UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

Operações Unitárias III

Profa. Dra.: Simone de Fátima Medeiros

Exemplo:

Uma coluna de retificação deve ser projetada para separar 292 kmols/h de uma mistura de 44% (molar) de benzeno e 56% (molar) de tolueno, fornecendo um produto de topo contendo 97,4 % (molar) de benzeno e um produto de fundo contendo, no máximo, 2,4 % (molar) de benzeno. A razão de refluxo deve ser de 3,5 moles de retorno para a coluna para cada mol de produto de topo obtido. O calor latente molar para a mistura benzeno-tolueno da alimentação é 7.240 cal/mol. A volatilidade relativa é $\alpha = 2,381$.

a) determinar as vazões de produto de topo e de produto de fundo;

b) determinar o número de pratos, as composições de equilíbrio em cada prato e a posição do prato de alimentação se:

    b.1) a mistura contém 2/3 de vapor e 1/3 de líquido;

    b.2) a mistura está líquida na temperatura de bolha;

    b.3) a mistura está líquida a 25ºC (Cp = 37,77 cal/mol.ºC).

Solução:

F = 292 kmols/h;
x_F = 0,44;
x_D = 0,974;
x_B = 0,024;
R_D = 3,5 kmols retorno/kmol de saída;
α = 2,381.

a) D,B = ?

$$F * x_F = D * x_D + B * x_B$$

$$F * x_F = D * x_D + (F - D) * x_B$$

$$292 * 0{,}44 = D * 0{,}974 + (292 - D) * 0{,}024$$

$$D = 127{,}6 \;\; kmols / h$$

$$B = 164{,}4 \;\; kmols / h$$

b.1) f = 2/3 = 0,667

L.A.:

$$y = -\left[\frac{(1-f)}{f}\right] * x + \frac{x_F}{f}$$

$$y = -\left[\frac{(1-0{,}667)}{0{,}667}\right] * x + \frac{0{,}44}{0{,}667}$$

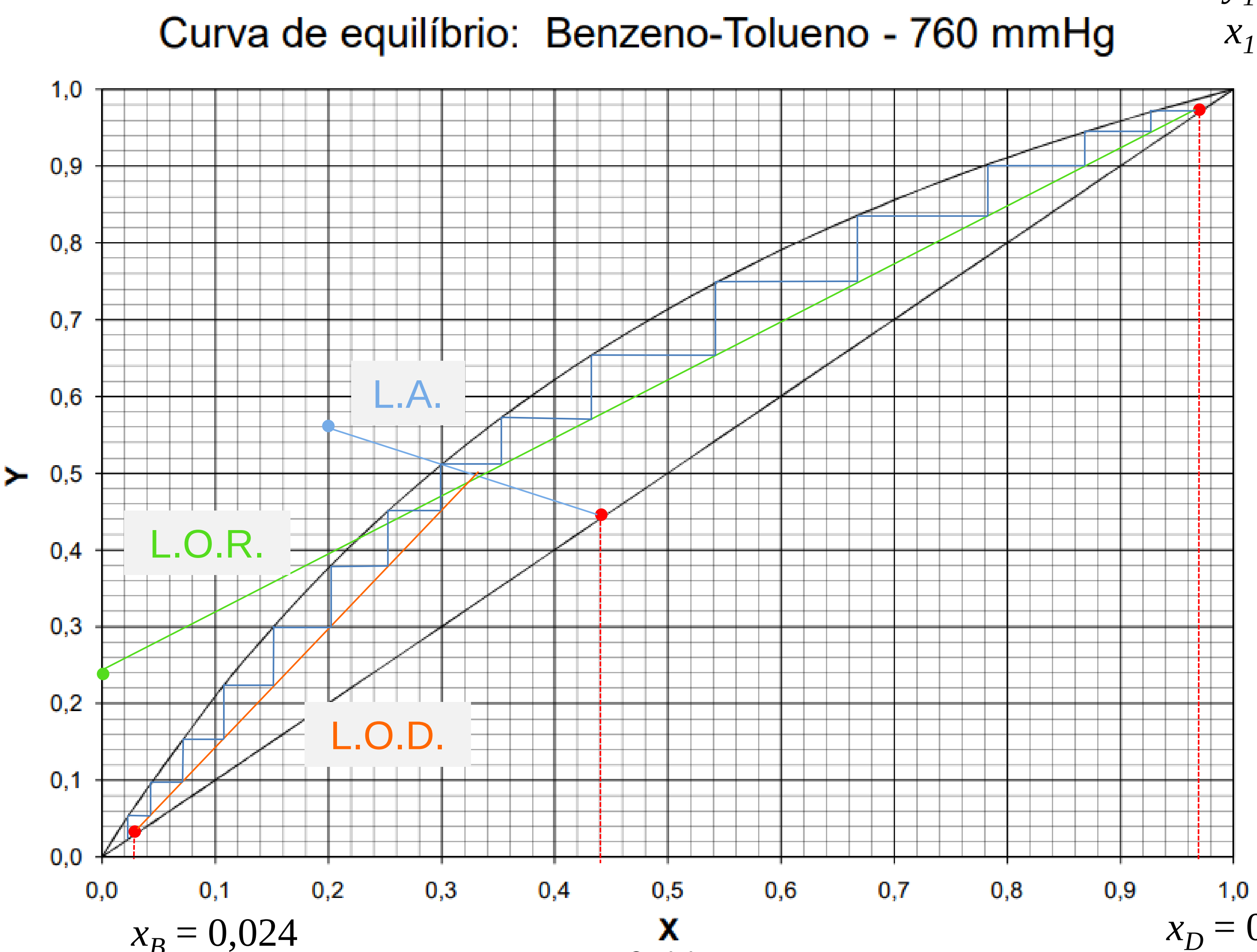
$$\boxed{y = -0{,}5 * x + 0{,}6603}$$

L.O.R.:

$$y = \frac{R_D}{R_D + 1} * x + \frac{x_D}{R_D + 1}$$

$$y = \frac{3{,}5}{3{,}5+1} * x + \frac{0{,}974}{3{,}5+1}$$

$$\boxed{y = 0{,}778 * x + 0{,}2165}$$



$y_1 = 0{,}974$
$x_1 = 0{,}93$

$y_2 = 0{,}94$
$x_2 = 0{,}87$

$y_3 = 0{,}90$
$x_3 = 0{,}785$

$y_4 = 0{,}835$
$x_4 = 0{,}665$

$y_5 = 0{,}75$
$x_5 = 0{,}54$

$y_6 = 0{,}65$
$x_6 = 0{,}43$

$y_7 = 0{,}57$
$x_7 = 0{,}35$

PA

$\boxed{y_8 = 0{,}51 \quad x_8 = 0{,}30}$

$x_B = 0{,}024$

$x_F = 0{,}44$

$x_D = 0{,}974$

$y_{15} = 0{,}05$ $x_{15} = 0{,}021$

$y_{14} = 0{,}095$ $x_{14} = 0{,}045$

$y_{13} = 0{,}15$ $x_{13} = 0{,}065$

$y_{12} = 0{,}22$ $x_{12} = 0{,}11$

$y_{11} = 0{,}30$ $x_{11} = 0{,}15$

$y_{10} = 0{,}38$ $x_{10} = 0{,}20$

$y_9 = 0{,}45$ $x_9 = 0{,}25$

b.1) Solução pelas equações das linhas de operação:

f = 2/3 = 0,667

L.A.:

$$y = -0{,}5 * x + 0{,}6603$$

L.O.R.:

$$y = 0{,}778 * x + 0{,}2165$$

Ponto de intersecção:

$$-0{,}5 * x + 0{,}6603 = 0{,}778 * x + 0{,}2165$$

$$x_{PI} = 0{,}35$$

$$y_{PI} = 0{,}49$$

L.O.D.:

Ponto 1: (0,024; 0,024)

Ponto final: (0,35; 0,49)

$$y = 1{,}4302 * x - 0{,}0101$$

Prato 1:

$y_1 = x_D = 0,974$

$$x_1 = \frac{y_1}{\alpha - \alpha * y_1 + y_1} = \frac{0,974}{2,381 - 2,381 * 0,974 + 0,974}$$

$$x_1 = 0,94$$

Prato 2:

$$y_2 = 0,778 * 0,94 + 0,2165$$

$$y_2 = 0,95$$

$$x_2 = \frac{y_2}{\alpha - \alpha * y_2 + y_2} = \frac{0,95}{2,381 - 2,381 * 0,95 + 0,95}$$

$$x_2 = 0,89$$

$$x_8 = 0,30$$

$$y_9 = 1,4302 * x_8 - 0,0101$$

$$y_{14} = 0,031$$

$$x_{14} = 0,013$$

b.2)

$$\boxed{y = 0{,}778 * x + 0{,}2165}$$

$$\boxed{f = 0}$$

$$y = -\left[\frac{(1 - f)}{f}\right] * x + \frac{x_F}{f}$$

$$y * f = -(1 - f) * x + x_F$$

$$y * 0 = -(1 - 0) * x + x_F$$

$$x = x_F$$

Para o caso de:

$$\boxed{f = 1}$$

$$y * f = -(1 - f) * x + x_F$$

$$y * 1 = -(1 - 1) * x + x_F$$

$$y = x_F$$

Razão de refluxo versus número de pratos:

Grandezas inversamente proporcionais

Número mínimo de pratos:

Equação de Fenske:

$$N_{\min} = \frac{\log\left[\left(\frac{x_D}{1 - x_D}\right) * \left(\frac{1 - x_B}{x_B}\right)\right]}{\log \alpha}$$

Razão de refluxo versus número de pratos:

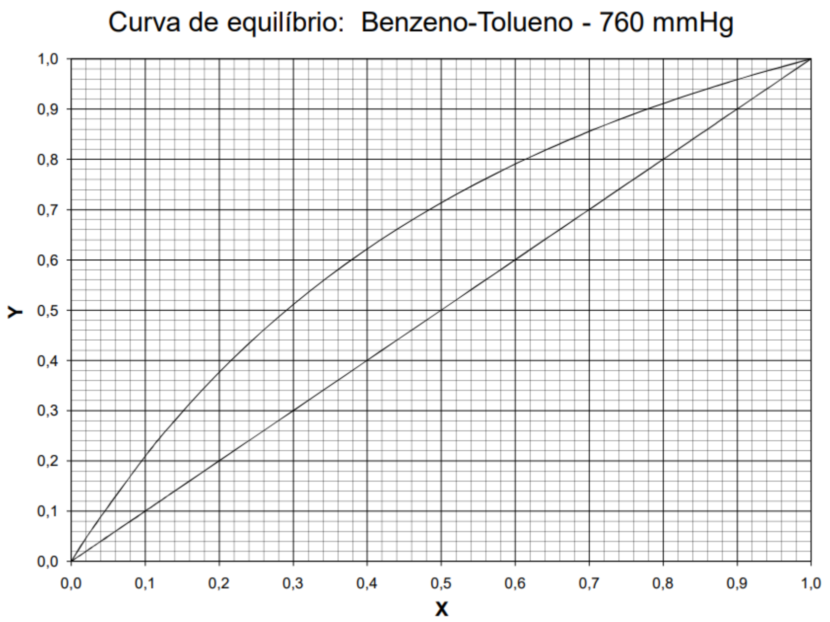
Grandezas inversamente proporcionais

Razão de refluxo mínima:

$$\frac{R_{\min}}{1+R_{\min}} = \frac{x_D - y'}{x_D - x'}$$

L.O.R.:

$$y = \frac{R_D}{R_D+1} * x + \frac{x_D}{R_D+1}$$



Eficiência da coluna:

1. Eficiência global, E_0:

$$E_O = \frac{N_{ideal}}{N_R}$$

Onde: N_T... Número teórico de pratos;
N_R... Número real (ideal) de pratos.

2. Eficiência de Murphree, E_M:

$$E_M = \frac{Enr.real}{Enr.teo}$$

$$E_M = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}}$$

Onde: y_n... Fração molar real do componente mais volátil deixando o prato *n*;
y_{n+1}... Fração real teórica do componente mais volátil deixando o prato *n+1*;
y^*_n... Fração molar teórica do componente mais volátil deixando o prato *n*.

3. Eficiência de Murphree pontual, E_M:

$$E_{MP} = \frac{y'_n - y'_{n+1}}{y'^*_n - y'_{n+1}}$$

Onde: y'_n... Fração molar real do componente mais volátil em um determinado ponto do prato *n*;
y_{n+1}... Fração molar real do componente mais volátil em um determinado ponto do prato *n+1*;
y^*_n... Fração molar teórica do componente mais volátil em um determinado ponto do prato *n*.