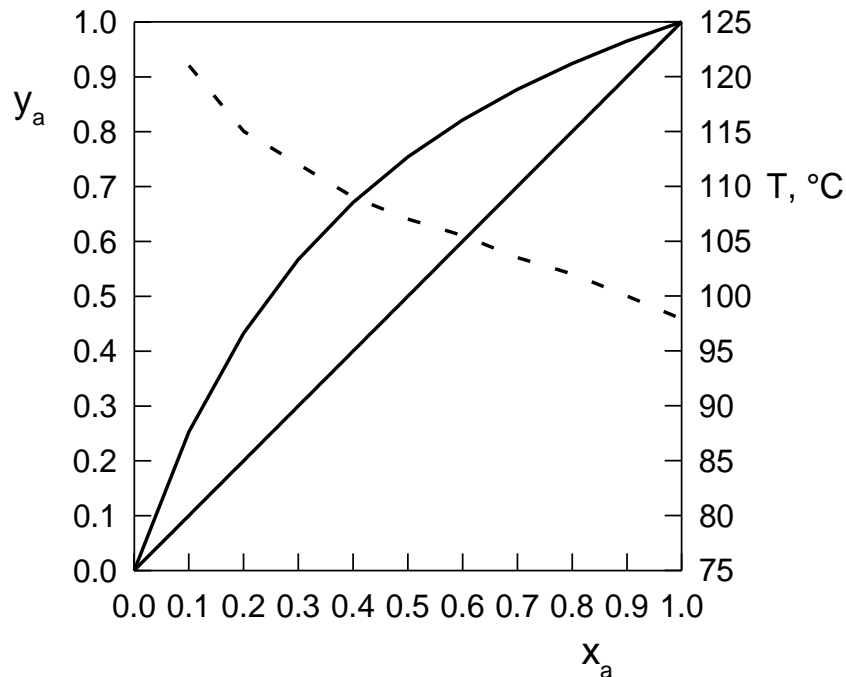


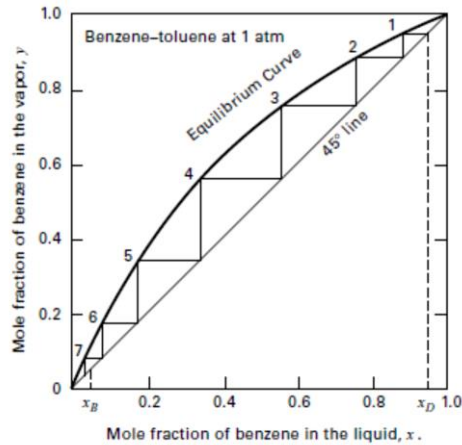
### Esercitazione numerica n. 3 – Distillazione

- 1) Una miscela liquida (50% in moli di n-eptano, 50% n-ottano) a 30 °C deve essere vaporizzata in continuo in un uno stadio flash ad 1 atm per ottenere il 60% di vapore. Determinare la composizione delle fasi ottenute e la temperatura dell'apparecchiatura.



- 2) 100 kgmole/h of a mixture containing 50 mole percent A and 50 mole percent B is to be fractionated to a distillate containing 90 mole percent A and a residue containing 90 mole percent B using a total condenser and feed at its saturated liquid condition and the reflux ratio is 4.5. Study the effect of relative volatility on the number of stages required ( $\alpha = 1.5; 3; 5$ ).
- 3) Four hundred and fifty lbmol/h of a mixture of 60 mol% benzene and 40 mol% toluene is to be separated into a liquid distillate and a liquid bottoms product of 95 mol% and 5 mol% benzene, respectively. The feed enters the column with a molar per-cent vaporization equal to the distillate-to-feed ratio. Use the McCabe–Thiele method to compute, at 1 atm:  $N_{\min}$ ,  $R_{\min}$ , and  $N$  for  $R/R_{\min} = 1.3$ , and the optimal feed-stage location.

**FONDAMENTI DELLE OPERAZIONI UNITARIE DELL'INDUSTRIA CHIMICA**  
**Anno Accademico 2015-2016**



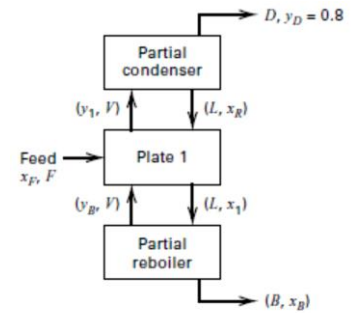
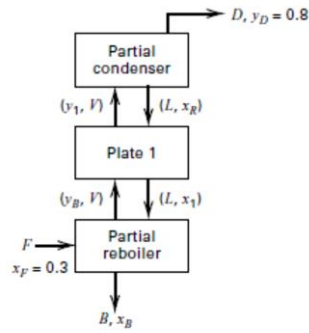
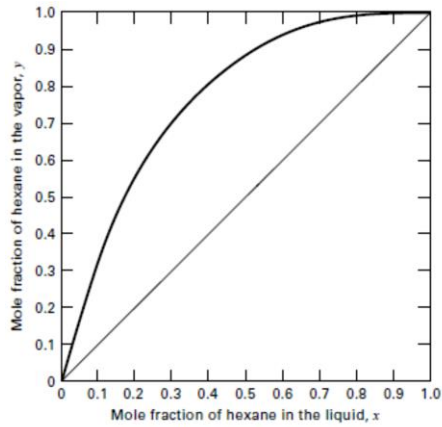
- 4) Un liquido di composizione molare 50% benzene (A), 25% toluene (B), 25% o-xilene (C) è vaporizzato in un flash ad 1 atm e 100 °C. Determinare l'ammontare del liquido e del vapore e la loro composizione. [Tensioni di vapore a 100 °C (mmHg): A = 1370, B = 550, C =200]
- 5) A binary mixture of benzene (40%) and toluene is to be distilled at 1 atm to recover 95% of the benzene. Estimate the molar percent of mixture to be distilled and the composition of the distillate obtained by differential distillation, collecting all the distillate together. The average relative volatility of benzene to toluene is 2.5.
- 6) Una miscela al 40% in moli di isopropanolo in acqua deve essere distillata ad 1 atm in discontinuo fino a processare il 70% della carica iniziale. Determinare la composizione del liquido residuo e quella media del distillato.

**Dati di equilibrio**

<b>T, K</b>	<b>366.0</b>	<b>357.0</b>	<b>355.1</b>	<b>354.3</b>	<b>353.6</b>	<b>353.2</b>	<b>353.3</b>	<b>354.5</b>
<b>y</b>	<b>0.220</b>	<b>0.462</b>	<b>0.524</b>	<b>0.569</b>	<b>0.593</b>	<b>0.682</b>	<b>0.742</b>	<b>0.916</b>
<b>x</b>	<b>0.012</b>	<b>0.084</b>	<b>0.198</b>	<b>0.350</b>	<b>0.453</b>	<b>0.679</b>	<b>0.769</b>	<b>0.944</b>

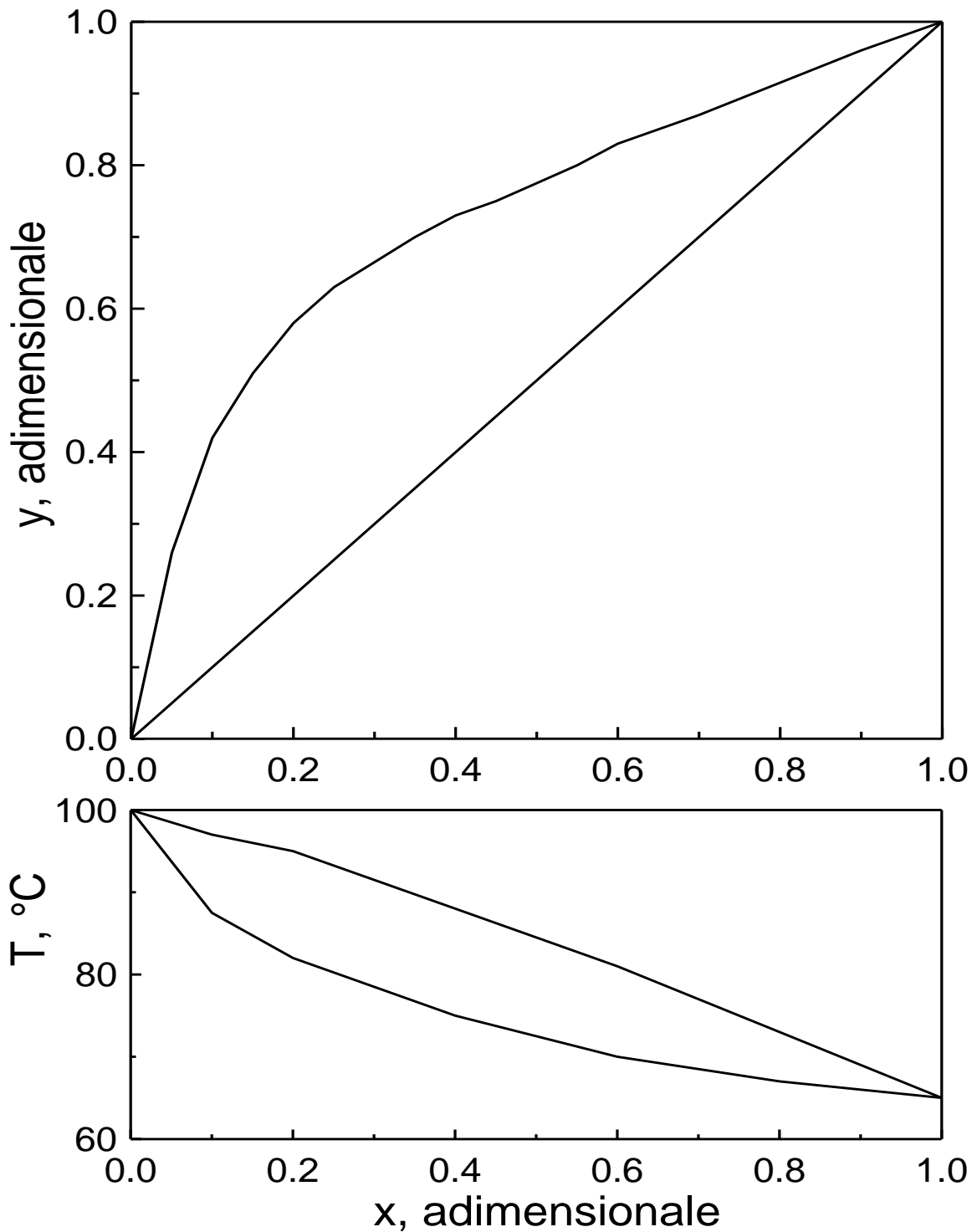
- 7) One thousand kmol/h of 30 mol% n-hexane and 70% n-octane is distilled at 1 atm in a column consisting of a partial reboiler, one equilibrium plate, and a partial condenser. The feed, a bubble-point liquid, is fed to the reboiler, from which a liquid bottoms is withdrawn. Bubble-point reflux from the partial condenser is returned to the plate. The vapor distillate contains 80 mol% hexane, and the reflux ratio,  $L=D$ , is 2. Assume the partial reboiler, plate, and partial condenser are equilibrium stages. Using the McCabe–Thiele method, calculate the bottoms composition and kmol/h of distillate produced. Repeat calculations assuming that the feed is introduced on plate 1 rather than into the reboiler.

FONDAMENTI DELLE OPERAZIONI UNITARIE DELL'INDUSTRIA CHIMICA  
Anno Accademico 2015-2016



- 8) 100 lbmoli di miscela al 20% molare di etanolo e 80% di acqua sono caricate in un distillatore batch, equivalente a tre stadi di equilibrio, che lavora a 1 atm e rapporto di riflusso pari a 3. Quando il fondo nel ribollitore ha frazione molare di etanolo pari a 0.03, quali saranno la quantità e la composizione media del distillato?

- 9) Bisogna distillare in continuo un'alimentazione costituita da 5000 kg/h di miscela metanolo/acqua ( $z_F = 0.36$  molare,  $T_F = 58.3$  °C) ottenendo 2620 kg/h di distillato ( $x_D = 0.915$  molare, liquido alla temperatura di bolla). La colonna deve lavorare ad un rapporto di riflusso pari a 1.5 volte il minimo. Calcolare il numero di piatti teorici richiesti impiegando il metodo di McCabe e Thiele.



10) Bisogna separare per distillazione 100 Kmol/h di un feed al 60% in benzene e 40% in ettano. Il distillato deve essere al 90% in benzene e il fondo al 10% in benzene. L'alimentazione entra in colonna a titolo misto (vapore 30% molare). Utilizzare un rapporto di riflusso pari a 3 volte il minimo, assumere volatilità relativa costante e pari a 4 e che la colonna sia isobara ad 1atm. Quanti stadi occorrono? A che altezza entra il feed?

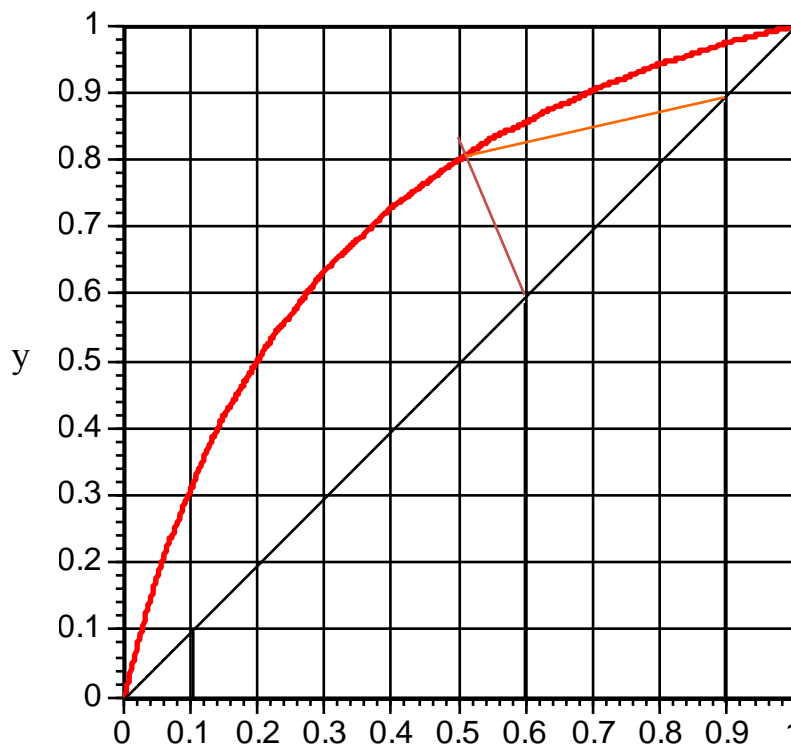
La curva di equilibrio si costruisce per punti mediante:  $y = \frac{\alpha x}{1 + x(\alpha - 1)}$

Poiché:  $q = \frac{\bar{L} - L}{F} = \frac{L + L_F - L}{F} = \frac{L_F}{F} = 0.7$

Allora:  $y = \left(\frac{q}{q-1}\right)x - \left(\frac{z_F}{q-1}\right) = -2.333x + 2$

$R_{min}$  si determina dall'intersezione della retta di lavoro della sezione di arricchimento con la curva di equilibrio. Ne risulta una pendenza pari a circa 0.25:

$$0.25 = \frac{R_{min}}{R_{min} + 1} \Rightarrow R_{min} = 0.333$$



x

11) Una colonna a 101 kPa deve separare 30 kg/h di una miscela benzene/toluene (liquido saturo, 60% in massa di toluene) in un distillato al 97% in massa di benzene ed un prodotto di fondo al 98% in massa di toluene. Il rapporto di riflusso è 3.5, e l'alimentazione entra al piatto ottimale. Determinare le portate di distillato e di fondo ed il numero di stadi. Utilizzare i seguenti dati di equilibrio:

**FONDAMENTI DELLE OPERAZIONI UNITARIE DELL'INDUSTRIA CHIMICA**  
**Anno Accademico 2015-2016**

EQUILIBRIUM DATA IN MOLE- FRACTION BENZENE, 101 kPA

<b>y</b>	<b>0.21</b>	<b>0.37</b>	<b>0.51</b>	<b>0.64</b>	<b>0.72</b>	<b>0.79</b>	<b>0.86</b>	<b>0.91</b>	<b>0.96</b>	<b>0.98</b>
<b>x</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.95</b>

Svolgimento esercizio 5)

Basis: 1 mol of feed (bottom at initial time)

$$\text{Rayleigh formula: } \int_{x_i}^{x_f} \frac{dx}{y-x} = \ln \left( \frac{L_f}{L_i} \right) \quad (1)$$

$$\text{Constant volatility } \alpha \Rightarrow \ln \left( \frac{L_f}{L_i} \right) = \frac{1}{\alpha-1} \left[ \ln \left( \frac{x_f}{x_i} \right) - \alpha \ln \left( \frac{1-x_f}{1-x_i} \right) \right] \quad (2)$$

**Unknowns:  $L_f, x_f$**

$$\text{Recover 95\%} \Rightarrow \text{Residual benzene in the bottom } 0.05 * 1 * 0.4 = 0.02 = L_f x_f \quad (3)$$

Introducing numerical values into (2) + (3):

$$\ln \left( \frac{0.02/x_f}{1} \right) = 0.667 \left[ \ln \left( \frac{x_f}{0.4} \right) - 2.5 \ln \left( \frac{1-x_f}{0.6} \right) \right]$$

or:

$$\ln \left( \frac{0.02}{x_{2f}} \right) = \ln \left\{ \frac{\frac{x_f}{0.4}}{\left[ \frac{(1-x_f)}{0.6} \right]^{2.5}} \right\}^{0.667} \Rightarrow \frac{0.02^{0.667} * 0.4}{0.6^{2.5}} = \frac{x_f^{(1+0.667)}}{(1-x_f)^{2.5}} \quad (4)$$

Guess solution:

$$\left( \frac{x_f}{1-x_f} \right)^{2.5} = 0.111 \quad (5)$$

**$x_f = 0.375$ ;**

**$L_f = 0.2$  (mole percent of mixture to be distilled = 80%);**

$$\text{Composition of the distillate obtained } x_D = \frac{Dx_d}{D} = \frac{L_i x_i - L_f x_f}{L_i - L_f}$$

**$x_D = 0.475$ .**

95% of benzene that was present in the feed is to be recovered in the distillate. Therefore, moles of Benzene present in the residue =  $(1 - 0.95) \times 0.4 = 0.05 \times 0.4 = 0.02 = Wx_W$

And  $x_F = 0.4$ ;  $a = 2.5$

$$F(1 - x_F) = F - Fx_F = 1 - 0.4 = 0.6$$

Substituting the known quantities in the above equation,

$$\ln(0.4/0.02) = 2.5 \times \ln[0.6/(W(1 - x_W))]$$

$$(0.4/0.02)^{1/2.5} = 0.6 / [W(1 - x_W)]$$

$$3.31445 = 0.6 / [W(1 - x_W)]$$

$$W(1 - x_W) = 0.181$$

$$\text{Therefore, } W = W(1 - x_W) + Wx_W = 0.181 + 0.02 = 0.201$$

$$\text{Moles percent of mixture to be distilled} = F - W = 1 - 0.201 = 0.799$$

$$\text{Mole percent of mixture to be distilled} = 0.799 \times 100 = 79.9\%$$

*Composition of distillate:*

$$\text{Moles of toluene in residue} = W(1 - x_W) = 0.181$$

$$\text{Moles of toluene in distillate} = \text{moles of toluene in feed} - \text{mole of toluene in residue} = 0.6 - 0.181 = 0.419$$

$$\text{Moles of benzene in distillate} = \text{moles of benzene in feed} - \text{moles of benzene in residue} = 0.4 - 0.02 = 0.38$$

$$\text{Mole fraction of benzene in distillate} = 0.38 / (0.38 + 0.419) = 0.4756$$

### Svolgimento esercizio 10)

La curva di equilibrio si costruisce per punti mediante:

$$y = \frac{\alpha x}{1 + x(\alpha - 1)}$$

$$\text{Poiché: } q = \frac{\bar{L} - L}{F} = \frac{L + L_F - L}{F} = \frac{L_F}{F} = 0.7$$

$$\text{Allora: } y = \left( \frac{q}{q-1} \right) x - \left( \frac{z_F}{q-1} \right) = -2.333x + 2$$

$R_{\min}$  si determina dall'intersezione della retta di lavoro della sezione di arricchimento con la curva di equilibrio. Ne risulta una pendenza pari a circa 0.25:

$$0.25 = \frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1} \Rightarrow R_{\min} = 0.333$$



FONDAMENTI DELLE OPERAZIONI UNITARIE DELL'INDUSTRIA CHIMICA  
Anno Accademico 2015-2016

