

# OPERACIONES UNITARIAS

## TEMA 4: ABSORCION GASEOSA

### PROBLEMA RESUELTO

#### Torres rellenas

Ing. Alfredo A Caballero

2019

Ha de recuperarse por absorción el amoníaco contenido en una mezcla de aire y amoníaco, con una riqueza en este último del 12%. Para ello se lavará en contracorriente con agua en una columna de absorción, a 1 atm de presión.

Mediante refrigeración adecuada se consigue que la temperatura permanezca constante e igual a 20°C, a lo largo de la columna.

La columna ha de proyectarse para conseguir una recuperación del 96%.

Se utilizará una velocidad másica gaseosa de 3670 kg/(h·m<sup>2</sup>).

- Calcular la velocidad másica gaseosa de agua, mínima para tal absorción.
- Si se utiliza un gasto acuoso 15% superior al mínimo, calcular la altura que debe tener una torre de absorción de relleno, utilizando la fuerza impulsora media logarítmica, suponiendo controlante la resistencia en la película gaseosa, y que  $k_{Ga}P = 380 \text{ mol kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$ .
- Repetir b) utilizando integración gráfica.
- Calcular el número de etapas teóricas que se requieren para efectuar la operación.
- Calcular la altura equivalente de una etapa teórica: A.E.P.T.

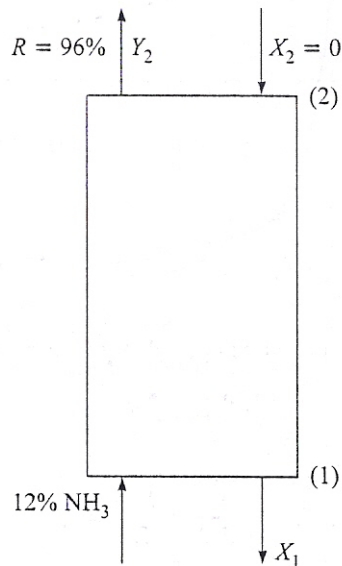
Datos y notas:

Datos de equilibrio:

|  |      |      |      |      |      |       |
|--|------|------|------|------|------|-------|
| $\text{g NH}_3/100\text{gH}_2\text{O}$ | 2    | 3    | 5    | 7,5  | 10   | 30    |
| $p(\text{mmHg})$                       | 12,0 | 18,2 | 31,7 | 50,0 | 69,5 | 166,0 |

Pesos moleculares:  $\text{NH}_3 = 17$ ;  $\text{H}_2\text{O} = 18$ ; Aire = 28,9

**Solución:**



$$\frac{V}{S} = 3670 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

$$k_{Ga}P = K_{Ga}P = 380 \frac{\text{mol kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^3}$$

$$L' = 1,15 L'_{\text{mín}}$$

a) Cálculo de las razones molares

$$Y_1 = \frac{12}{100 - 12} = \frac{12}{88} = 0,136$$

$$R = 0,96 = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1} = \frac{0,136 - Y_2}{0,136} \quad \therefore Y_2 = 0,00544$$

Línea de operación:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_2 = 0 \quad ; \quad Y_2 = 0,00544 \\ X_1 = ? \quad ; \quad Y_1 = 0,136 \end{array} \right\}$$

Línea de equilibrio en diagrama Y-X:

$$Y = \frac{p_{\text{NH}_3}}{P - p_{\text{NH}_3}} \rightarrow \frac{12,0}{760 - 12,0} = 0,0161$$

$$\frac{18,2}{760 - 18,2} = 0,0245 \quad ; \quad 0,0435 \quad ; \quad 0,0705$$

$$X = \frac{\text{kg NH}_3/17}{100 \text{ kg H}_2\text{O}/18} \rightarrow \frac{2/17}{100/18} = 0,0212$$

$$\frac{3/17}{100/18} = 0,0318 \quad ; \quad 0,0530 \quad ; \quad 0,0794$$

Otras parejas de datos son las siguientes:

$$0,1010 \quad ; \quad 0,280$$

$$0,1070 \quad ; \quad 0,2120$$

Representación gráfica, Y-X (Figura 1).

$$\bar{M} = (17)(0,12) + (28,9)(0,88) = 27,5$$

$$\frac{V}{S} = \frac{3670}{27,5} = 133,5 \frac{\text{mol kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

$$\frac{V'}{S} = \frac{V}{S} \frac{1}{1 + Y} = 133,5 \frac{1}{1 + 0,136} = 117,5 \frac{\text{mol kg aire}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

$$\left(\frac{L'}{V'}\right)_{\min} \cdot \left(\frac{V'}{S}\right) = \left(\frac{L'}{S}\right)_{\min} = (1,00)(117,5) = 117,5 \frac{\text{mol kg agua}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

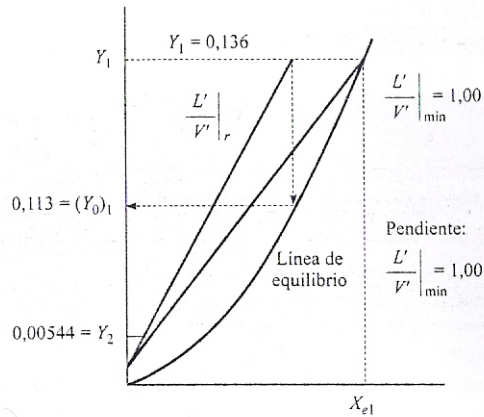


Figura 1. Representación gráfica en diagrama Y-X de la línea de equilibrio, de la línea de operación de pendiente mínima y de la línea de operación de pendiente real.

b) Cálculo de la pendiente de la línea de operación real:

$$\left. \frac{L'}{S} \right|_{\text{real}} = 1,15 \left( \frac{L'}{S} \right)_{\text{min}} = (1,15)(117,5) = 135,3 \frac{\text{mol kg agua}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

$$\frac{(L'/S)_r}{(V'/S)} = \left( \frac{L'}{V'} \right)_r = \frac{135,3}{117,5} = 1,15$$

pudiéndose representar la recta de operación que pasa por el punto  $(Y_2 = 0,0544, X_2 = 0)$  y tiene de pendiente = 1,15.

Cálculo del número de unidades de transferencia:

Utilizando la fuerza impulsora media logarítmica:

$$N_G = N_{GT} = \frac{Y_1 - Y_2}{(Y - Y_0)_{ml}}$$

$$\left. \begin{aligned} (Y - Y_0)_1 &= Y_1 - Y_{01} = 0,136 - 0,113 \text{ (de la gráfica)} = 0,023 \\ (Y - Y_0)_2 &= Y_2 - Y_{02} = 0,00544 - 0 = 0,00544 \end{aligned} \right\}$$

$$(Y - Y_0)_{ml} = \frac{0,023 - 0,00544}{\ln \left[ \frac{0,023}{0,00544} \right]} = 0,01222$$

$$N_G = \frac{Y_1 - Y_2}{(Y - Y_0)_{ml}} = \frac{0,136 - 0,00544}{0,01222} = 10,67$$

$$H_G = H_{GT} = \frac{V'/S}{k_G a P} = \frac{117,5}{(380)(1)} = 0,309$$

Cálculo de la altura de la columna:

$$h = H_G \cdot N_G = (0,309)(10,67) = 3,29 \text{ m}$$

c) Cálculo del número de unidades de transferencia mediante integración gráfica:

$$N_G = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y_0}$$

Construyamos la tabla:

|                         |         |        |        |        |       |       |       |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Y                       | 0,00544 | 0,8    | 0,05   | 0,07   | 0,09  | 0,11  | 0,136 |
| Y - Y <sub>0</sub>      | 0,00544 | 0,0135 | 0,0185 | 0,0225 | 0,025 | 0,027 | 0,024 |
| 1/(Y - Y <sub>0</sub> ) | 181,8   | 74,1   | 54,1   | 40     | 40    | 37    | 41,7  |

En la Figura 2 se representa la expresión subintegral 1/(Y - Y<sub>0</sub>) frente a Y.

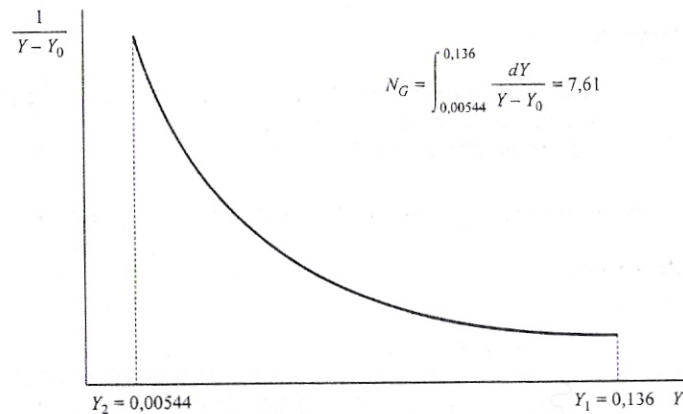


Figura 2. Representación gráfica de la expresión subintegral 1/(Y - Y<sub>0</sub>) frente a Y.

Cálculo de la altura de la columna:

$$h = H_G \cdot N_G = (0,309)(7,61) = 2,35 \text{ m}$$

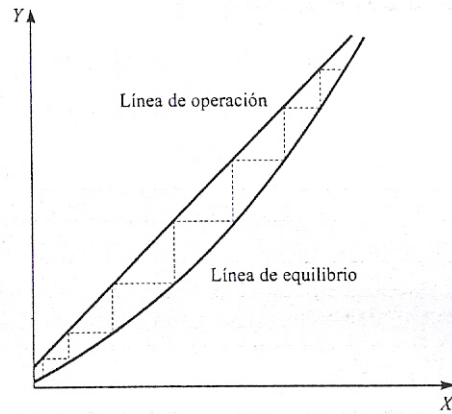
d) Número de etapas teóricas:

Se traza una escalera entre la recta de operación y la curva de equilibrio (Figura 3):

$$\text{N.P.T.} = 7,0$$

e) Altura equivalente a una etapa teórica:

$$\text{A.E.P.T.} = \frac{h}{\text{N.P.T.}} = \frac{2,35}{7,0} = 0,34 \text{ m}$$



**Figura 3.** Representación gráfica en diagrama Y-X de las líneas de operación, de equilibrio y de la escalera que nos da el número de etapas teóricas.