

OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA

Absorción por Etapas de Equilibrio

For transfer from R to E (stripping of R)

$A \neq 1$:

$$\frac{X_0 - X_{N_p}}{X_0 - Y_{N_p+1}/m} = \frac{(1/A)^{N_p+1} - 1/A}{(1/A)^{N_p+1} - 1} \quad (5.50)$$

$$N_p = \frac{\log \left[\frac{X_0 - Y_{N_p+1}/m}{X_{N_p} - Y_{N_p+1}/m} (1 - A) + A \right]}{\log 1/A} \quad (5.51)$$

$A = 1$:

$$\frac{X_0 - X_{N_p}}{X_0 - Y_{N_p+1}/m} = \frac{N_p}{N_p + 1} \quad (5.52)$$

$$N_p = \frac{X_0 - X_{N_p}}{X_{N_p} - Y_{N_p+1}/m} \quad (5.53)$$

For transfer from E to R (absorption into R). A similar treatment yields:

$A \neq 1$:

$$\frac{Y_{N_p+1} - Y_1}{Y_{N_p+1} - mX_0} = \frac{A^{N_p+1} - A}{A^{N_p+1} - 1} \quad (5.54)$$

$$N_p = \frac{\log \left[\frac{Y_{N_p+1} - mX_0}{Y_1 - mX_0} \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A} \right]}{\log A} \quad (5.55)$$

$A = 1$:

$$\frac{Y_{N_p+1} - Y_1}{Y_{N_p+1} - mX_0} = \frac{N_p}{N_p + 1} \quad (5.56)$$

$$N_p = \frac{Y_{N_p+1} - Y_1}{Y_1 - mX_0} \quad (5.57)$$

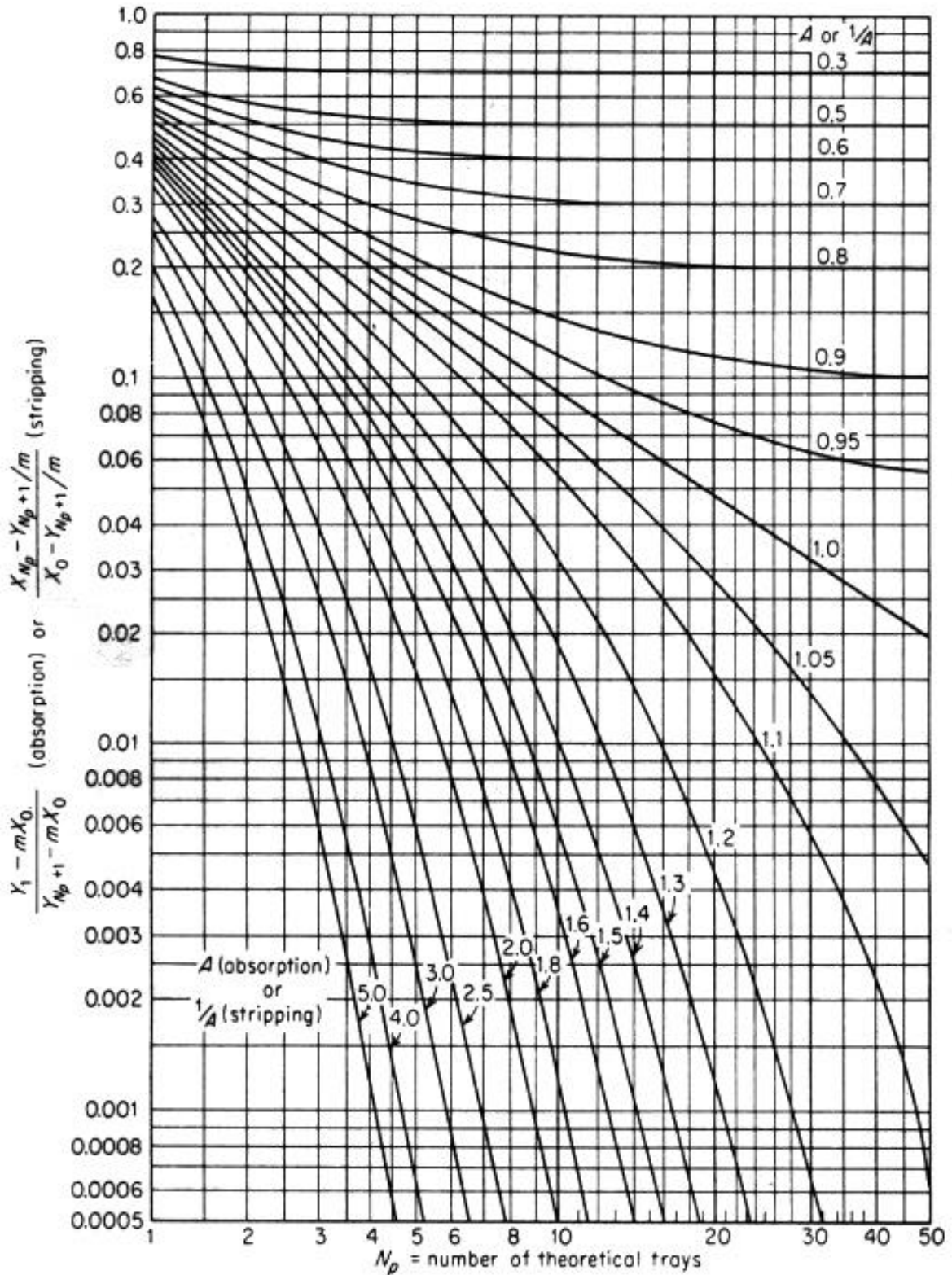


Figure 5.16 Number of theoretical stages for countercurrent cascades, with Henry's law equilibrium and constant absorption or stripping factors. [After Hachmuth and Vance, *Chem. Eng. Prog.*, **48**, 523, 570, 617 (1952).]

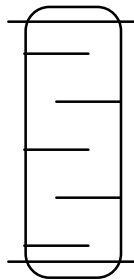
OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA

Ejemplos de Absorción por Etapas

EJEMPLO 1. Se desea utilizar una columna de seis platos para remover amoníaco de una corriente de agua de desecho utilizando aire @ 1 atm y 77°F. Calcular la fracción molar de amoníaco en el gas y el líquido a la salida del aparato si la concentración a la que se alimenta el agua es de 0.1 % molar. Se alimentan al sistema 60 ft³ de aire limpio de amoníaco/lb de agua. El sistema se puede considerar diluido, de manera que la línea de equilibrio se representa por $y_A = 1.414 x_A$. Además, determinar el porcentaje del amoníaco no recuperado.

SOLUCION.

En este caso $G_s/L_s = 60 \text{ ft}^3/\text{lb H}_2\text{O}$. Un esquema del proceso es el siguiente:



aplicando la ecuación de estado del gas ideal para determinar el flujo molar de entrada de aire:

$$\frac{G_s}{L_s} = \frac{PV}{RT} = \frac{14.7 \text{ psia} \times 60 \text{ ft}^3 / \text{lbH}_2\text{O}}{10.73 \frac{\text{psia} \times \text{ft}^3}{\text{lbmol}^\circ\text{R}} \times (77 + 459.67)^\circ\text{R}} =$$

Por lo tanto, $G_s/L_s = 2.7562 \text{ lbmol aire/lbmol H}_2\text{O}$. El factor de absorción sería:

Utilizando las ecuaciones de Kremser-Souders-Brown para desabsorción con $A \neq 1$, de la ecuación (5.50) del texto:

$$\frac{x_{A0} - x_{AN}}{x_{A0} - y_{AN+1}/m} = \frac{(1/A)^{N+1} - 1/A}{(1/A)^{N+1} - 1}$$

sustituyendo valores,

$$\frac{0.001 - x_{AN}}{0.001 - 0.0/1.414} = \frac{(3.8973)^7 - 3.8973}{(3.8973)^7 - 1}$$

por lo que $x_{AN} = 2.1216 \times 10^{-7}$. El porcentaje de amoniaco no recuperado se determina dividiendo la salida entre la entrada de amoniaco en el líquido:

EJEMPLO 2. Se absorberá amoniaco de una mezcla con aire @ 20°C. El gas de entrada tiene 10% de amoniaco en volumen y se desea que salga con 1% de amoniaco en volumen. El flujo de aire es de 10 kmol/seg @ 20°C y 1 atm.

- (a) Determinar el flujo mínimo de agua a utilizar.
- (b) Calcular el número de etapas requeridas si se utiliza un 125% del flujo mínimo de agua.
- (c) Si todo el líquido que abandona la columna de la parte (b) se alimenta a un desabsorbedor de 5 etapas que opera @ 20°C y 1 atm con un flujo de aire de 9 kmol/seg, determinar las composiciones de salida del gas y del líquido.

Los datos de equilibrio @ 20°C son :

gr NH ₃ /100 gr H ₂ O	P _{NH₃} (mmHg)
40	470.0
30	298.0
25	227.0
20	166.0
15	114.0
10	69.6
7.5	50.0
4	24.9
5	31.7
3	18.2
2	12.0

SOLUCION.

Analizando los datos del problema, la alimentación de gas (que es la máxima concentración) tiene un 10% molar de amoniaco, por lo que la presión parcial máxima que se tendrá es de 76 mmHg. Tomaremos los datos a partir de 114 mmHg hacia abajo. Para convertir esta información a fracción molar, se utiliza la relación:

$$x_A = \frac{w \text{ grNH}_3 \times \frac{1 \text{ molNH}_3}{17 \text{ grNH}_3}}{\frac{100 \text{ grH}_2\text{O}}{18 \text{ grH}_2\text{O/molH}_2\text{O}} + \frac{w \text{ grNH}_3}{17 \text{ grNH}_3}}$$

donde w representa el valor reportado en la tabla de datos de equilibrio como $\text{grNH}_3/100 \text{ grH}_2\text{O}$. De esta manera se obtienen los siguientes datos de equilibrio:

x_{NH_3}	y_{NH_3}
0.1371	0.1500
0.0957	0.0920
0.0736	0.0658
0.0503	0.0417
0.0406	0.0328
0.0308	0.0239
0.0207	0.0158

Para fines ilustrativos, supondremos un SISTEMA NO DILUIDO, por lo que conviene calcular la curva de equilibrio en *base libre de soluto*:

X_{NH_3}	Y_{NH_3}
0.1589	0.1765
0.1058	0.1013
0.0794	0.0704
0.0530	0.0435
0.0423	0.0339
0.0318	0.0245
0.0211	0.0161

(a) Para determinar el flujo de solvente mínimo, de la curva de equilibrio, con $Y_{\text{AN}+1} = (0.1)/(1-0.1) = 0.1111$, la concentración X_{AN}^* sería de 0.1135 aproximadamente, por lo tanto:

$$\left(\frac{Ls}{Gs}\right)_{\text{mín}} = \frac{Y_{\text{AN}+1} - Y_{\text{A1}}}{X_{\text{AN}}^* - X_{\text{A0}}} = \frac{0.10 - 0.01}{0.1135 - 0.0} =$$

$$Ls_{\text{mín}} = 0.89 \text{ Gs} =$$

(b) La pendiente de la línea de operación sería

$$\left(\frac{Ls}{Gs}\right)_{op} = \frac{Y_{AN+1} - Y_{A1}}{X_{AN} - X_{A0}} = 1.25 \times 0.89 = 1.11245$$

$$Ls = 1.11245 \times 10 = 11.1245 \text{ kmol/seg}$$

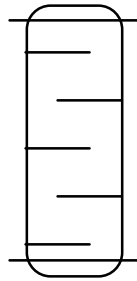
despejando para la concentración de salida del líquido:

$$X_{AN} = \frac{X_{AN}}{1 + X_{AN}} =$$

Y el número de etapas se determina gráficamente $\rightarrow N = 5$. A la salida del sistema,

$$L_N = \frac{Ls}{1 - X_{AN}} =$$

(c) Un esquema del proceso de desabsorción para limpiar el líquido de salida sería:



Con la pendiente de la línea de operación de 1.236 y sabiendo que el gas entra libre de amoníaco y el líquido con un 9.08 % de NH_3 en base libre de soluto, se deberá buscar que la recta de operación produzca exactamente 5 etapas. De la gráfica se tiene:

