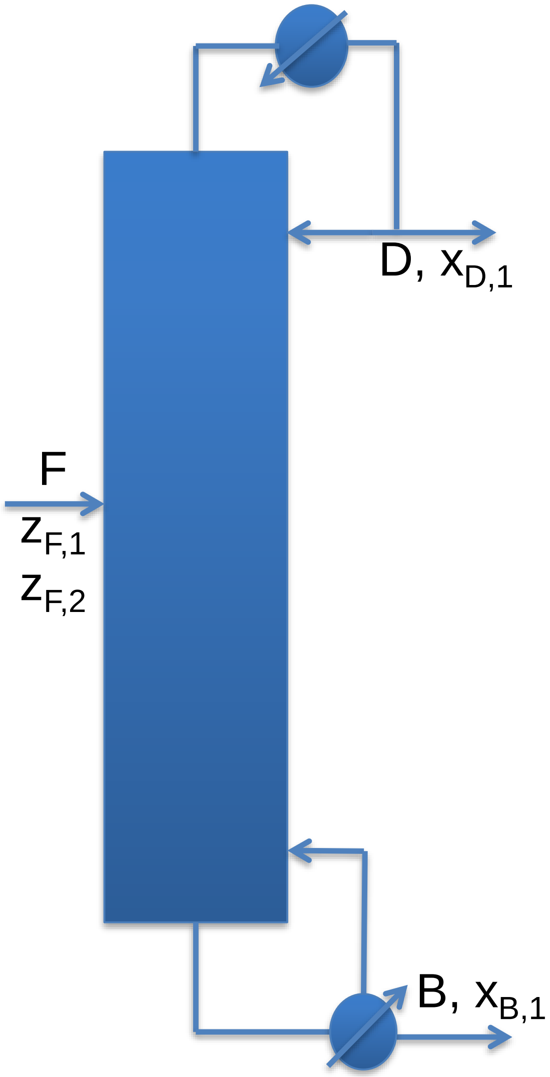
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

Operações Unitárias III

Profa. Dra.: Simone de Fátima Medeiros

8. Multi-component distillation

How many distillation columns are required?



One distillation column can be optimized to separate one pair of volatile components.

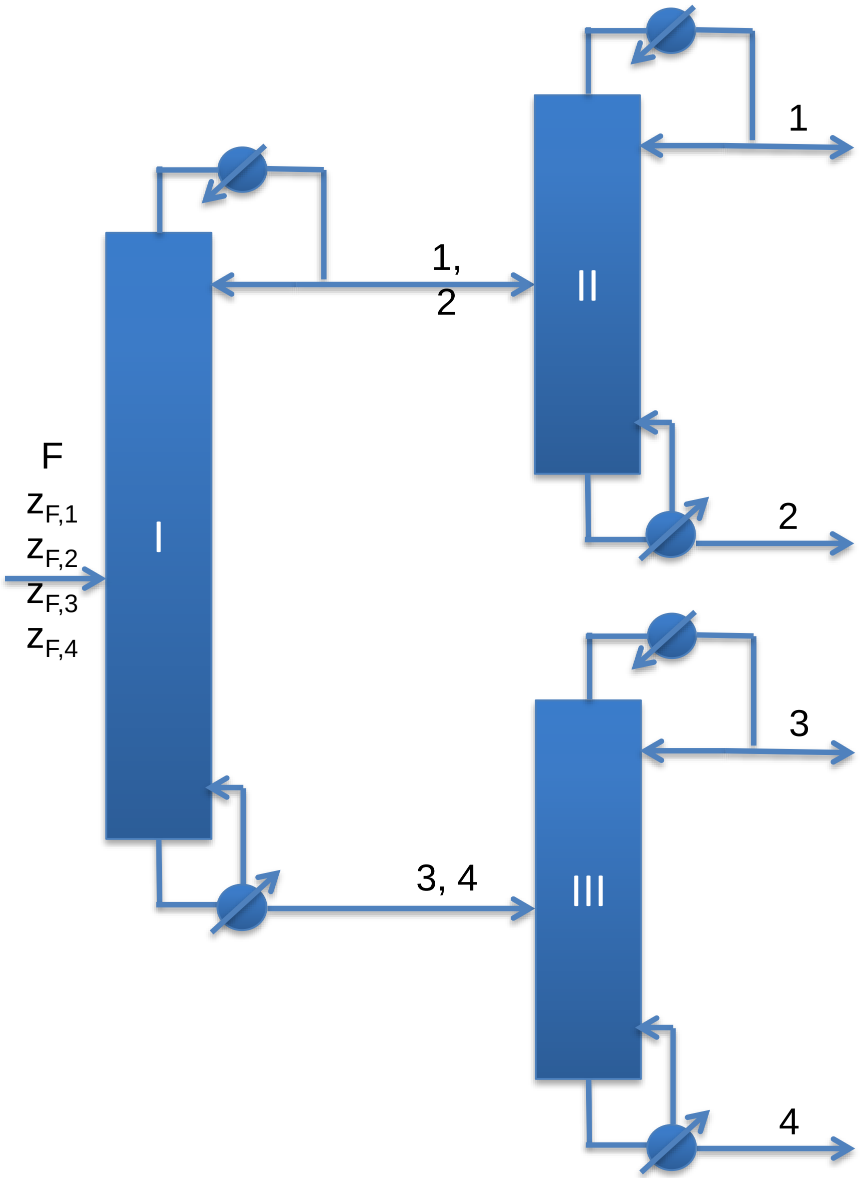
We can specify two fractional recoveries:

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

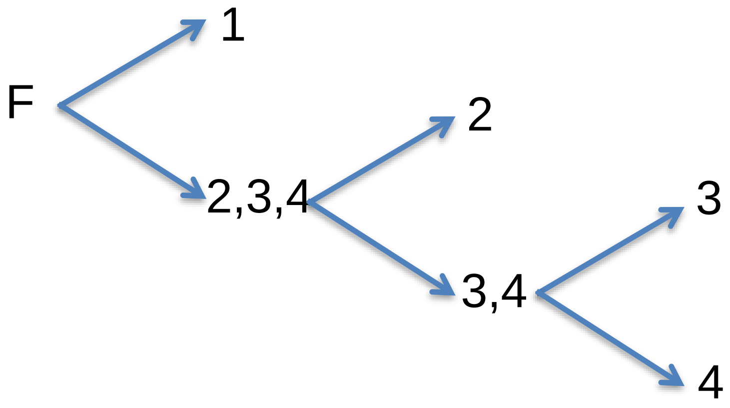
If the feed contains more than two volatile components, we cannot specify the recoveries of the additional components.

However, we can add more distillation columns.

Distillation of multicomponent mixtures



Alternative?



Separation of C components requires (C-1) distillation columns.

Key components

- Each column is designed to separate two components of *adjacent* relative volatility. These components are the keys.
- All other components are non-keys.

design for separation

component	α	designation	
1	1.5	Light non-key (LNK)	assume exclusively in distillate
2	1.4	Light key (LK)	specify recovery in distillate
3	1.3	Heavy key (HK)	specify recovery in bottoms
4	1.2	Heavy non-key (HNK)	assume exclusively in bottoms
5	1.0	Heavy non-key (HNK)	

- Distributions in the distillate and bottoms streams are specified for the two key components.
- If we assume that the non-keys do not distribute, the overall mass balance is easily solved.

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

Shor-cut (método de aproximações) ou método FUG

Fenske – Underwood - Gilliand

Protocolo:

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

*Condições simplificadoras:

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

1) Como calcular a razão de refluxo mínima (R_{Dmin})?

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 components distribuídos.

Passos:

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

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

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

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

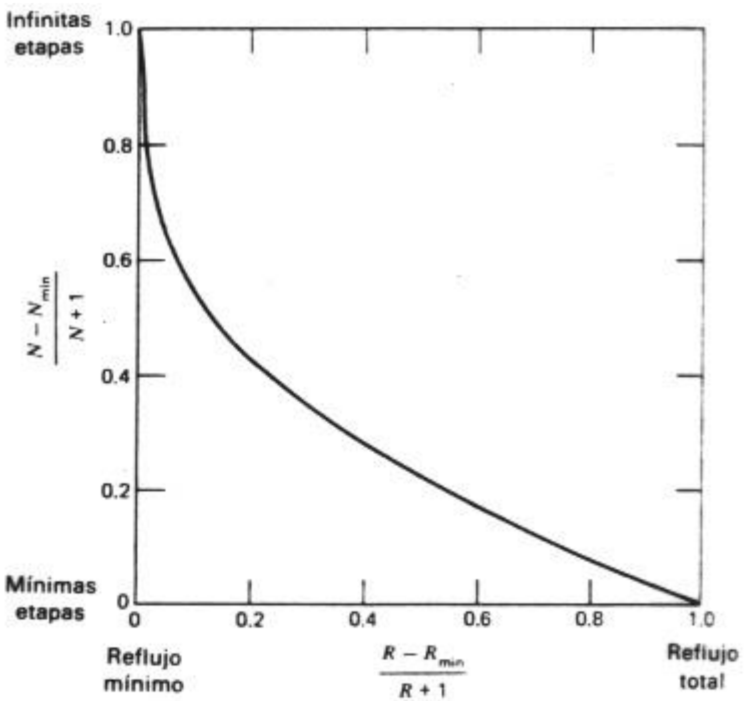
2) Determinação de $(L_a)_{min}$ a partir da equação 2;
3) Determinação de R_{Dmin} pela razão $R_{Dmin} = (L_a)_{min}/D$

2) Como calcular o número de pratos mínimo (N_{min})?

Equação de Fenske:

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

3) Como calcular o número de pratos (*N*)?



$$0 \leq x \leq 0{,}01 \rightarrow y = 1 - (18{,}5715 * x) \quad (6)$$

$$0{,}01 \prec x \leq 0{,}9 \rightarrow y = 0{,}545827 - (0{,}591422 * x) + \frac{0{,}002743}{x} \quad (7)$$

$$0{,}9 \prec x \leq 1{,}0 \rightarrow y = 0{,}16595 - (0{,}16595 * x) \quad (8)$$

1) 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.

Exercício:

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	$F_i = F*z_i$	$D_i = D*x_{Di}$	$B_i = B*x_{Bi}$	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, $(L_a)_{min}$ será igual a 61,972 kmols/h.

Uma vez que R_{Dmin} = (La)min/D:

R_{Dmin} = 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:

$$N_{\min} = \frac{\log\left[\left(\frac{34}{1}\right) * \left(\frac{24}{1}\right)\right]}{\log(2{,}22)}$$

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

Cálculo de *N*:

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

Pela correlação de Gilliland:

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

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

Uma vez que N_{min} = 8,4, N será igual a 16,13, ou seja, 17 é o 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:

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

$$\frac{m}{p} = 1{,}17$$

Mas:

$$p = 16{,}13 - 1 - m = 15{,}13 - m$$

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

M = 8,15 = 9 pratos
P = 6,9 = 7 pratos
Assim, PA é o décimo prato da coluna