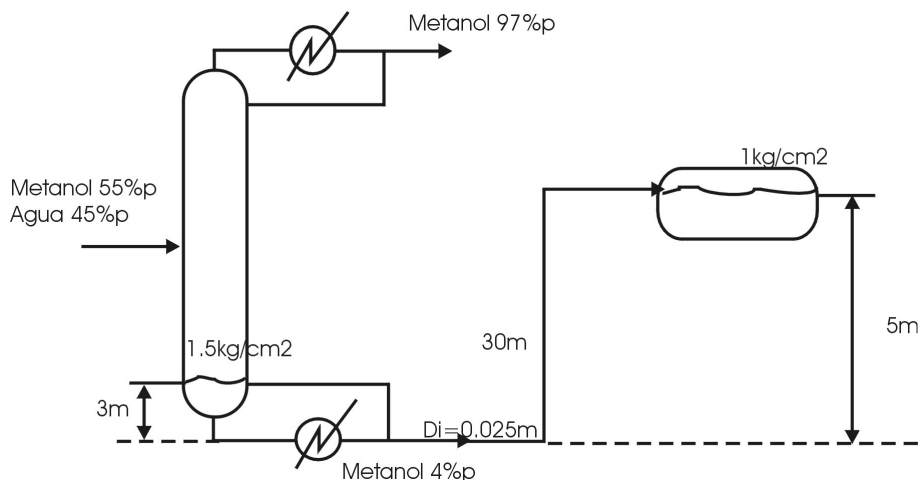


Se quiere separar una mezcla de metanol-agua para lo que se emplea una columna de destilación. La alimentación a la columna está compuesta por metanol en un 55 %p y por agua en un 45 %p. La corriente tiene una caudal de 8000kg/h y entra como líquido en su punto de ebullición. El reflujo interno (L/V) de operación de la columna se establece en 0.68. Si se quiere obtener una composición en la cabeza de un 97 %p de metanol y un 4 %p de metanol en el fondo calcular:

- El número de etapas teóricas necesarias. (2.5 puntos)
- El reflujo mínimo de la columna. (2 puntos)
- ¿En que condiciones (subenfriado, parcialmente vaporizado , sobrecalentado...) debería entrar la alimentación para que el número de platos de la zona de rectificación sea de 4.? (2puntos)

Si el nivel de los fondos de la columna están en una cota de 3m y la presión en el fondo de la misma es de 1,5kg/cm² calcular si sería necesario emplear una bomba para llevar la salida del fondo de la columna a un depósito a presión atmosférica (1kg/cm²) situado a una altura de 5m y a una distancia equivalente de 30m. (3.5 puntos)

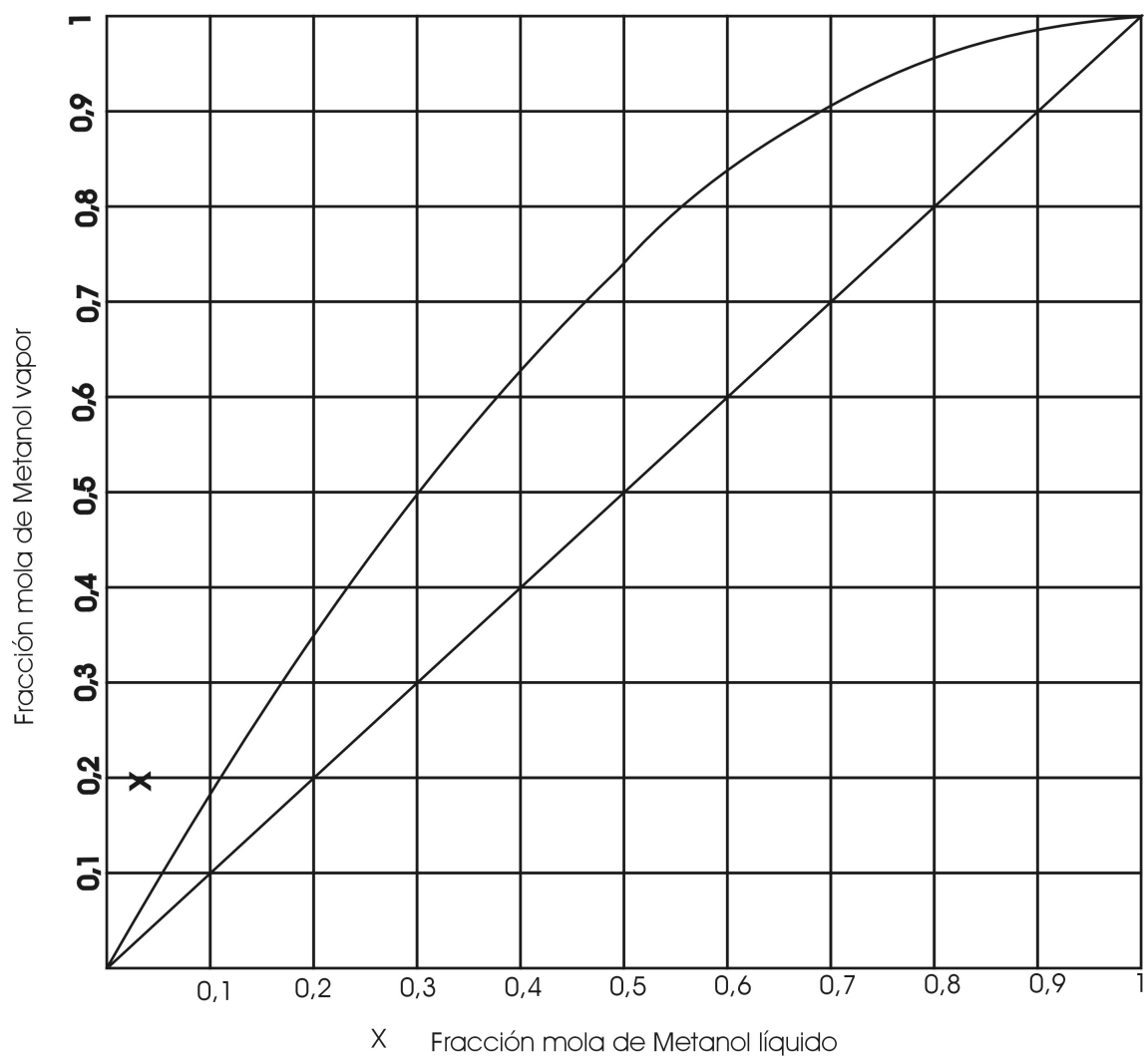


Datos: Diagrama de equilibrio y-x del metanol-agua. Densidad de los fondos(0.9kg/l), factor de fricción(0.021), diámetro interno de la tubería (0.025m). Peso Molecular metanol 32kg/kmol, agua 18kg/kmol.

Puntuación total del problema 10puntos.

Duración del ejercicio 1h.

DIAGRAMA EQUILIBRIO Y-X METANOL-AGUA



Solución

La alimentación es de 8000kg/h con un 55 %p de metanol y el resto de agua. Composición inicial:

Metanol: $0.55 \cdot 8000 = 4400 \text{ kg/h}$

Agua: $0.45 \cdot 8000 = 3600 \text{ kg/h}$

La alimentación en moles queda:

Metanol: $4400 \text{ kg/h} / 32 \text{ kg/kmol} = 137.5 \text{ kmol/h}$

Agua: $3600 \text{ kg/h} / 18 \text{ kg/kmol} = 200 \text{ kmol/h}$

Total: 337.5 kmol/h y en porcentajes molares:

Metanol: $137.5 / 337.5 = 0.407$

Agua: $200 / 337.5 = 0.593$.

Haciendo balance global y al metanol a la columna obtenemos los caudales de destilado (D) y fondos(B).

$F = B + D$, $8000 = B + D$

$F x_{F,\text{met}} = B x_{B,\text{met}} + D x_{D,\text{met}}$, $8000 \cdot 0.55 = 0.04B + 0.97D$

Resolviendo se obtiene $B = 3613 \text{ kg/h}$ y $D = 4387 \text{ kg/h}$.

Ahora pasamos los porcentajes en peso de destilado y fondos a porcentajes molares.

Composición inicial destilado:

Metanol: $0.97 \cdot 4387 = 4255.4 \text{ kg/h}$

Agua: $0.03 \cdot 4387 = 131.6 \text{ kg/h}$

El destilado en moles queda:

Metanol: $4255.4 \text{ kg/h} / 32 \text{ kg/kmol} = 133 \text{ kmol/h}$

Agua: $131.6 \text{ kg/h} / 18 \text{ kg/kmol} = 7.3 \text{ kmol/h}$

Total: 140.3 kmol/h y en porcentajes molares:

Metanol: $133 / 140.3 = 0.95$

Agua: $7.3 / 140.3 = 0.05$

Composición inicial fondos:

Metanol: $0.04 \cdot 3613 = 144.5 \text{ kg/h}$

Agua: $0.96 \cdot 3613 = 3468.5 \text{ kg/h}$

El destilado en moles queda:

Metanol: $144.5 \text{ kg/h} / 32 \text{ kg/kmol} = 4.5 \text{ kmol/h}$

Agua: $3468.5 \text{ kg/h} / 18 \text{ kg/kmol} = 192.7 \text{ kmol/h}$

Total: 197.2 kmol/h y en porcentajes molares:

Metanol: $4.5 / 197.2 = 0.02$

Agua: $192.7 / 197.2 = 0.98$

Nos dan el reflujo interno que es la relación entre el vapor que abandona la columna por cabeza y el líquido que se reintroduce en la misma. Como necesitamos el reflujo externo para obtener la recta de rectificación y éste es la relación líquido frente a destilado producido hallamos la relación entre ambos.

$$V=L+D; R_D = \frac{L}{D} = \frac{L}{V-L} =$$

$$\text{dividiendo por } L \quad \frac{1}{V/L-1} = \frac{1}{1/R_i-1} = \frac{R_i}{1-R_i}$$

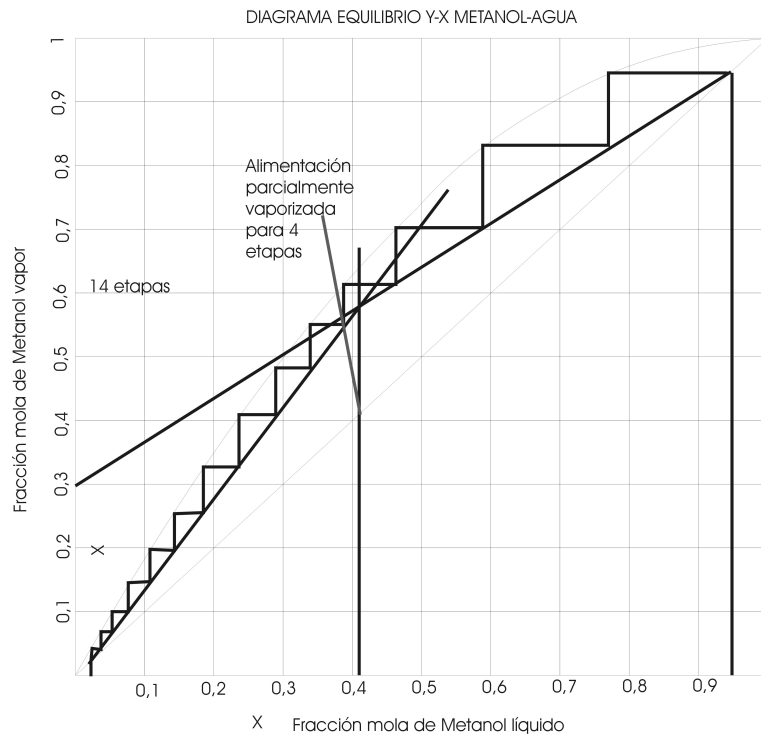
$$\text{Luego } R_D = 0,68/(1 - 0,68) = 2,12$$

La recta de alimentación pasa por el punto x_f, x_f y tiene pendiente vertical al ser líquido en su punto de ebullición ($L/V=L/0=\text{infinito}$ la pendiente).

La recta de rectificación pasa por el punto x_d, x_d y se une con el punto $0, x_d/R_D+1$, que en este caso es $0,0.95/(2.12+1)$

La recta de agotamiento pasa por el punto x_b, x_b y se une con la intersección de las dos rectas anteriores.

La siguiente figura muestra el cálculo del número de platos y representa la recta de reflujo mínimo que corta al eje de ordenadas en 0.39 lo que implica que $x_d/(R_{\min}+1)=0.39$ luego $R_{\min}=1.43$.



La figura representa también la recta para obtener 4 platos exactos en la zona de rectificación. La alimentación debería de entrar parcialmente vaporizada para obtenerlo y con la pendiente representada.

El teorema de Bernouilli se aplica entre el nivel de fondos de la columna y la superficie del nivel del líquido en el depósito.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + lw$$

Donde lw es la pérdida de carga : $\frac{fL_{eq}v^2}{2gD}$

Las velocidades de los dos puntos se pueden despreciar y considerar 0 al ser grandes superficies que se supone mantienen el nivel constante.

Cálculo de la pérdida de carga, para ello hay que calcular la velocidad del fluido que circula por la tubería, el caudal másico lo conocemos y con la densidad tenemos el caudal volumétrico:

$$Q = 3613 \text{ kg/h} \cdot 1 / 900 \text{ kg/m}^3 = 4.02 \text{ m}^3/\text{h}$$

Como $Q = v \cdot \text{Area}$, tenemos que la velocidad será:

$$v = \frac{Q}{\pi D^2/4} = \frac{4.02}{\pi 0.025^2/4} = 8189.48 \text{ m/h}$$

Que equivalen a $8189.48 / 3600 = 2.27 \text{ m/s}$

La conservación de energía queda por tanto:

$$\frac{1.5 \cdot 10^4}{0.9 \cdot 10^3} + 0 + 3 = \frac{1 \cdot 10^4}{0.9 \cdot 10^3} + 0 + 5 + \frac{0.021 \cdot 30 \cdot 2.27^2}{2 \cdot 9.8 \cdot 0.025}$$

$16.7 + 3 < 11.1 + 5 + 6.6$; $19.7 < 22.7$ Dado que la energía en el punto 2 junto con la pérdida de carga para llegar hasta el es mayor que la disponible en el punto 1 necesitamos una bomba que aporte la diferencia.