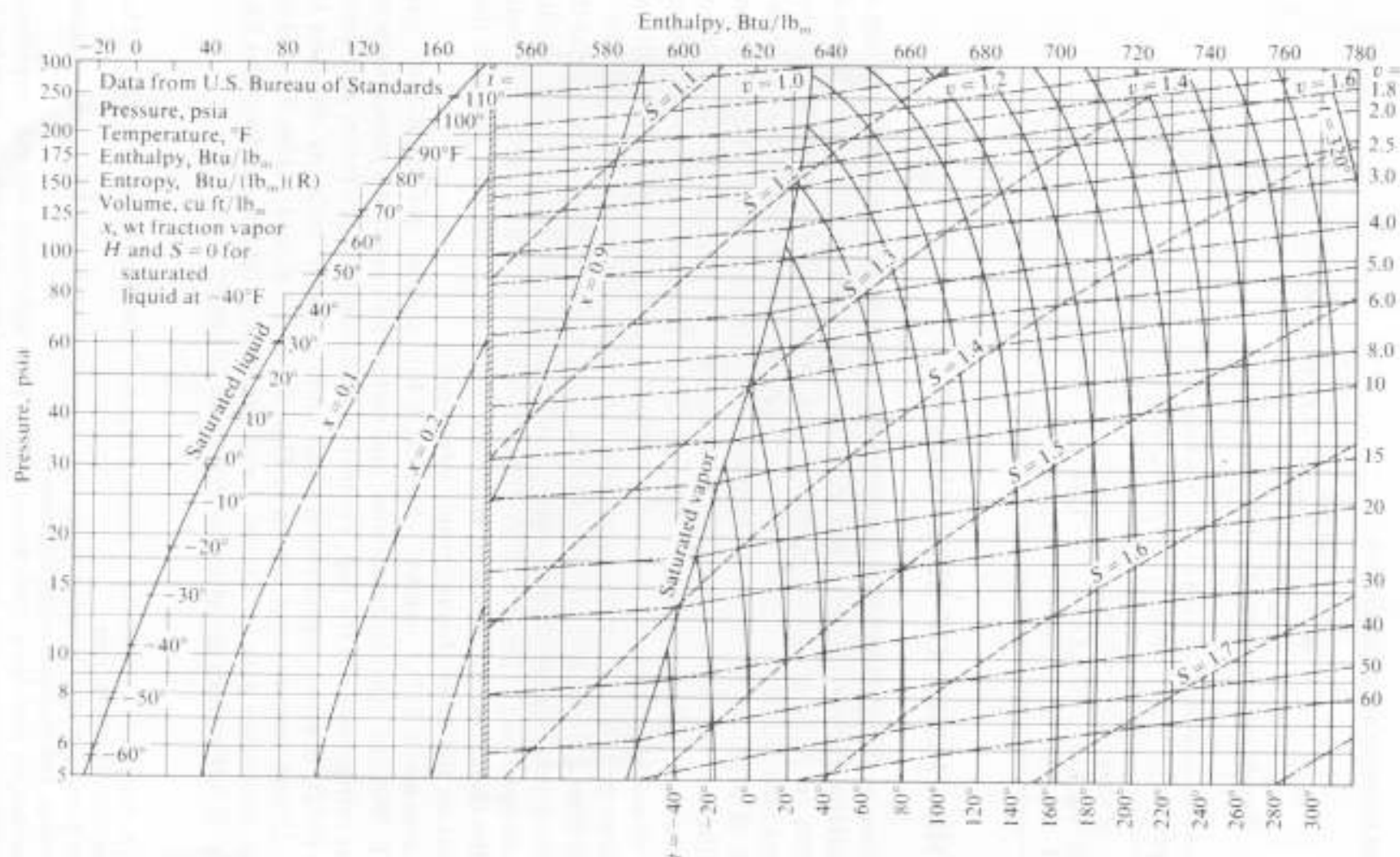


Figure 9.4 Pressure/enthalpy diagram for ammonia.