

Auxiliar N° 4 IQ46B

29 de septiembre de 2004.

Pregunta 1

Se desea bajar hasta un 1% en volumen el contenido de amoníaco de una corriente de 50 [m³/min] de aire que contiene un 10% en volumen de NH₃. Para cumplir este objetivo se utiliza una columna de absorción de 1.5 [m²] de área transversal en la cual se coloca en contacto en contracorriente el flujo de aire a purificar con una corriente de agua pura. Se conoce que el peso molecular de la corriente de aire es de 30 [g/mol] y la densidad de ésta es de 1.2 [Kg/m³].

Calcular:

- La razón mínima de flujo $(L/G)_{\min}$ y el flujo mínimo de agua en la columna.
- La cantidad de agua necesaria si se utiliza 1.5 veces el flujo mínimo de agua.
- La fracción molar de amoníaco en el agua de salida de la columna.
- La altura de la columna necesaria.

Se sabe además que para el sistema descrito se cumple la ley de Henry de la siguiente manera: $Y = 0.98 * X$ y que $K_Y * a = 90$ [Kmol / (hr*m³)]

SOLUCIÓN

El primer paso es transformar el flujo volumétrico de aire en flujo molar:

$$G_m = 50 \text{ [m}^3\text{/min]} * 1.2 \text{ [Kg/m}^3\text{]} / 30 \text{ [Kg/Kmol]} = 2 \text{ [Kmol/min]}$$

$$G_s = G_m / A = 1.33 \text{ [Kmol/m}^2\text{min]}$$

Utilizando la conversión: $Y = y / (1 - y)$

$$\begin{array}{lcl} y_1 = 0.1 & \left\{ & Y_1 = 0.11 \\ y_2 = 0.01 & \left\{ & Y_2 = 0.01 \\ x_2 = 0 & \left\{ & X_2 = 0 \end{array}$$

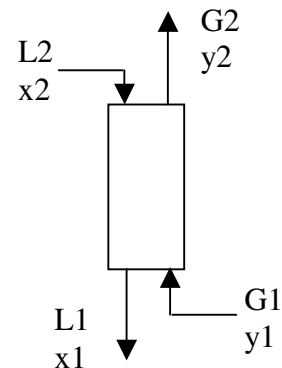
$$G' = G_s (1 - y_1) = 1.2 \text{ [Kmol/m}^2\text{min]}$$

$$\text{a) Balance de Masa Global: } G' (Y_1 - Y_2) = L' (X_1 - X_2)$$

$$(L'/G')_{\min} = (Y_1 - Y_2) / (X_1^* - X_2)$$

X_1^* : punto de equilibrio con Y_1 , se obtiene a partir de la ecuación de Henry.

$$X_1^* = 0.11 / 0.98 = 0.112$$



$$(L'/G')_{\min} = (0.11 - 0.01) / (0.112 - 0) = 0.893$$

$$L'_{\min} = G' * 0.893 = 1.0716 \text{ [Kmol/m}^2\text{min]}$$

b) Se usa 1,5 veces el mínimo de agua.

$$L' = 1.5 * 1.0716 = 1.607 \text{ [Kmol/m}^2\text{min]}$$

$$L = L' * A * PM_{(H_2O)} = 43.4 \text{ [lt/min]}$$

$$c) G'(Y_1 - Y_2) = L'(X_1 - X_2)$$

$$X_1 = X_2 + (G'/L') * (Y_1 - Y_2)$$

$$X_1 = 0 + (1.2 / 1.607) * (0.11 - 0.01) = 0.0747$$

$$x_1 = X_1 / (1 + X_1) = 0.0695$$

d) Utilizando la siguiente expresión se obtiene la altura de la columna:

$$z = \frac{G'}{K_{ya}} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{(Y - Y^*)}$$

$$z = 1.2 * 60 / 90 * \text{INT.} = 0.8 * \text{INT.}$$

La integral (INT) la resolveremos numéricamente.

Y _i	X _i	Y _i [*]	Y - Y [*]	1 / (Y - Y [*])
0.01	0	0	0.01	100
0.03	0.015	0.015	0.015	66.67
0.05	0.03	0.029	0.021	47.62
0.07	0.045	0.044	0.026	38.46
0.09	0.06	0.059	0.031	32.26
0.11	0.075	0.074	0.036	27.78

Se asigna un mallado en el intervalo de integración (Y_i).

Se calcula X_i a partir de la curva de operación (Balance de Masa Global).

Se calcula Y_i^{*} a partir de X_i^{*} y la curva de equilibrio (ecuación de Henry).

Si calculamos el área por el método de los trapecios, se obtiene lo siguiente:

$$\text{Area} = \sum a_i ; \text{ donde } a_i = (z_i + z_{i+1}) / 2 * (Y_{i+1} - Y_i)$$

$$z_i = 1 / (Y_i - Y_i^*)$$

z_i	a_i
100	1.6667
66.67	1.1429
47.62	0.8608
38.46	0.7072
32.26	0.6004
27.78	

Area Total = 4.978

Luego $Z = 0.8 * 4.978 = 3.98$ [m].

Pregunta 2

Se debe disolver CO_2 en una solución usando un absorbedor por burbujeo. Para ello se dispone de un tanque cerrado de absorción de dióxido de carbono que opera a 30 atm de presión y temperatura de 18°C . Se debe agregar CO_2 hasta alcanzar una concentración de 20 gr de CO_2 por litro de solución, siendo la concentración de entrada 0. El CO_2 se alimenta puro de modo que se puede considerar que la solución esta en contacto con una fase gaseosa de composición 100% dióxido de carbono. Determine el volumen del reactor sabiendo que el flujo de solución es de 1 [lt/s]. Suponga que el tanque opera como un reactor perfectamente agitado.

$K_{La} = 0.01$ [1/s]

Para el equilibrio entre la solución y la atmósfera de CO_2 considere los siguientes datos de equilibrio

TABLE 2-125 Carbon Dioxide (CO_2)

Total pressure, atm	Weight of CO_2 per 100 weights of H_2O^*								
	12°C	18°C	25°C	31.04°C	35°C	40°C	50°C	75°C	100°C
25		3.86		2.80	2.56	2.30	1.92	1.35	1.06
50	7.03	6.33	5.38	4.77	4.39	4.02	3.41	2.49	2.01
75	7.18	6.69	6.17	5.80	5.51	5.10	4.45	3.37	2.82
100	7.27	6.72	6.28	5.97	5.76	5.50	5.07	4.07	3.49
150	7.59	7.07		6.25	6.03	5.81	5.47	4.86	4.49
200				6.48	6.29	6.28	5.76	5.27	5.08
300	7.86	7.35					6.20	5.83	5.84
400	8.12	7.77	7.54	7.27	7.06	6.89	6.58	6.30	6.40
500				7.65	7.51	7.26			
700							7.58	7.43	7.61

*In the original, concentration is expressed in cubic centimeters of CO_2 (reduced to 0°C and 1 atm) dissolved in 1 g of water.

SOLUCION

De acuerdo con la información de equilibrio disponible a 18°C se tiene que a 25 atm la solubilidad es 3.86 y a 50 atm es 6.33 gr CO₂ / 100 gr H₂O. Interpolando linealmente para 30 atm se tiene una solubilidad de 4.354 gr CO₂ / 100 gr H₂O.

$$C^* = \frac{4.354 \text{ gr } CO_2}{100 \text{ gr } H_2O} = \frac{4.354 \text{ gr } CO_2}{104.354 \text{ gr } Soln.} = \frac{41.7 \text{ gr } CO_2}{1000 \text{ gr } Soln.}, \text{ al considerar una}$$
densidad de la solución de 1 gr/ml.

En el interior del absorbedor la concentración de CO₂ es de 20 gr/lit, en consecuencia la velocidad de transferencia de masa se puede expresar como:

$$W_a = K_L a (C^* - C) V = \frac{0.01}{\text{seg}} * \left(\frac{41.7 \text{ gr}}{\text{lt}} - \frac{20 \text{ gr}}{\text{lt}} \right) * V \text{ (lt)}$$
$$W_a = 0.217 [\text{gr/seg/lt}] * V [\text{lt}]$$

Por otro lado el requerimiento de absorción para el equipo es que para un flujo de 1 lt/seg se pase de concentración 0.0 a 20.0 gr/lt de CO₂.

$$\text{Por lo tanto: } W_a = 1 [\text{lt/seg}] * (20.0 - 0.0) [\text{gr/lt}] = 20 [\text{gr/seg}]$$

Igualando ambas expresiones se obtiene:

$$W_a = 20 [\text{gr/seg}] = 0.217 [\text{gr/seg/lt}] * V [\text{lt}]$$

$$V = 92.17 [\text{lt}].$$

Pregunta 3

Se debe absorber amoníaco desde una corriente de aire a 68 [°F] y una atmósfera de presión, utilizando una torre empacada de 6.07 [in] de diámetro y flujo en contracorriente. El absorbente es agua libre de amoníaco. El flujo de gas de entrada es 1 [mol de aire / min] y el flujo de agua es 1.39 [mol / min]. En estas condiciones el coeficiente global de transferencia de masa K_{Ga}*P, puede ser asumido como 100 [mol / hr ft³]. La concentración de amoníaco debe ser reducida desde 0.0825 a 0.003 en fracción molar. Suponga que en estas condiciones se cumple la ley de Henry “y = 0.185 x”

Determine la altura necesaria de la torre para cumplir los requerimientos (suponga que tanto la curva de operación como la curva de equilibrio son aproximadamente rectas).
PM Amoníaco = 17 [g/mol]

SOLUCION

El área transversal de la torre se puede calcular como:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \left(\frac{6.07}{12} \right)^2}{4} = 0.201 \text{ ft}^2$$

Para la fase gaseosa sabemos que:

$$y_1 = 0.0825; \quad y_2 = 0.003; \quad G = (1 \text{ mol} / \text{min}) / (0.201 \text{ ft}^2) = 5.03 \text{ mol} / \text{min-ft}^2$$

$$Y_1 = 0.09; \quad Y_2 = 0.003; \quad G_S = G \times (1 - y_1) = 4.7 \text{ mol} / \text{min-ft}^2$$

para la fase líquida:

$$x_2 = 0.00; \quad X_2 = 0.00; \quad L_S = (1.39 \text{ mol} / \text{min}) / (0.201 \text{ ft}^2) = 6.91 \text{ mol} / \text{min-ft}^2$$

Realizando un balance de masa global para el equipo:

$$L_S (X_2 - X_1) = G_S (Y_2 - Y_1)$$

Obtenemos la concentración en la fase líquida a la salida:

$$X_1 = 0.059 \quad x_1 = X_1 / (1 + X_1) = 0.056$$

Para calcular la altura necesaria de la torre como podemos suponer que tanto la curva de operación como la curva de equilibrio son rectas, utilizamos la siguiente expresión:

$$Z = \frac{G}{K_G a^* P} \frac{y_{A1} - y_{A2}}{(y_A - y_A^*)_{\ln}} \quad \text{donde:}$$

$$(y_A - y_A^*)_{\ln} = \frac{(y_A - y_A^*)_1 - (y_A - y_A^*)_2}{\ln \left[\frac{(y_A - y_A^*)_1}{(y_A - y_A^*)_2} \right]}$$

es necesario calcular las concentraciones de equilibrio en la fase gaseosa asociada a la composición de la fase líquida a la entrada y la salida de la torre:

$$y_2^* = 0.185 * x_2 = 0.185 * 0.000 = 0.000$$

$$y_1^* = 0.185 * x_1 = 0.185 * 0.056 = 0.0104$$

$$(y_1 - y_1^*) = 0.0825 - 0.0104 = 0.0721$$

$$(y_2 - y_2^*) = 0.0030 - 0.000 = 0.0030$$

$$(y - y^*)_{\ln} = 2.17 * 10^{-2}$$

finalmente:

$$z = \frac{G}{K_G a^* P} \frac{y_{A1} - y_{A2}}{(y_A - y_A^*)_{\ln}} = \frac{301.8}{100} \cdot \frac{0.0825 - 0.0030}{0.0217}$$

$$z = 11,06 \text{ ft.}$$

Pregunta 4

Para el mismo sistema del problema anterior, se debe calcular la altura de la torre por integración directa. Utilice $K_{YA} = 4.6$ [mol / hr ft³ ΔY_{NH3}] y considere la siguiente información de equilibrio.

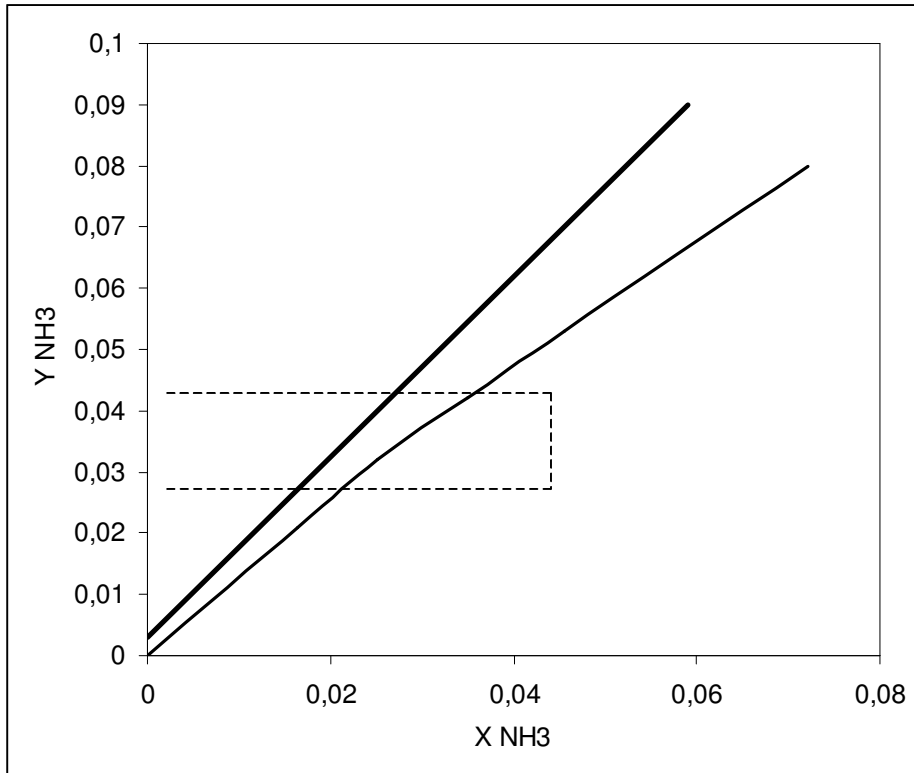
X [mol NH ₃ / mol H ₂ O]	0.0164	0.0252	0.0455	0.0722
Y [mol NH ₃ / mol aire]	0.0210	0.0320	0.0530	0.0800

SOLUCION

En este caso debemos calcular la altura de la torre utilizando:

$$z = \frac{G_S}{K_Y a} \int_{Y_{A1}}^{Y_{A2}} \frac{dY_A}{Y_A - Y_A^*}$$

Lo primero que debemos hacer en este caso es construir una el gráfico que representa las condiciones de operación y la curva de equilibrio del sistema.



De esta figura se obtienen los valores de Y^* para cada valor de Y y se construye la siguiente tabla:

Y_A	Y_A^*	$Y_A - Y_A^*$	$1 / (Y_A - Y_A^*)$
0.003	0.0000	0.0030	333.3
0.010	0.0065	0.0035	296.0
0.020	0.0153	0.0047	212.5
0.035	0.0275	0.0075	133.3
0.055	0.0425	0.0125	80.0
0.065	0.0503	0.0147	68.0
0.075	0.0508	0.0170	58.9
0.090	0.0683	0.0217	47.6

Luego es posible evaluar el número de unidades de transferencia utilizando la integral respectiva.

$$NTU = \int_{Y_{A1}}^{Y_{A2}} \frac{dY_A}{Y_A - Y_A^*} = 10.95$$

Finalmente se obtiene:

$$Z = 4.70 / 4.60 \times 10.95 = 11.2 \text{ ft.}$$