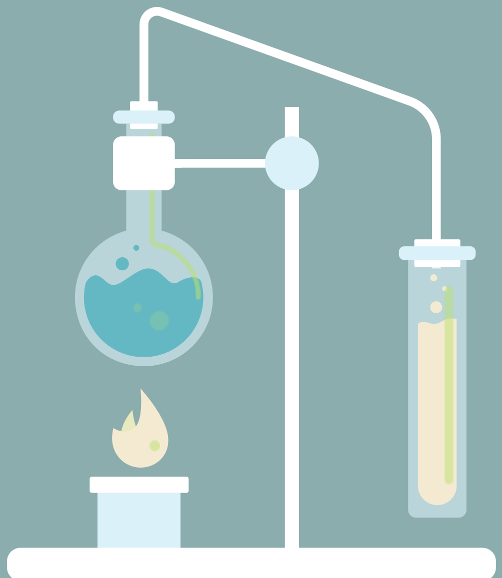
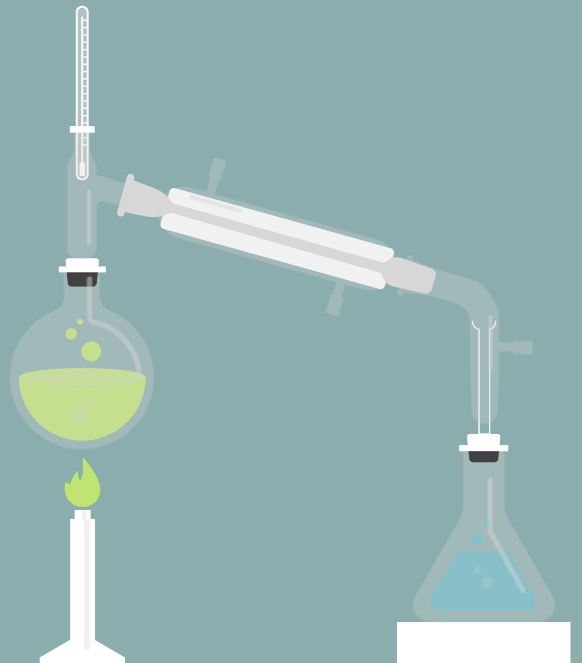
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

Operações Unitárias III

Profª. Drª. Simone de Fátima Medeiros

Contato: simonemedeiros@usp.br

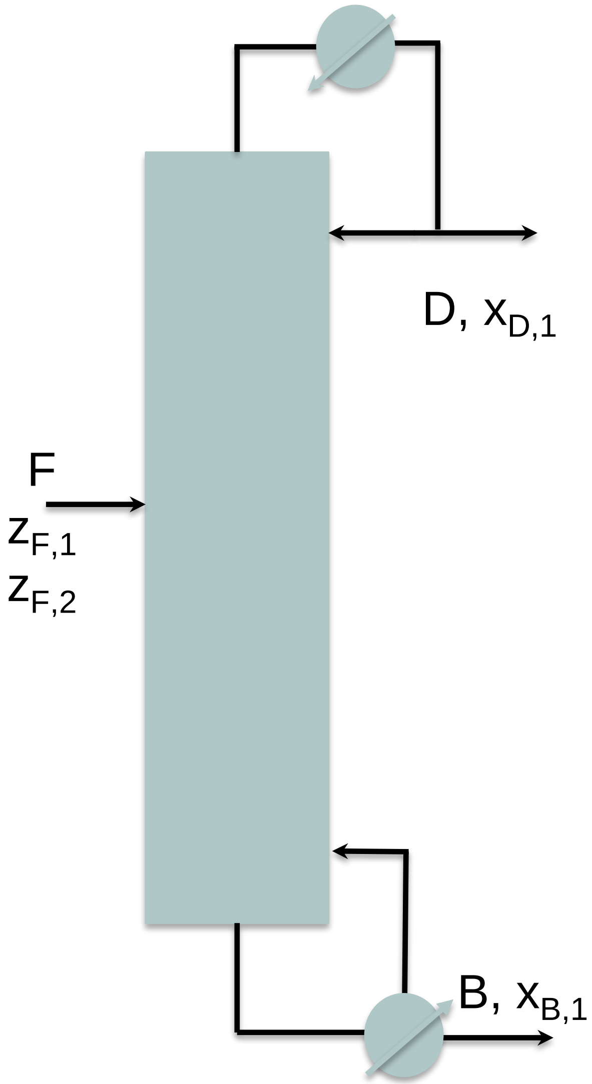




Destilação Multicomponente

Prof. S. Scott, ChE 128, UC Santa Barbara

Quantas colunas de destilação são necessárias?



Uma coluna de destilação pode ser otimizada para separar **um par** de componentes voláteis.

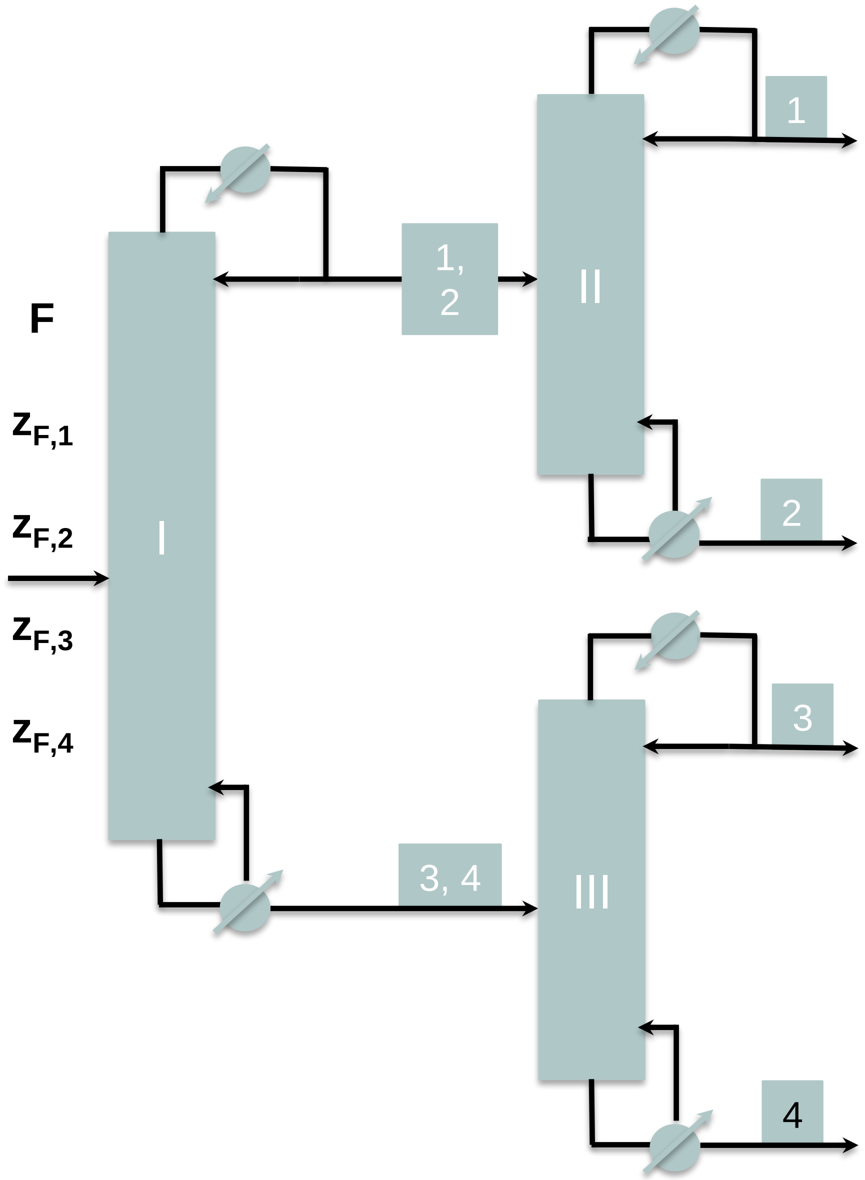
Podemos especificar duas recuperações fracionárias:

$$FR_1 = (Dx_{D,1})/(Fz_{F,1}) = 0.95$$
$$FR_2 = (Bx_{B,2})/(Fz_{F,2}) = 0.98$$

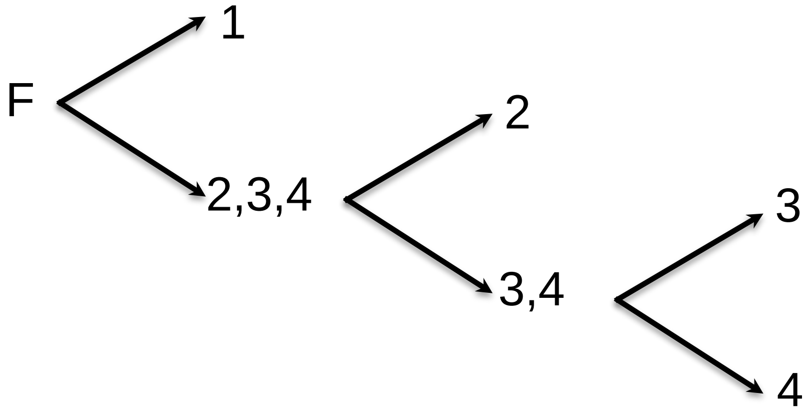
Se a alimentação contiver **mais de dois** componentes voláteis, não poderemos especificar recuperações de componentes adicionais.

No entanto, podemos adicionar mais colunas de destilação.

Destilação Multicomponente



Alternativa?



A separação dos **componentes C** requer **colunas de destilação (C-1).**

Componentes Chave

- Cada coluna é projetada para separar dois componentes de **volatilidade relativa adjacente**. Esses componentes são as **chaves.**

- Todos os outros componentes são **não chaves**.

component	α	designation
1	1.5	Light non-key (LNK)
2	1.4	Light key (LK)
3	1.3	Heavy key (HK)
4	1.2	Heavy non-key (HNK)
5	1.0	Heavy non-key (HNK)

design for separation

assumir exclusivamente em destilado

especificar a recuperação no destilado

especificar a recuperação no fundo

assumir exclusivamente no fundo

- As distribuições nos fluxos de destilados e fundo são especificadas para os dois componentes principais.

- Se assumirmos que as não-chaves não distribuem, o balanço de massa geral é facilmente resolvido.

Método para determinação do número de pratos da coluna, posição do prato de alimentação, razão de refluxo mínima e número de pratos mínimo

Short-cut (método de aproximações) ou método FUG

Fenske – Underwood - Gilliand

Protocolo:

- Calcular a razão de refluxo mínima (R_{Dmin}) - Underwood;
- Calcular o número de pratos mínimo (N_{min}) – Fenske;
- Adotar a razão de refluxo de operação (R_{Dop});
- Obter o número de pratos (N) a partir da correlação N = $N = f(N_{min}, R_{Dmin}, R_{Dop})$;
- Determinar a localização ótima do prato de alimentação (PA).

*Condições simplificadoras:

- Vazões molares constantes;
- Volatilidades relativas (αi) constantes.

Como calcular a razão de refluxo mínima (RD_{min})?

Equações propostas por Underwood:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{\alpha_i * x_F}{\alpha_i - \varphi} = 1 - q \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{\alpha_i * D * xDi}{\alpha_i - \varphi} = (L_a)_{\min} + D \qquad (2)$$

onde:

- $q = L_F / F$;
- α_i=volatilidade relativa do componenente “i” em relação ao chave pesado;
- $(L_a)_{min}$ = vazão de refluxo minima;
- φ = raízes da equação 1.

Obs: Os valores de φ que têm significado físico são aqueles situados entre os φ_is dos componentes distribuídos.

Passos

- Determinação de φ a partir da equação 1 (Método de Newton-Raphson):

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{\alpha_i * x_F}{\alpha_i - \varphi} = 1 - q \qquad (1)$$

$$F(\varphi) = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\alpha_i * x_F}{\alpha_i - \varphi} \right) - (1 - q) \qquad (3)$$

$$F'(\varphi) = \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{\alpha_i * x_F}{(\alpha_i - \varphi)^2} \right] \qquad (4)$$

$$\varphi_{n+1} = \varphi_n - \left[\frac{F(\varphi_n)}{F'(\varphi_n)} \right] \qquad (5)$$

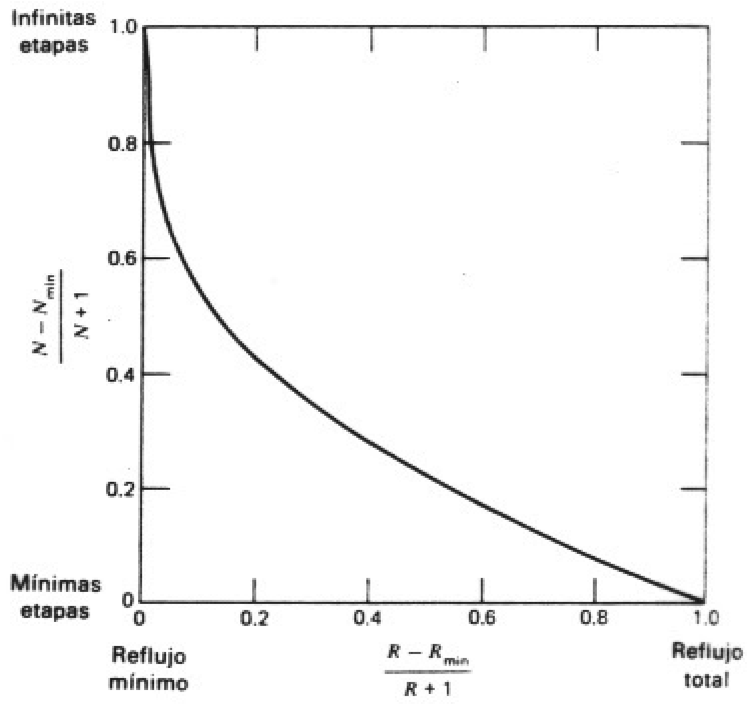
- Determinação de $(La)_{min}$ a partir da equação 2: $$\sum_{i=1}^{n} \frac{\alpha_i * D * xDi}{\alpha_i - \varphi} = (L_a)_{\min} + D \qquad (2)$$

- Determinação de RD_{min} pela razão: $\boxed{RD_{min} = (La)_{min}/D}$

Como calcular o número de pratos mínimo (Nmin)?

Equação de Fenske:

$$N_{min} = \frac{\log\left[\left(\frac{d_{LK}}{d_{HK}}\right) * \left(\frac{b_{HK}}{b_{LK}}\right)\right]}{\log(\alpha_{LK})} \quad (6)$$



Como calcular o número de pratos (N)?

$$0 \le x \le 0{,}01 \rightarrow y = 1 - (18{,}5715 * x) \quad (7)$$

$$0{,}01 < x \le 0{,}9 \rightarrow y = 0{,}545827 - (0{,}591422 * x) + \frac{0{,}002743}{x} \quad (8)$$

$$0{,}9 < x \le 1{,}0 \rightarrow y = 0{,}16595 - (0{,}16595 * x) \quad (9)$$

Como calcular a posição do prato de alimentação (PA)?

$$\log\frac{m}{p} = 0{,}206 * \log\left\{\left[\frac{B}{D} * \left(\frac{x_{HK}}{X_{LK}}\right)_F\right] * \left[\frac{(x_{LK})_B}{(x_{HK})_D}\right]^2\right\} \quad (9)$$

Onde:

m = número de pratos acima do prato de alimentação;

p = número de pratos abaixo do prato de alimentação.

Exemplo

Suponha que 100 kmols/h de uma mistura (líquido saturado) contendo os componentes abaixo seja submetida a um processo de destilação, qual deve ser a razão de refluxo mínima, o número de pratos mínimo, o número total de pratos e a posição do prato de alimentação? Para o cálculo de φ, considere um valor inicial de 1,2. A razão de refluxo de operação deve ser igual a 1,5 vezes a razão de refluxo mínima.

	Componente	z_i	$F_i = F*z_i$	$D_i = D*xD_i$	$B_i = B*xB_i$	α_i
	nC6	0,4	40	40	-	2,70
LK	nC7	0,35	35	34	1	2,22
HK	nC8	0,25	25	1	24	1,00
			F = 100	D = 75	B = 25	

Solução:

Considerando valor inicial de φ igual a 1,2:

$$F(\varphi) = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\alpha_i * x_F}{\alpha_i - \varphi} \right) - (1 - q) \quad (3)$$

$$F'(\varphi) = \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{\alpha_i * x_F}{(\alpha_i - \varphi)^2} \right] \quad (4)$$

$$\varphi_{n+1} = \varphi_n - \left[\frac{F(\varphi_n)}{F'(\varphi_n)} \right] \quad (5)$$

Para φ_1 = 1,2: F(φ) = 0,23176, F’(φ) = 7,47683 e consequentemente φ_2 será igual a 1,169003, ou seja, diferente de φ_1. Assim, seguimos com mais uma iteração.

A convergência dos valores será obtida após a realização da cinco iterações, ou seja, $\varphi_5 = \varphi_4$ = 1,172549259.

Assim, substituindo φ_5 na equação (2), temos:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{\alpha_i * D * xDi}{\alpha_i - \varphi} = 136{,}972 = (L_a)_{\min} + D$$

Como D é igual a 75 kmols/h, $(La)_{min}$ será igual a **61,972** kmols/h.

Uma vez que RDmin = $(La)_{min}/D$: $\boxed{RD_{min} = 0{,}826}$

Cálculo de N_{min}: $$N_{\min} = \frac{\log\left[\left(\frac{d_{LK}}{d_{HK}}\right) * \left(\frac{b_{HK}}{b_{LK}}\right)\right]}{\log(\alpha_{LK})}$$

Substituindo os valores de acordo com a tabela dada no enunciado: $$N_{\min} = \frac{\log\left[\left(\frac{34}{1}\right) * \left(\frac{24}{1}\right)\right]}{\log(2{,}22)}$$

$$\boxed{N_{\min} = 8{,}4 = 9 \text{ pratos}}$$

Cálculo de N:

$$x = \frac{R_{Dop} - R_{D\min}}{R_{Dop} + 1} = \frac{(1{,}5 * 0{,}826) - 0{,}826}{(1{,}5 * 0{,}826) + 1} = 0{,}1848$$

Pela correlação de Gilliland:

$$y = 0{,}545827 - (0{,}591422 * 0{,}1848) + \frac{0{,}002743}{0{,}1848} = 0{,}4514$$

$$y = 0{,}4514 = \frac{N - N_{\min}}{N + 1}$$

Se **N_{min} = 8,4**

N = 16,13 = 17 é valor total de pratos na coluna

Cálculo de PA:

$$\log\frac{m}{p} = 0{,}206 * \log\left\{\left[\frac{B}{D} * \left(\frac{x_{HK}}{X_{LK}}\right)_F\right] * \left[\frac{(x_{LK})_B}{(x_{HK})_D}\right]^2\right\}$$

Substituindo os valores de acordo com a tabela dada no enunciado:

$$\log\frac{m}{p} = 0{,}206 * \log\left\{\left[\frac{25}{75} * \left(\frac{0{,}25}{0{,}35}\right)_F\right] * \left[\frac{\left(1/25\right)}{\left(1/75\right)}\right]^2\right\}$$

$$\frac{m}{p} = 1{,}17 \Rightarrow p = 16{,}13 - 1 - m = 15{,}13 - m$$

$$\frac{m}{15{,}13 - m} = 1{,}17 \Rightarrow$$

m = 8,15 = 9 pratos
p = 6,9 = 7 pratos

Lembrar:

m = número de pratos acima do prato de alimentação;

p = número de pratos abaixo do prato de alimentação.

Assim, PA é o **décimo prato** da coluna