

Lista 3: Destilação Multicomponente por Estágios

### Exercício 1\*

(Wankat, 2012, Exemplos 7-1 a 7-3; Azevedo & Alves, 2009, Exemplo 5.2)

Uma coluna de destilação com um refeedor parcial e um condensador total está sendo utilizada para separar uma mistura de benzeno, tolueno e cumeno. A alimentação é um vapor saturado de composição: 40 mol% de benzeno, 30 mol% de tolueno e 30 mol% de cumeno. Deseja-se recuperar 95% do tolueno no destilado e 95% do cumeno no fundo da coluna. O refluxo é retornado como líquido saturado. A pressão é de 1 atm.

- Assumindo volatilidades relativas constantes e escolhendo tolueno como o componente de referência,  $\alpha_{\text{benz,tol}} = 2,25$  e  $\alpha_{\text{cum,tol}} = 0,21$ . Encontre o número de estágios de equilíbrio requeridos para refluxo total e a fração recuperada de benzeno no destilado.
- Encontre a razão de refluxo mínima. Use como base 100 kmol/h de alimentação.
- Estime o número total de estágios de equilíbrio e a localização do prato ótimo para alimentação requerida se a taxa de refluxo verdadeira é  $L/D = 2$ .

Respostas: (a)  $N_{\min} = 3,77$ ,  $FR_{\text{benz},D} = 0,998$ . (b)  $R_{\min} = 0,636$ . (c)  $N = 5,53$ ,  $N_F = 2,79$ .

### Exercício 2

(Azevedo & Alves, 2009, Problema 5.1)

Uma mistura benzeno–tolueno com fração molar de 0,4 de benzeno deve ser separada em uma coluna de pratos de modo a obter um destilado de composição  $x_D = 0,96$  e um produto de fundo de composição  $x_W = 0,04$ . A volatilidade relativa é constante e igual a 2,42. A coluna opera com um refluxo que é 1,3 vezes superior ao refluxo mínimo, e a alimentação entra sob a forma de líquido saturado.

- Usando as equações de Fenske e de Underwood, calcule o número mínimo de estágios de equilíbrio e o refluxo mínimo.
- Determine o número de estágios de equilíbrio usando o método de Gilliland.
- Obtenha a localização ótima do prato de alimentação.

Respostas: (a)  $N_{\min} = 7,2$ ,  $R_{\min} = 1,5$ . (b) 14,7. (c) 7.

### Exercício 3

(Azevedo & Alves, 2009, Problema 5.4)

Uma mistura de *n*-butano–isopentano–*n*-pentano será separada em uma coluna de destilação a 1 atm. A alimentação é introduzida na coluna na forma de vapor saturado. As condições operacionais estão descritas na tabela abaixo. Uma vez que se deseja aproveitar uma coluna de 10 pratos já existente, determine a razão de refluxo necessária.

	Carga (mol/s)	Destilado (mol/s)	Fundo (mol/s)	$\alpha_{\text{médio}}$
$nC_4$	6,0	5,5	0,5	2,35
$iC_5$	1,5	0,5	1,0	1,18
$nC_5$	2,5	0,0	2,5	1,00

Resposta:  $R = 2,1$ .

### Exercício 4

(Wankat, 2012, Problema D6)

Se está separando 1000 mol/h de uma corrente de 40% de benzeno e 60% tolueno em uma coluna de destilação com um condensador total e um refeedor parcial. A alimentação é um líquido saturado. São desejados um produto destilado com 99,3% de benzeno e um produto de fundo com 1% de benzeno. Determine:

- Número de estágios requeridos para refluxo total através da equação de Fenske.
- $(L/D)_{\min}$  usando um diagrama de McCabe-Thiele ou as equações de Underwood.
- Número de estágios requeridos se  $L/D = 1,15 \times (L/D)_{\min}$  usando a correlação de Gilliland.

Considere que a volatilidade relativa é constante e igual à 2,4.

Respostas: (a)  $N_{\min} = 10,8$ . (b)  $(L/D)_{\min} = 1,75$ . (c)  $N = 25,3$  (incluindo refeedor parcial).

## Exercício 5

(Henley, Seader & Roper, 2011, Exercício 9.17)

A seguinte mistura é para ser separada por destilação à 120 psia para recuperar 92,5 mol% de  $nC_4$  no destilado líquido e 82 mol% de  $iC_5$  no fundo.

Componente	$\alpha_{\text{médio}}$	lbmol/h
$C_3$	4,36	5
$iC_4$	2,36	15
$nC_4$	1,88	25
$iC_5$	1,00	20
$nC_5$	0,84	35

- Estime  $N_{\min}$  pela equação de Fenske.
- Use a equação de Fenske para determinar a distribuição dos componentes não-chaves entre destilado e fundo.
- Use o método de Underwood para estimar  $R_{\min}$  assumindo que a alimentação está em seu ponto de bolha.
- Determine  $N$  pela correlação de Gilliland assumindo  $R/R_{\min} = 1,2$ , um refeedor parcial e um condensador total.
- Estime a localização do estágio de alimentação.

Respostas: (a)  $N_{\min} = 6,38$ . (b)  $D = 48,799$  lbmol/h ( $x_{C_3} = 0,102$ ,  $x_{iC_4} = 0,302$ ,  $x_{nC_4} = 0,474$ ,  $x_{iC_5} = 0,074$ ,  $x_{nC_5} = 0,048$ ),  $W = 51,201$  lbmol/h ( $x_{C_3} = 0,00004$ ,  $x_{iC_4} = 0,00547$ ,  $x_{nC_4} = 0,03662$ ,  $x_{iC_5} = 0,32031$ ,  $x_{nC_5} = 0,63757$ ). (c)  $R_{\min} = 1,175$ . (d)  $N = 15,6$ . (e)  $N_F = 6,5$  (alimentação entre os estágios 6 e 7 a partir do topo).

## Exercício 6

(Wankat, 2012, Problema D15)

Uma coluna de destilação está separando benzeno ( $\alpha = 2,25$ ), tolueno ( $\alpha = 1$ ) e cumeno ( $\alpha = 0,21$ ). A coluna está operando à 101,3 kPa. A coluna tem um condensador total, um refeedor parcial e é utilizado o estágio ótimo para alimentação. O refluxo é retornado como um líquido saturado e  $L/D = 1,2$ . A taxa de alimentação é 1 000 kmol/h constituída por um líquido saturado com 39,7 mol% de benzeno, 16,7 mol% de tolueno e 43,6 mol% de cumeno. Deseja-se recuperar 99,92% do benzeno no destilado e 99,99% do cumeno no fundo. Para uma primeira estimativa para o projeto da coluna use o método de Fenske-Underwood-Gilliland para encontrar o estágio ótimo para alimentação e o número total de estágios de equilíbrio.

Respostas:  $N = 9,45$  (incluindo refeedor) e  $N_F = 3$ .

## Formulário

- Equação de Fenske:

$$N_{\min} = \frac{\log \left[ \frac{(x_{i,D}/x_{j,D})}{(x_{i,W}/x_{j,W})} \right]}{\log(\alpha_{i,j})} \quad (1)$$

com  $\alpha_{i,j}$  é aproximada por:

$$\alpha_{i,j} = (\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_R)^{1/N_{\min}} \approx (\alpha_1 \alpha_R)^{1/2} \quad (2)$$

Expressões alternativas:

$$N_{\min} = \frac{\log \left[ \frac{FR_{i,D} \cdot FR_{j,W}}{(1 - FR_{i,D})(1 - FR_{j,W})} \right]}{\log(\alpha_{i,j})} \quad (3)$$

$$N_{\min} = \frac{\log \left[ \frac{x_D/(1 - x_D)}{x_W/(1 - x_W)} \right]}{\log(\alpha)} \quad (4)$$

sendo:

$$FR_{k,D} = \frac{\alpha_{k,j}^{N_{\min}}}{FR_{j,W} + \alpha_{k,j}^{N_{\min}}} \quad (5)$$

$$D \cdot x_{D,i} = FR_{i,D} \cdot F \cdot z_i \quad (6)$$

$$W \cdot x_{W,i} = (1 - FR_{i,D}) \cdot F \cdot z_i \quad (7)$$

onde  $k$  é um componente não-chave (NK).

- Equações de Underwood:

$$1 - q = \sum_{i=1}^C \left( \frac{\alpha_{i,HK} \cdot z_i}{\alpha_{i,HK} - \theta} \right) \quad (8)$$

$$R_{\min} + 1 = \sum_{i=1}^C \left( \frac{\alpha_{i,HK} \cdot x_{D,i}}{\alpha_{i,HK} - \theta} \right) \quad (9)$$

com  $1 < \theta < \alpha_{LK,HK}$ .

- Correlação de Gilliland:

$$Y = 0,75 - 0,75X^{0,5668} \quad (10)$$

onde  $Y = \frac{N - N_{\min}}{N + 1}$  e  $X = \frac{R - R_{\min}}{R + 1}$ .

- Equação de Kirkbride:

$$\frac{N_F - 1}{N - N_F} = \frac{N_{\text{retif}}}{N_{\text{esgot}}} = \quad (11)$$

$$= \left[ \left( \frac{z_{HK}}{z_{LK}} \right) \left( \frac{x_{LK,W}}{x_{HK,D}} \right)^2 \left( \frac{W}{D} \right) \right]^{0,206}$$

Determinação de  $N_F$  a partir de Fenske:

$$N_{F,\min} = \frac{\log \left[ \frac{(x_{LK,D}/x_{HK,D})}{(z_{LK}/z_{HK})} \right]}{\log(\alpha_{LK,HK})} \quad (12)$$

$$\frac{N_{F,\min}}{N_{\min}} = \frac{N_F}{N} \quad (13)$$