

# Destilação Multicomponente por Estágios

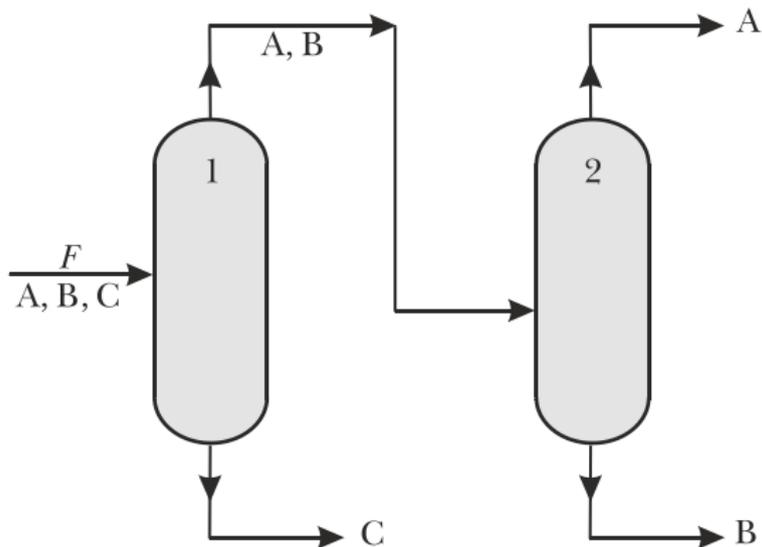
Prof. Rodolfo Rodrigues  
Universidade Federal do Pampa

BA310 – Operações Unitárias II  
Curso de Engenharia Química  
Campus Bagé

27 de agosto de 2018



# 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  $C - 1$  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<sup>o</sup> 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,  $\alpha_{AB}$ , 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:

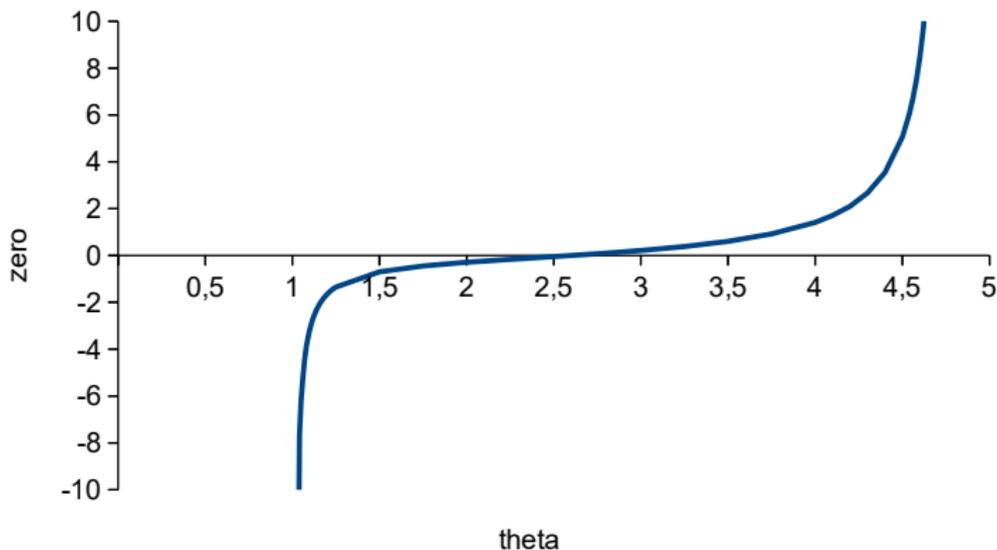
$$1 - q = \sum_{i=1}^C \left( \frac{\alpha_{i,\text{HK}} \cdot Z_i}{\alpha_{i,\text{HK}} - \theta} \right) \quad (10)$$

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

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



# Método F.U.G.



**Figura 2:** Representação do zero da eq. 10 de Underwood para  $\theta$  (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  $x_{D,i}$  previamente!
- Ao se conhecer  $FR_{i,D}$ , pode-se obter  $x_{D,i}$  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,  $N$**

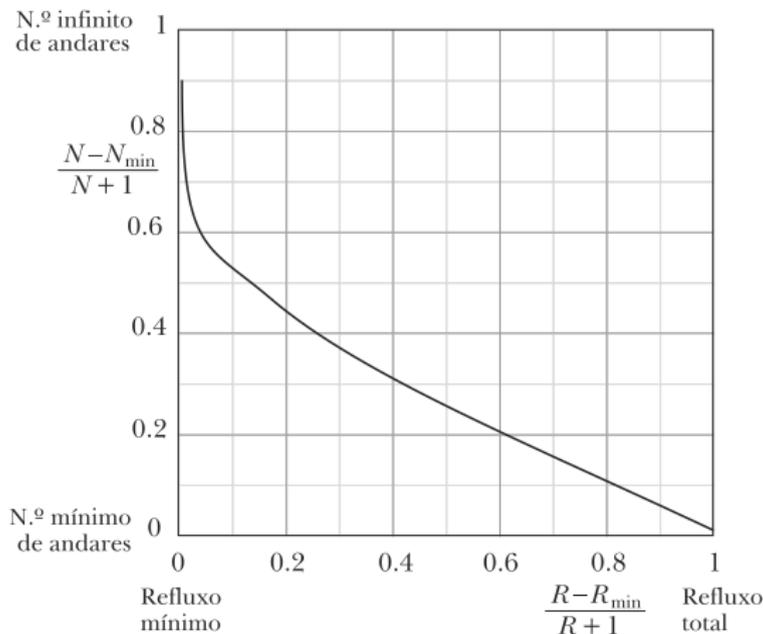
**Correlação de Gilliland:**

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

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:**

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



## 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.

- AZEVEDO, E. G.; ALVES, A. M. **Destilação por Andares: Misturas Multicomponentes**. In: \_\_\_\_\_. (Org.). *Engenharia de Processos de Separação*. 2. ed. Lisboa: IST Press, 2013, p. 229-257.
- 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.

