

Destilação Multicomponente por Estágios

Prof. Rodolfo Rodrigues
Universidade Federal do Pampa

BA310 – Operações Unitárias II
Curso de Engenharia Química
Campus Bagé

27 de agosto de 2019



Destilação Multicomponente por Estágios

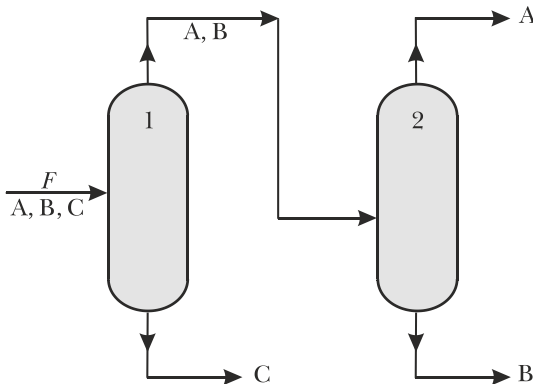


Figura 1: Esquema de destilação de uma mistura ternária (**A**, **B** e **C**). Nesta mistura, **A** é o componente mais leve e **C** é o mais pesado. A separação de uma mistura de **C** componentes requer $C - 1$ colunas.

Fonte: Azevedo & Alves (2013).

Componentes-Chave



Componentes-Chave

- Dois componentes são especificados no topo e no fundo da coluna:
 - **Componente-chave leve** (*light key*, LK): mais volátil;
 - **Componente-chave pesado** (*heavy key*, HK): menos volátil.
- Os componentes restantes são designados por **componentes não-chaves**:
 - **Componente não-chave leve** (*light non-key*, LNK): mais volátil que LK;
 - **Componente não-chave pesado** (*heavy non-key*, HNK): menos volátil que HK;



Componentes-Chave

- Somente os **componentes-chave** se distribuem entre o **topo** e o **fundo** da coluna.
- Geralmente LK é especificado no topo e HK; no fundo da coluna.
- Assume ainda:
 - Não há componentes de volatilidade intermediária entre os componentes-chave;
 - Deseja-se uma boa separação entre os componentes-chave.



Método F.U.G.



Método F.U.G.

- Método de **Fenske-Underwood-Gilliland** é um método aproximado;
- É de utilização simples e muito usado para um projeto preliminar de colunas;
- Determinação aproximada de:
 - 1 N° de estágios ideais;
 - 2 Razão de refluxo;
 - 3 Localização do estágio da alimentação;
 - 4 Distribuição dos componentes entre produtos de topo e de fundo.
- Baseia-se nas hipóteses de que:
 - As vazões molares são constantes de prato para prato;
 - As volatilidades relativas entre componentes, α_{AB} , são constantes.



Método F.U.G.

Tabela 1: Esquema de utilização do método F.U.G.

Passo	Equação	Condição	Para calcular:
1º	<u>F</u> enske	Refluxo total	N_{\min}
2º	<u>U</u> nderwood	$N \rightarrow \infty$	R_{\min}
3º	Refluxo real	$R = f(R_{\min})$	$R = 1,2 \cdot R_{\min}$
4º	<u>G</u> illiland	Refluxo finito	N
5º	Kirkbride	Refluxo finito	N_F

Fonte: adaptado de Azevedo & Alves (2013).



Método F.U.G.

Referências Originais do Método

- FENSKE, M. R. Fractionation of straight-run Pennsylvania gasoline. **Ind. Eng. Chem.**, v. 24, p. 482, 1932.
- GILLILAND, E. R. Multicomponent rectification. **Ind. Eng. Chem.**, v. 32, p. 1220, 1940.
- KIRKBRIDE, C. G. Process design procedure for multicomponent fractionators. **Petroleum Refiner**, v. 23, n. 9, p. 321–336, 1944.
- UNDERWOOD, A. J. V. Fractional distillation of multicomponent mixtures. **Chem. Eng. Prog.**, v. 44, p. 603, 1948.



Método F.U.G.

Nº mínimo de estágios, N_{\min}

Equação de Fenske: (via fração molar)

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

onde $\alpha_{i,j}$ pode ser aproximada por:

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



Método F.U.G.

Nº mínimo de estágios, N_{\min}

Fração recuperada (ou de recuperação):

$$FR_i = \frac{\text{Moles de } i \text{ em } D \text{ ou } W}{\text{Moles de } i \text{ na alimentação}} \quad (3)$$

sendo:

$$FR_{i,D} = \frac{D \cdot x_{i,D}}{F \cdot z_i} \quad (4)$$

$$FR_{i,W} = \frac{W \cdot x_{i,W}}{F \cdot z_i} \quad (5)$$

$$FR_{i,W} = 1 - FR_{i,D} \quad (6)$$

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

Método F.U.G.

Nº mínimo de estágios, N_{\min}

Equação de Fenske: (via fração recuperada)

$$N_{\min} = \frac{\ln \left[\frac{FR_{i,D} \cdot FR_{j,W}}{(1 - FR_{i,D})(1 - FR_{j,W})} \right]}{\ln(\alpha_{i,j})} \quad (8)$$

sendo:

$$FR_{k,D} = \frac{\alpha_{k,j}^{N_{\min}}}{\frac{FR_{j,W}}{1 - FR_{j,W}} + \alpha_{k,j}^{N_{\min}}} \quad (9)$$

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

Método F.U.G.

Razão de refluxo mínima, R_{\min}

Equações de Underwood:

$$1 - q = \sum_{i=1}^C \left(\frac{\alpha_{i,\text{HK}} \cdot Z_i}{\alpha_{i,\text{HK}} - \theta} \right) \quad (10)$$

$$R_{\min} + 1 = \sum_{i=1}^C \left(\frac{\alpha_{i,\text{HK}} \cdot X_{i,D}}{\alpha_{i,\text{HK}} - \theta} \right) \quad (11)$$

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



Método F.U.G.

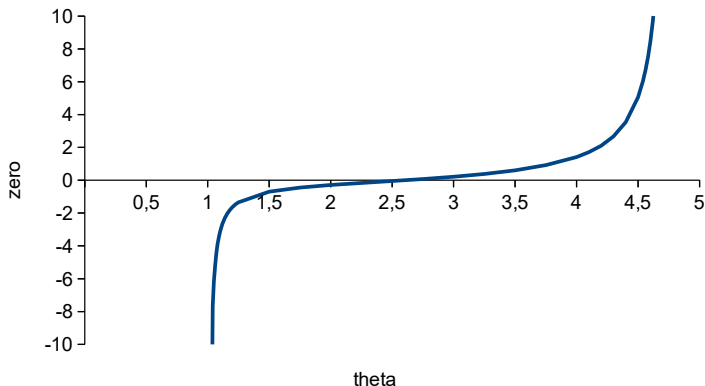


Figura 2: Representação do zero da eq. 10 de Underwood para θ (theta) no intervalo de $1 < \theta < \alpha_{LK,HK}$ para o **Exemplo 5.2** de Azevedo e Alves (2013).

Método F.U.G.

Razão de refluxo mínima, R_{\min}

Equações de Underwood:

- É necessário se conhecer $x_{i,D}$ previamente!
- Ao se conhecer $FR_{i,D}$, pode-se obter $x_{i,D}$ rearranjando a eq. 4:

$$x_{i,D} = \frac{z_i \cdot F \cdot FR_{i,D}}{D} \quad (12)$$

sendo que

$$D = \sum_{i=1}^C (z_i \cdot F \cdot FR_{i,D}) \quad (13)$$



Método F.U.G.

Nº de estágios ideais, N

Correlação de Gilliland:

$$Y = 0,75 - 0,75X^{0,5668} \quad (14)$$

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



Método F.U.G.

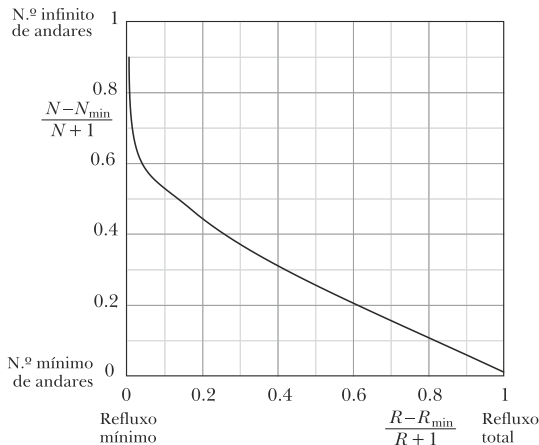


Figura 3: Correlação empírica de Gilliland.

Fonte: Azevedo & Alves (2013).



Método F.U.G.

Estágio ótimo para carga, N_F

Equação empírica de Kirkbride:

$$\begin{aligned}\frac{N_F - 1}{N - N_F} &= \frac{N_{\text{retif}}}{N_{\text{esgot}}} = \\ &= \left[\left(\frac{z_{HK}}{z_{LK}} \right) \left(\frac{x_{LK,W}}{x_{HK,D}} \right)^2 \left(\frac{W}{D} \right) \right]^{0,206}\end{aligned}\quad (15)$$



Método F.U.G.

Estágio ótimo para carga, N_F

A partir de **Fenske**:

$$N_{F,\min} = \frac{\ln \left[\frac{(x_{LK,D}/x_{HK,D})}{(z_{LK}/z_{HK})} \right]}{\ln(\alpha_{LK, HK})} \quad (16)$$

$$\frac{N_{F,\min}}{N_{\min}} = \frac{N_F}{N} \quad (17)$$



Método F.U.G.

Passo-a-passo:

- 1 Identificar os componentes LK e HK;
- 2 Obter $\alpha_{LK,HK}$;
- 3 Obter N_{min} pela equação de Fenske;
- 4 Calcular a distribuição dos componentes NK;
- 5 Determinar R_{min} pelas equações de Underwood;
- 6 Especificar R (geralmente a partir de R_{min});
- 7 Calcular N pela correlação de Gilliland;
- 8 Determinar N_F através de Kirkbride ou Fenske.



Referências

- AZEVEDO, E. G.; ALVES, A. M. **Destilação por Andares: Misturas Multicomponentes**. In: _____. (org.). *Engenharia de Processos de Separação*. 3. ed. Lisboa: IST Press, 2017, p. 223-247.
- DUTTA, B. K. **Multicomponent Distillation**. In: _____. (org.). *Principles of Mass Transfer and Separation Process*. New Delhi: Prentice Hall of India, 2007, p. 823-838.
- GEANKOPLIS, C. J. **Distillation of Multicomponent Mixtures**. In: _____. (Org.). *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations)*. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003, p. 740-759.



Referências

- HENLEY, E. J.; SEADER, J. D.; ROPER, D. K. **Approximate Multicomponent Methods**. In: _____. (org.). *Separation Process Principles*. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011, p. 389-402.
- MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Fractionation of Multicomponent Mixtures**. In: _____. (org.). *Unit Operations of Chemical Engineering*. 7. ed. Boston: McGraw-Hill, 2005, p. 742-752.
- WANKAT, P. C. **Approximate Shortcut Methods for Multicomponent Distillation**. In: _____. (org.). *Separation Process Engineering Includes Mass Transfer Analysis*. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2012, p. 243-263.

