

Calor latente del agua a 56,5 °C (330 K) = 2500 kJ/kg.

Luego:

$$H_V = 1111 [(0.001 \times 2500 + 0.99 \times 620) + (56,5 - 25) 2,2] = 786\,699 \text{ kJ/h}$$

32

Las entalpías de los productos del tope y del reflujo serán cero, ya que ellos están a la temperatura base. Ambos son líquidos, y el reflujo estará a la misma temperatura del producto.

De aquí

$$Q_C = H_V = 786\,699 \text{ kJ/kg. (218,5 kW)}$$

Q_B es determinado por un balance sobre el sistema total

Entrada = Salida

$$Q_B + H_F = Q_C + H_D + H_W$$

$$H_F = 1000 \times 4,00 (35 - 25) = 40\,000 \text{ kJ/h}$$

$$H_W = 899 \times 4,2 (100 - 25) = 283\,185 \text{ kJ/h}$$

(El punto de ebullición de los productos es tomado como 100 °C)

de aquí:

$$\begin{aligned} Q_B &= Q_C + H_D + H_W - H_F \\ &= 786\,699 + 283\,185 + 0 - 40\,000 \\ &= 1029\,884 \text{ kJ/h (286,1 kW)} \end{aligned}$$

Q_B es suministrado por el vapor condensando

Calor latente del vapor = 2730 kJ/kg. a 275,8 kN/m²

$$\text{Vapor requerido} = \frac{1029884}{2730} = 377.25 \text{ kg./h}$$

Q_C es removido por el agua de enfriamiento con un incremento en su temperatura de 30 °C

$$Q_B = \text{flujo de agua} \times 30 \times 4,2$$

$$\text{Flujo de agua} = \frac{786\ 699}{4,2 \times 30} = \mathbf{6\ 244\ kg./h}$$

Operaciones unitarias

Cualquier proceso de fabricación en la industria química se puede resumir mediante la secuencia general:

- Abastecimiento de materias primas.
- Operaciones físicas de acondicionamiento de las materias primas.
- Reacciones químicas.
- Operaciones físicas de separación de productos.
- Acondicionamiento y envasado de productos.

En 1915, el norteamericano Little definió operación unitaria como “cada una de aquellas operaciones básicas en las que se puede descomponer cualquier proceso químico”. A diferencia de los procesos químicos, que alcanzan un número incalculable, el número de operaciones unitarias no es muy elevado (unas 25 ó 30) y al tratar un proceso como una secuencia de operaciones unitarias, se facilita su estudio.

Destilación de mezclas y componentes de las columnas

La destilación es un proceso de separación en el que se ponen en contacto una mezcla en fase líquida y una mezcla en fase vapor generada por ebullición del líquido, pero que no se encuentra inicialmente en equilibrio. A consecuencia de ello el vapor se condensa parcialmente y el líquido se vaporiza parcialmente, de forma que, tras el contacto entre ambas fases, el vapor se enriquece en el componente más volátil y el líquido en el menos volátil. Se utiliza para separar o purificar componentes de una mezcla líquida.

Dentro de los diferentes tipos de destilación el más utilizado en la industria química es la rectificación. En las columnas de rectificación se pone en contacto en contracorriente una fase líquida descendente con una fase vapor ascendente. El equipo consta básicamente de:

- Una columna cilíndrica en la que se mezclan las dos fases íntimamente para favorecer la transferencia de los componentes de una fase a otra, hasta llegar al equilibrio.
- Un hervidor en la base, que es donde se le suministra calor a la columna para que la mezcla a separar hierva ascendiendo el vapor por la columna.
- Un condensador en la parte superior de la columna, donde el vapor procedente de la columna se condensa, retirándose parte del líquido condensado como producto destilado, D, y devolviéndose otra parte a la columna como reflujo, L, para conseguir

una buena separación. La relación entre la cantidad de producto destilado y el reflujo se denomina relación de reflujo, R:

$$R = L/D$$

Esta relación de reflujo puede modificarse, con lo que variaría la composición y cantidad del destilado obtenido.

34

Destilación por lotes: También llamada destilación por cargas, es el proceso de separación de una cantidad específica (la carga) de una mezcla líquida en productos. Este proceso se utiliza ampliamente en laboratorios y en las unidades pequeñas de producción, donde la misma unidad puede tener que servir para muchas mezclas. Cuando existen n componentes en el material de alimentación, será suficiente una columna por lotes, donde se requerirían $n-1$ columnas de destilación continuas simples.

En una destilación por lotes típica, el líquido que va a procesarse se carga a un calderín caliente, sobre la cual se instala la columna de destilación equipada con su condensador. Una vez que se carga el líquido inicial ya no se suministra más alimentación. El líquido del calderín hierve y los vapores ascienden por la columna. Parte del líquido que sale del condensador, se refluja y el resto se extrae como producto destilado. No se extrae ningún producto del calderín sino hasta que se completa la corrida.

Debido a que el destilado que se obtiene es más rico en el componente volátil que el residuo del destilador, este se agotará en el componente más volátil a medida que progresa la destilación.

Muchas instalaciones grandes, también tienen un alambique por lotes. El material que se tiene que separar puede tener un contenido elevado de sólidos, o bien, alquitranes o resinas que ensucien o atasquen una unidad continua. El uso de una unidad por lotes puede mantener separados los sólidos y permitir el retiro conveniente al terminarse el proceso.

Cuando dos líquidos se ponen en contacto mutuo, tres tipos de sistemas binarios pueden ser observados experimentalmente según el grado de miscibilidad de los líquidos considerados:

- a) ambos líquidos son inmiscibles (Ej.: CS₂ y H₂O)
- b) ambos líquidos son parcialmente miscibles (Ej.: fenol y agua)
- c) ambos líquidos son miscibles en todas proporciones (Ej.: agua y etanol)

En el estudio de sistemas de líquidos miscibles, la ley de Raoult, la cual ha sido deducida a partir del comportamiento de las soluciones a bajas concentraciones, sirve de base para comprender el comportamiento que presentan estas mezclas.

3. Aspectos pedagógicos

PS – DA – 690 / DES

Esta ley establece que la presión de vapor de cada uno de los componentes de la mezcla binaria puede ser expresada como:

$$*p_A = x_A p_A^*$$

$$*p_B = x_B p_B^*$$

Donde:

* p_A y * p_B son las presiones de vapor de los componentes puros a la temperatura de trabajo; x_A y x_B son las fracciones molares de los componentes A y B en el líquido. (Emplearemos y_A e y_B para referirnos a las fracciones molares en la fase gaseosa).

Se define como solución ideal a aquella que se comporta según la ley de Raoult para cada uno de los componentes, en todo el rango de concentración. Los sistemas reales pueden presentar mayor o menor alejamiento del comportamiento ideal, según el grado de interacciones intermoleculares que existe en la fase líquida.

Equilibrio Líquido-Vapor

Es el fenómeno que ocurre con todo líquido cuando mantenido en sistema cerrado, el líquido tiende a entrar naturalmente en equilibrio termodinámico con su vapor. Cuando el sistema no es cerrado, ocurre lo que se llama evaporación.

Ese equilibrio termodinámico está relacionado con el movimiento relativo de las moléculas en relación a la película (interfaz) que divide la fase líquida y la fase vapor. A causa del efecto de la temperatura, las moléculas se mueven aleatoriamente unas en relación a las otras, y en las inmediaciones de la interfaz líquido-vapor no es diferente, de forma que a todo momento hay moléculas que atraviesan la interfaz, tanto yendo de la fase líquido en dirección a la fase vapor como del vapor al líquido. El equilibrio líquido-vapor ocurre cuando las tasas (es decir, la cantidad por unidad de tiempo) de las moléculas que atraviesan la interfaz en un sentido (del líquido al vapor) y en el otro (del vapor al líquido) se igualan.

Si el equilibrio líquido-vapor se refiere al equilibrio de una sustancia pura, se dice que la sustancia está saturada.

Imagine que, a causa de la dinámica molecular en la región comprendida entre las dos fases, ocurre la formación de una "nube" de vapor sobre el líquido. Esa "nube" es compuesta de las moléculas que se mueven en las cercanías de la interfaz líquido-vapor. Eventualmente, el movimiento de las moléculas las lleva a chocarse contra la interfaz líquido-vapor. Como efecto de las colisiones de las moléculas del vapor contra la interfaz, surge una presión sobre el líquido, que es llamada presión de vapor.

Volatilidad y destilación

La destilación es el proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes

aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En la evaporación y en el secado, normalmente el objetivo es obtener el componente menos volátil; el componente más volátil, casi siempre agua, se desecha. Sin embargo, la finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura.

Si la diferencia en volatilidad (y por tanto en punto de ebullición) entre los dos componentes es grande, puede realizarse fácilmente la separación completa en una destilación individual.

Si los puntos de ebullición de los componentes de una mezcla sólo difieren ligeramente, no se puede conseguir la separación total en una destilación individual. La única desventaja de la destilación fraccionada es que una gran fracción (más o menos la mitad) del destilado condensado debe volver a la parte superior de la torre y eventualmente debe hervirse otra vez, con lo cual hay que suministrar más calor. Por otra parte, el funcionamiento continuo permite grandes ahorros de calor, porque el destilado que sale puede ser utilizado para precalentar el material que entra.

Cuando la mezcla está formada por varios componentes, estos se extraen en distintos puntos a lo largo de la torre. Las torres de destilación industrial para petróleo tienen a menudo 100 placas, con al menos diez fracciones diferentes que son extraídas en los puntos adecuados. Se han utilizado torres de más de 500 placas para separar isótopos por destilación.

Reflujo

La influencia de la relación de reflujo utilizada durante el período de producción es la siguiente. Como se inicia con un proceso en estado estable se tiene un producto inicial con una calidad mayor a la requerida (concentración máxima que puede alcanzarse con este equipo de separación), entonces, una relación de reflujo menor permite alcanzar el producto con una concentración promedio deseada en un tiempo menor, pero también se obtiene una menor cantidad de producto y viceversa.

EFICIENCIA DE LA COLUMNA

La medida cuantitativa de la eficiencia es el número de platos teóricos n , el cual en términos de tiempos de retención es:

$$n = 5.54 (t_R/W_h)^2$$

W_h = anchura del peak a la altura media;

o el volumen de retención:

$$n = (V_R/\sigma)^2$$

mientras que el número de platos teóricos efectivos N, está en base del tiempo de retención corregido:

$$N = 16 ((t_R/W) - t_m)^2$$

37

w = anchura del peak.

Por otra parte, el número de platos efectivos N, está relacionado con el número de platos teóricos:

$$N = ((k/1) + k)^{2n}$$

obviamente el número de platos teóricos efectivos aumenta con la longitud de la columna, por lo tanto para comparar diferentes fases estacionarias es más conveniente considerar la altura del plato equivalente (HEPT) h, o la altura del plato equivalente efectivo H, los cuales están definidos por:

$$h = L/n$$

$$H = L/N$$

L = altura de la columna

Factores que Afectan la Eficiencia de una Columna

- ✓ Longitud de la Columna
- ✓ Diámetro de la Columna (1/4", 1/8", 1/16" de diámetro externo)
- ✓ Tamaño de las partículas del relleno
- ✓ Naturaleza de las fases
- ✓ Cantidad de fase estacionaria
- ✓ Temperatura de la columna
- ✓ Velocidad del gas portador
- ✓ Cantidad de muestra inyectada
- ✓ Material del cual está elaborada la columna
- ✓ Enrollado de la columna

Cálculo de la altura de la columna

La altura de la columna esta dada por la siguiente expresión en relación al coeficiente de transmisión de materia de la fase gas y la composición del gas (en esta fase podríamos usar las presiones parciales para el cálculo de N_{OG}):

38

$$Z = H_{OG} N_{OG}$$

$$H_{OG} = \frac{G_m}{K_G a P} \quad N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e}$$

También se puede expresar en función de los mismos parámetros de la fase líquida:

$$Z = H_{OL} N_{OL}$$

$$H_{OL} = \frac{L_m}{K_L a C_t} \quad N_{OL} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{x_e - x}$$

Donde:

G_m y L_m Flujo molar de gas o líquido por unidad de área de sección transversal a área interfacial por unidad de volumen

P presión total

C_t concentración molar total

y_1 y y_2 fracción molar del soluto en el gas en el fondo y en el tope de la columna respectivamente

x_1 y x_2 fracción molar del soluto en el liquido en el fondo y en el tope de la columna, respectivamente

x_e concentración del liquido en equilibrio con la concentración del gas en cualquier punto

y_e concentración del gas en equilibrio con la concentración del liquido en cualquier punto

Para el cálculo de H_{OG} y H_{OL} usamos las siguientes expresiones, ya que las constantes K_G y K_L deben ser determinadas experimentalmente para cada caso, y para cada tamaño de columna.

$$H_{OG} = H_G + m \frac{G_m}{L_m} H_L$$

$$H_{OL} = H_L + \frac{L_m}{mG_m} H_G$$

Donde:

m pendiente de la línea de equilibrio

G_m/L_m pendiente de la línea de operación

H_G y H_L alturas de las unidades de transferencia de película del gas y del líquido, respectivamente. Hay distintas fórmulas empíricas para el cálculo de estos parámetros, que a su vez dependen del tipo de empaque y del tamaño de éste. En este caso utilizamos las correlaciones Cornell para monturas Berl, pudiendo servir de estimativo para otro tipo de rellenos:

$$H_G = 0,011 \psi_h (Sc)_v^{0,5} \left(\frac{D_c}{0,305} \right)^{1,11} \left(\frac{Z}{3,05} \right)^{0,33} (L_w^* f_1 f_2 f_3)^{0,5}$$

$$H_L = 0,305 \phi_h (Sc)_L^{0,5} K_3 \left(\frac{Z}{3,05} \right)^{0,15}$$

H_G altura de unidad de transferencia de la fase gas, m

H_L altura de unidad de transferencia de la fase líquida, m

$(Sc)_v$ número de Schmidt del gas = $(m_v / r_v D_v)$

$(Sc)_L$ número de Schmidt del líquido = $(m_L / r_L D_L)$

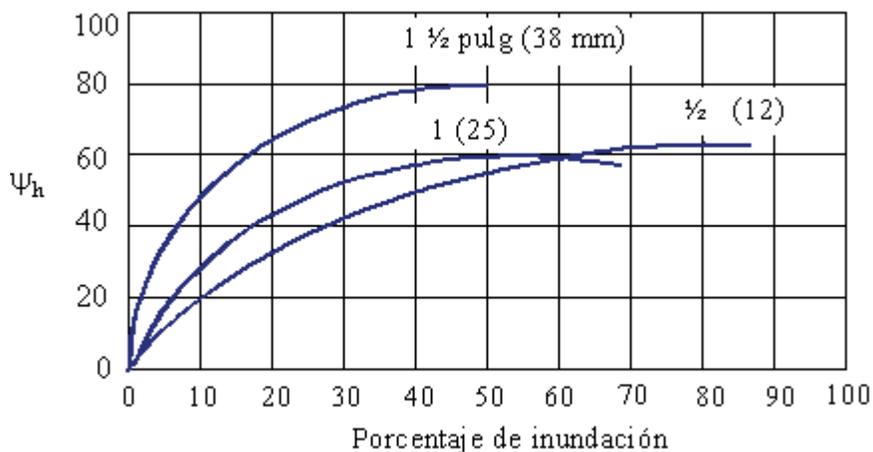
D_c diámetro de la columna, m

Z altura de la columna, m

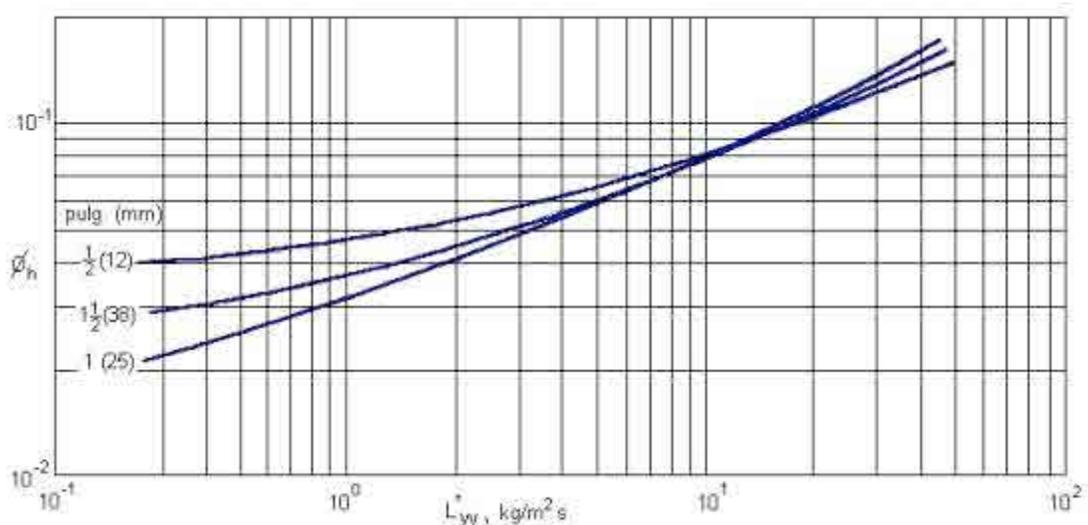
K_3 factor de corrección del porcentaje de inundación



Ψ_h factor de corrección para H_G



ϕ_h factor de corrección de H_L



L_w^* flujo de masa de liquido por unidad de área de sección transversal de la columna, $kg/m^2 s$

f_1 factor de corrección para la viscosidad del liquido = $(m_L / m_w)^{0.16}$

f_2 factor de corrección de la densidad del liquido = $(r_w / r_L)^{1.25}$

f_3 factor de corrección para la tensión superficial = $(s_w / s_L)^{0.8}$

$$\text{Porcentaje de inundación} = \left[\frac{K_G \text{ a la caída de presión de diseño}}{K_G \text{ al punto de inundación}} \right]$$

3. Aspectos pedagógicos

PS – DA – 690 / DES

La destilación es un método para separar los componentes de una solución; depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida, y se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases. En vez de introducir una nueva sustancia en la mezcla, con el fin de obtener la segunda fase (como se hace en la absorción o desorción de gases) la nueva fase se crea por evaporación o condensación a partir de la solución original.

41

La destilación se refiere a separar soluciones en que todos los componentes son apreciablemente volátiles. Mediante la manipulación adecuada de las fases, o mediante evaporaciones y condensaciones repetidas, es generalmente posible lograr una separación tan completa como se requiera y recobrar, en consecuencia, los dos componentes de la mezcla con la pureza deseada. En la destilación, la nueva fase difiere de la original por su contenido calorífico, pero el calor se incrementa o se elimina sin dificultad; por supuesto, debe considerarse inevitablemente el costo de aumentarlo o eliminarlo.

Al mismo tiempo, la destilación posee ciertas limitaciones como proceso de separación. El gas que puede crearse a partir de un líquido mediante la aplicación de calor, consta, inevitablemente, solo de los componentes que se encuentran en el líquido. Por lo tanto, ya que el gas es químicamente muy similar al líquido, el cambio de composición resultante por distribuir los componentes entre las dos fases generalmente no es muy grande. Es más, en algunos casos el cambio de composición es tan pequeño que el proceso no es práctico; más aún, puede suceder que no haya ningún cambio en la composición.

No obstante la separación directa que comúnmente es posible por destilación, en productos puros que no requieren procesamiento posterior, tal vez ha hecho de ésta la más importante de todas las operaciones de transferencia de masa.

Torres de platos

La columna consiste de varios platos en los cuales se lleva a cabo el contacto entre la fase líquida y vapor. El vapor es generado por medio de calentamiento del líquido de fondos que se compone básicamente de la sustancia menos volátil del sistema y por tanto está a la mayor temperatura de la torre, mientras que el líquido que va descendiendo a través de la torre desde el primer plato, el cual es más rico en el componente más volátil y está con la menor temperatura de la torre, es obtenido del condensado del vapor más ligero. La alimentación de la torre puede consistir desde líquido subenfriado hasta vapor sobrecalentado, lo cual modifica el número de platos necesarios para la separación deseada. La sección por encima del plato de alimentación se denomina sección de absorción, enriquecimiento o rectificadora; mientras que la que se encuentra debajo de éste se denomina como desorberdora, o de agotamiento. Estos términos se vuelven bastante indefinidos en columnas con alimentaciones múltiples y en aquellas en que se retira una corriente lateral de producto en algún punto a lo largo de la columna, además de las dos corrientes de productos de los extremos.

Otro factor importante que modifica las condiciones de operación de la torre es la razón de reflujo alimentado a la torre,

$$R = \frac{L_0}{D}$$

ya que un valor muy alto hace que el número de platos necesarios para la operación disminuye, aunque el diámetro de la misma aumenta; por lo tanto, para encontrar el arreglo óptimo de la torre se debe buscar la menor cantidad de platos y de reflujo al costo mínimo. El diseño de columnas de etapas múltiples se puede realizar por técnicas gráficas, cuando la mezcla de alimentación contiene sólo dos componentes. El diagrama de McCabe -Thiele utiliza sólo las relaciones de equilibrio y balances de materia, se acerca a lo riguroso sólo para los pocos sistemas en que los efectos de la energía, son mínimos. El diagrama de Entalpía - Concentración de Ponchon-Savarit utiliza un balance de energía riguroso cuando se dispone de suficientes datos calorimétricos para construir el diagrama sin suposiciones.

En los sistemas que contienen dos o tres componentes, el número de etapas ideales requeridas es necesario encontrarlo por medio de cálculos algebraicos.

Las torres de platos son cilindros verticales en los que un líquido y un vapor se ponen en contacto en forma de pasos sobre platos. El líquido entra en la parte superior de la torre y fluye en forma descendente por gravedad. El vapor pasa hacia arriba, a través de orificios en el plato; burbujea en el líquido para formar una espuma y pasa al plato superior. El efecto es un contacto múltiple a contracorriente entre el vapor y el líquido. Cada plato en la torre es una etapa al ponerse en contacto los fluidos, al realizar un cambio en la concentración de los componentes de cada fluido.

El número de platos teóricos en una columna sólo depende de lo complejo de la separación, que se va a utilizar y únicamente esta determinado por el balance de materia y las consideraciones de equilibrio. La eficiencia de la etapa se determina por el diseño mecánico utilizado y las condiciones de operación. Por otra parte, el diámetro de la columna depende de las cantidades de líquido y vapor que fluyen a través de la torre por unidad de tiempo. El número de platos utilizados en la torre será mayor al calculado teóricamente, y estos tienen eficiencias que varían entre el 40 al 90%, dependiendo de la hidrodinámica del equipo, características del sistema y condiciones de operación.

La determinación de las eficiencias de cada plato se puede realizar mediante distintos métodos. La eficiencia de Muphree EMG es muy conveniente para diagramas de McCabe-Thiele, para la fase vapor se define como:

$$E_{MG} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}}$$

en donde:

y_n^* es la composición de vapor que estaría en equilibrio con el líquido que sale de la etapa n ,

y_{n+1} y y_n son los valores reales para las corrientes de vapor en las etapas $n+1$ y n respectivamente.

43

Otro método para describir el funcionamiento de una torre de platos es mediante la eficiencia total de la columna:

$$E = \frac{\text{N mero de platos ideales requeridos}}{\text{N mero de platos reales requeridos}}$$

Estrictamente, esta eficiencia sólo tiene significado cuando la eficiencia de Murphree es la misma para todos los platos y cuando las líneas en el equilibrio y de operación son rectas en las concentraciones consideradas.

Método de McCabe-Thiele

Este método no requiere datos detallados de entalpía. Excepto cuando las pérdidas de calor o los calores de solución son extraordinariamente grandes, el método se adecua a la mayoría de los fines. Su adecuación depende de que, como aproximación, Las líneas de operación sobre el diagrama xy puedan considerarse rectas para cada sección de un fraccionador entre puntos de adición o eliminación de corrientes.

Sección de enriquecimiento

Considérese una sección del fraccionador totalmente debajo del punto de introducción de la mezcla de alimentación. El condensador elimina todo el calor latente del vapor principal, pero no enfría más el líquido resultante. Por lo tanto los productos de reflujo y destilado son líquidos en el punto de burbuja y $y_1 = y_D = x_0$. Los platos que se muestran son platos teóricos, de forma que la composición y_n del vapor del plato n -simo está en equilibrio con el líquido de composición x_n que sale del mismo plato. Por lo tanto, el punto (x_n, y_n) sobre coordenadas x, y , cae sobre la curva en el equilibrio.

Un balance total de materia para el entorno es:

$$G = L + D = D (R + 1)$$

Para el componente A,

$$G y_{n+1} = L x_n + D x_D$$

De donde la línea de operación de la sección de enriquecimiento es:

$$y_{n+1} = \frac{L}{G} x_n + \frac{D}{G} x_D$$

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

Esta es la ecuación de una línea recta sobre coordenadas x , y , de pendiente $L/G = R/(R+1)$ y con una y igual a $x_D/(R+1)$. Haciendo $x_n = x_D$ se tiene $y_{n+1} = x_D$, de manera que la línea pasa a través del punto $y = x = x_D$ sobre la diagonal de 45° . Este punto, junto con la y , permite construir fácilmente la línea. Se muestra la concentración de los líquidos y vapores para cada plato y se ve que la construcción usual de "escalera" entre la línea de operación y la curva en el equilibrio proporciona la variación teórica de la concentración del plato.

Al graficar la curva de equilibrio, generalmente se supone que la presión es constante en toda la torre. Si es necesario se puede permitir la variación de la presión de plato a plato después de determinar el número de platos reales, pero esto requiere de un procedimiento de prueba y error. Generalmente no es necesario, excepto para la operación a presiones muy bajas.

Sección de agotamiento

Ahora considérese una sección del fraccionador abajo del punto de introducción de la mezcla de alimentación, los platos son teóricos. Los flujos de L y G son constantes de plato a plato, pero no son necesariamente iguales a los valores en la sección de enriquecimiento. Un balance total de materia:

$$\bar{L} = \bar{G} + W$$

y para el componente A

$$\bar{L}x_m = \bar{G}y_{m+1} + Wx_w$$

Estas ecuaciones proporcionan la ecuación de la línea de operación de la sección de agotamiento,

$$y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{G}} x_m - \frac{W}{\bar{G}} x_w$$

$$y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{L} - W} x_m - \frac{W}{\bar{L} - W} x_w$$

Si el vapor rehervido y_w está en equilibrio con el residuo x_w , el primer escalón en la construcción de escalera representa el rehervidor.

Introducción de la mezcla de alimentación

La introducción de la mezcla de alimentación modifica al cambio en las pendientes de la línea de operación cuando se pasa de la sección de enriquecimiento a la de agotamiento del fraccionador.

La cantidad q es el calor necesario para convertir un mol de la mezcla de alimentación de su condición H_F hasta un vapor saturado, dividido entre el calor latente molal $H_G - H_L$. La mezcla de alimentación puede introducirse en cualquiera de las diferentes condiciones térmicas, desde un líquido por debajo de su punto de burbuja hasta un vapor sobrecalentado; para cada una de esas condiciones, el valor de q será diferente.

$$\frac{\bar{L} - L}{F} = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_L} = q$$

El lugar de intersección de las líneas de operación (la línea q), en una línea recta de pendiente $q/(q-1)$ y puesto que $y = z_F$ cuando $x = z_F$, pasa a través del punto $x = y = z_F$ sobre la diagonal a 45° .

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_F}{q-1}$$

Es claro que, para una condición dada de alimentación, el hecho de fijar la relación de reflujo en la parte superior de la columna establece automáticamente la relación líquido/vapor en la sección de agotamiento y la carga térmica del rehervidor.

Localización del plato de alimentación

La línea q es útil para simplificar la localización gráfica de la línea de agotamiento, pero el punto de intersección de las dos líneas de operación no establece necesariamente la delimitación entre las secciones de enriquecimiento y de agotamiento de la torre. Más bien, es la introducción de la mezcla de alimentación la que gobierna el cambio de una línea de operación a la otra y establece la delimitación; además, en el diseño de una nueva columna, por lo menos se tiene cierta amplitud en la introducción de la alimentación.



BIBLIOGRAFÍA

- ✓ TREYBAL. Robert E. Operaciones de Transferencia de Masa. Segunda edición. Editorial Mc Graw–Hill, México. 1988.
- ✓ Geankoplis, Ch. J., "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias", 3ª edición, 800-801. Editorial Continental, S. A de C. V. México, México (1999).

REFERENCIAS

Si se desea tener mayor información al respecto se recomienda consultar lo siguiente:

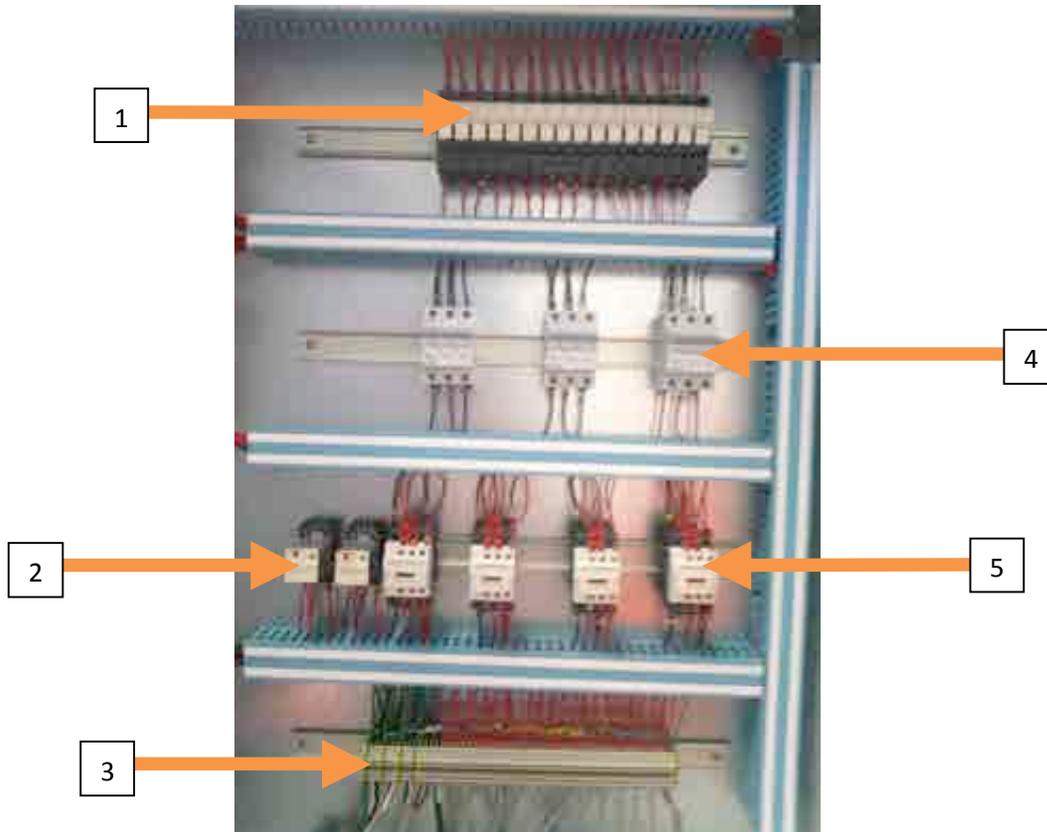
- ✓ Procesos de separación; King.
- ✓ Ingeniería de procesos de separación; Wankat.

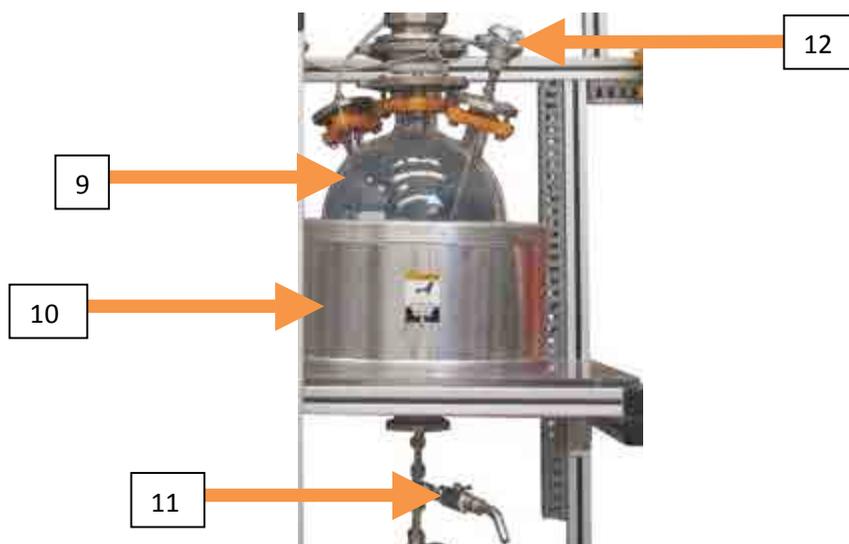
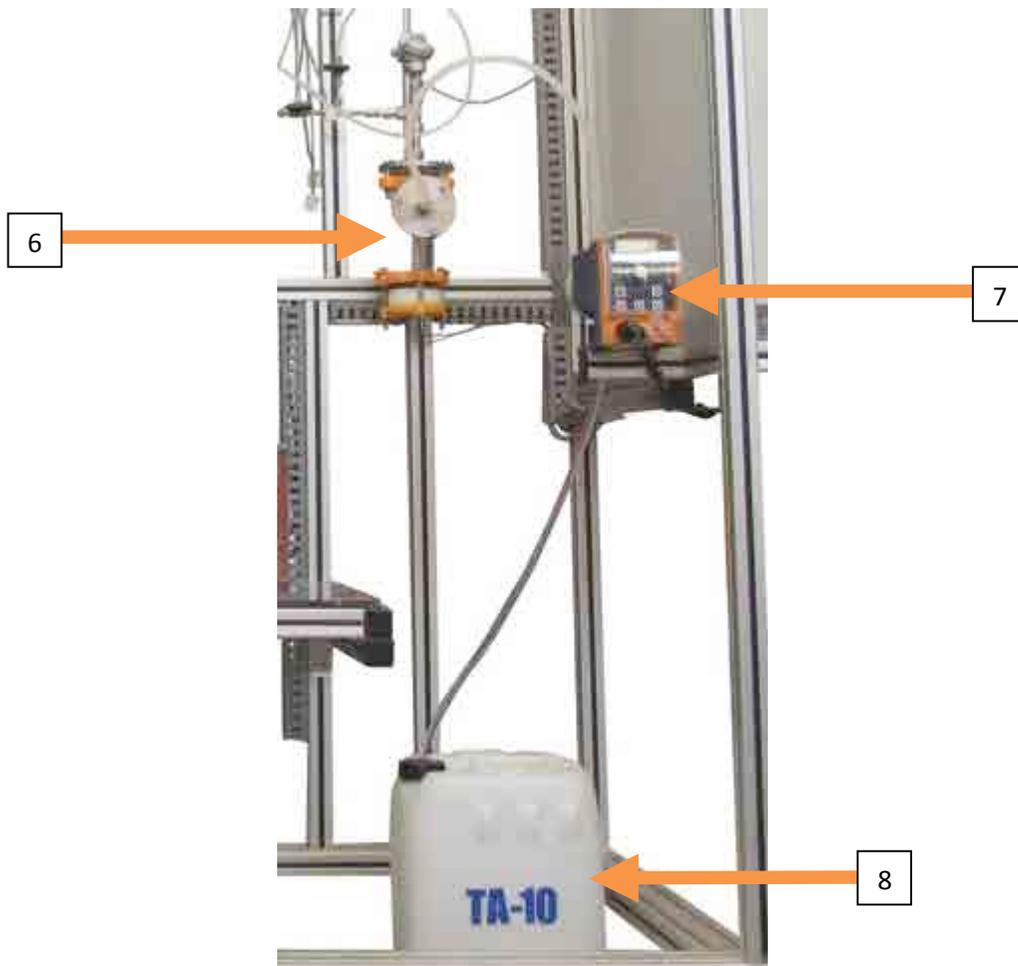
3.2 PRÁCTICAS PROPUESTAS

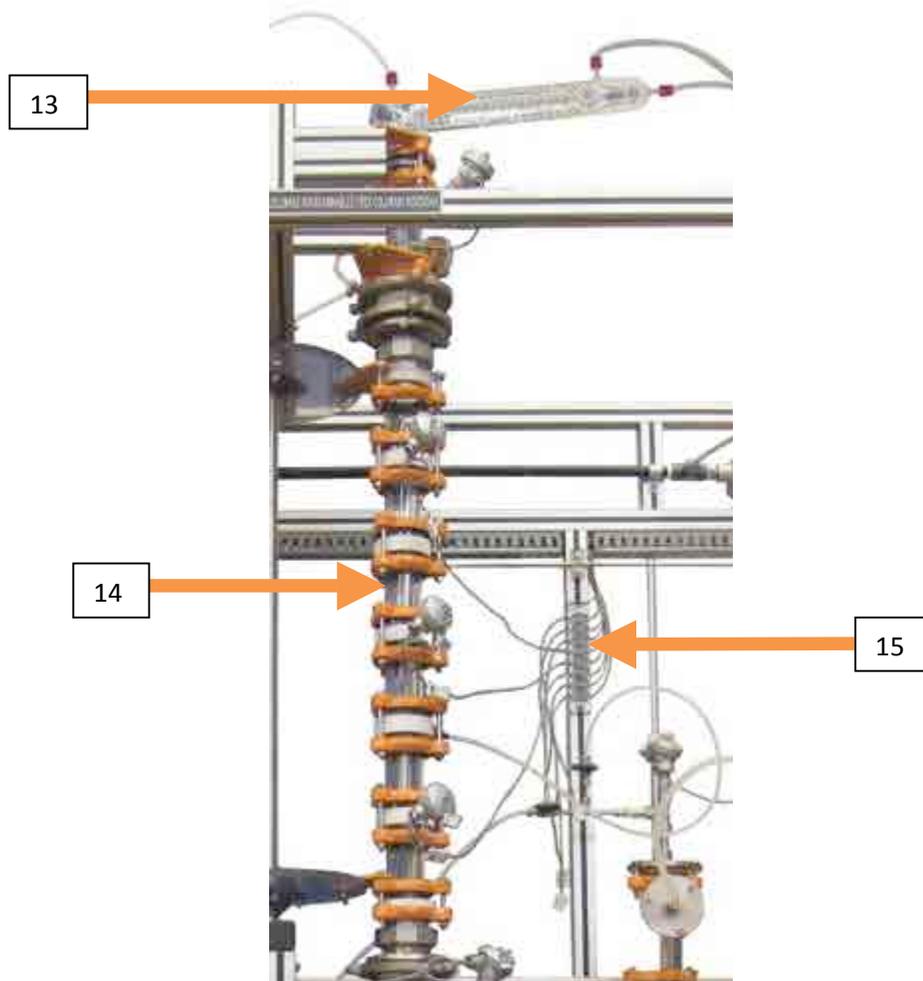
PRÁCTICA 1. Identificación de componentes

A continuación se presentan algunas fotos del equipo en donde se debe colocar el nombre del accesorio correspondiente.

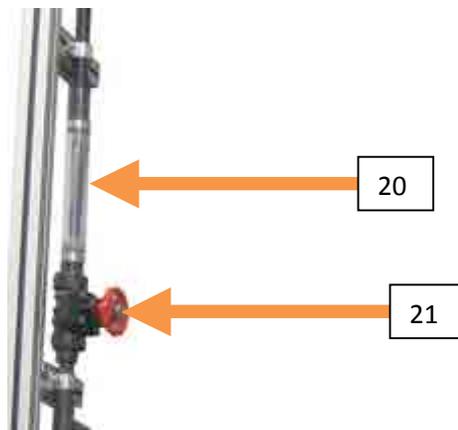
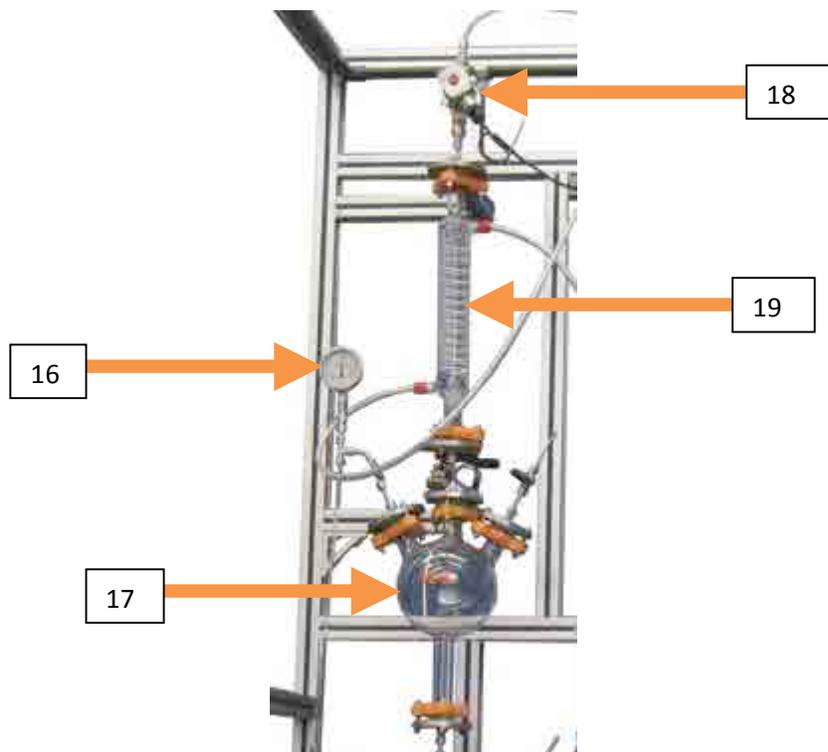
47







3. Aspectos pedagógicos





Número	Nombre del accesorio
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	

Cuestionario

- Listar los balances de materia y energía que puedan desarrollarse en el sistema.
- ¿Cuál es el principio de la destilación?
- Importancia de la presión de vapor y las ecuaciones fundamentales del equilibrio termodinámico.
- ¿Cuáles son las aplicaciones industriales más comunes? Relacionarlas con el sistema.

PRÁCTICA 2. Destilación de una mezcla binaria

Objetivo

Destilar una mezcla que contiene entre el 15 y 25 % de etanol en agua. La destilación se llevará a cabo en una columna de platos perforados.

Determinar la relación de reflujo L/D necesaria para recuperar en el destilado un producto con el 80% del etanol alimentado.

Parte experimental

Materiales y servicios auxiliares

- Energía eléctrica 110 VAC
- Agua de enfriamiento.
- Refractómetro.
- Gradilla.
- Tubos de ensaye para muestreo.
- Piceta.
- Cronómetro.
- Densímetro.

Sustancias

- Agua destilada.
- Etanol (grado industrial).

Nunca debe usarse como reactivo de experimentación acetato de etilo o reactivos que lo generen debido a que los elementos de teflón del equipo no resisten este compuesto.

Operación del equipo

1. Preparar una solución de etanol-agua entre el 15 y 25% en peso de etanol.
2. Asegurarse que antes de alimentar la solución al hervidor las válvulas de drenado y muestreo del equipo se encuentren cerradas.
3. Asegurarse que el equipo se encuentre debidamente conectado a 110 VAC.
4. Si el equipo está conectado y no hay corriente eléctrica en el gabinete de control asegurarse que el interruptor general esté en posición ON y el botón de

3. Aspectos pedagógicos

PS – DA – 690 / DES

- paro de emergencia liberado; de lo contrario dar media vuelta en el sentido de orientación de las flechas.
5. Alimentar la solución.
 6. Al terminar de alimentar la solución inicie el calentamiento presionando los botones de arranque de las resistencias y poniendo las perillas de control de calentamiento en posición baja y paulatinamente incrementar la intensidad de calentamiento.
 7. Es importante controlar la intensidad de calentamiento. Un calentamiento excesivo ocasionará una operación incorrecta en la columna disminuyendo su eficiencia.
 8. Esperar a que se generen vaporizaciones que asciendan por los platos y lleguen hasta el condensador para poder iniciar el reflujo.
 9. Se deben operar en estas condiciones hasta que se obtengan las primeras gotas de destilado.
 10. Una vez que el equipo se encuentre estable se deben tomar muestras en las distintas etapas de la columna para su posterior análisis.
 11. Para detener la experimentación es necesario bajar paulatinamente la intensidad de calentamiento hasta que la temperatura de la solución esté 10°C arriba de la temperatura ambiente. Después, colocar las perillas en posición OFF y presionar los botones de paro en el gabinete de control.
 12. Drenar los fondos de la columna y el destilado.

54

Datos experimentales

El alumno debe llenar las siguientes tablas durante la experimentación.

Datos del equipo

Equipo	Equipo para estudio de destilación de laboratorio
Columna	
Solución	

Relación de reflujo

Reflujo (L/D)

Condiciones de la mezcla

Condiciones iniciales		
Composición inicial % peso		%
I. R. Solución		
% peso		%
Densidad		g/cm ³
% peso		%

Flujos en la columna

Flujos		
Destilado		
Tiempo	Volumen	Flujo
(s)	(mL)	(L/h)

Tabla de temperaturas para la columna de platos

Temperaturas			
Medición	T. Hervidor	T. plato	T Reflujo
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Tabla para el condensador

Condensador		
Flujo	T. Entrada agua	T. Salida agua
(L/H)	(°C)	(°C)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

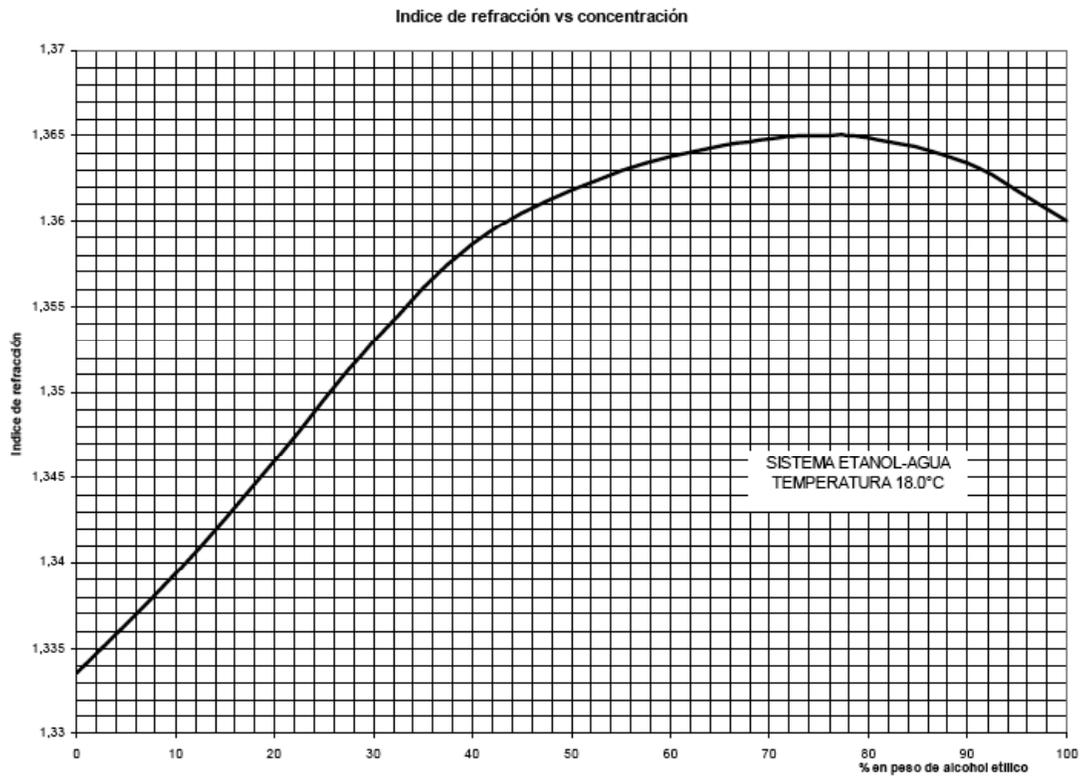
57

Cuestionario

1. ¿Cuáles son las condiciones de operación para trabajar la torre a reflujo total?
2. ¿En qué tiempo alcanza la columna el régimen permanente?
3. ¿Qué evidencias experimentales aseguran que la torre está operando a régimen permanente?
4. ¿Cuál es el flujo de alimentación (F), destilado (D) en unidades molares?
5. ¿Cuál es el flujo de reflujo en unidades molares?
6. ¿Cuál es la composición en fracción mol de la alimentación, destilado y fondos?
7. ¿Cuánto etanol del alimentado se recupera como destilado?
8. Calcular la relación de reflujo L/D
9. Representar los datos experimentales en un diagrama de Mc Cabe-Thiele y calcule el número de platos teóricos. Asignando una eficiencia de torre constante de 90%, explicar la variación de las recuperaciones obtenidas bajo distintas condiciones de reflujo L/D
10. ¿Cuál es la relación de reflujo L/D que recupera el 80% de etanol alimentado.

Anexos

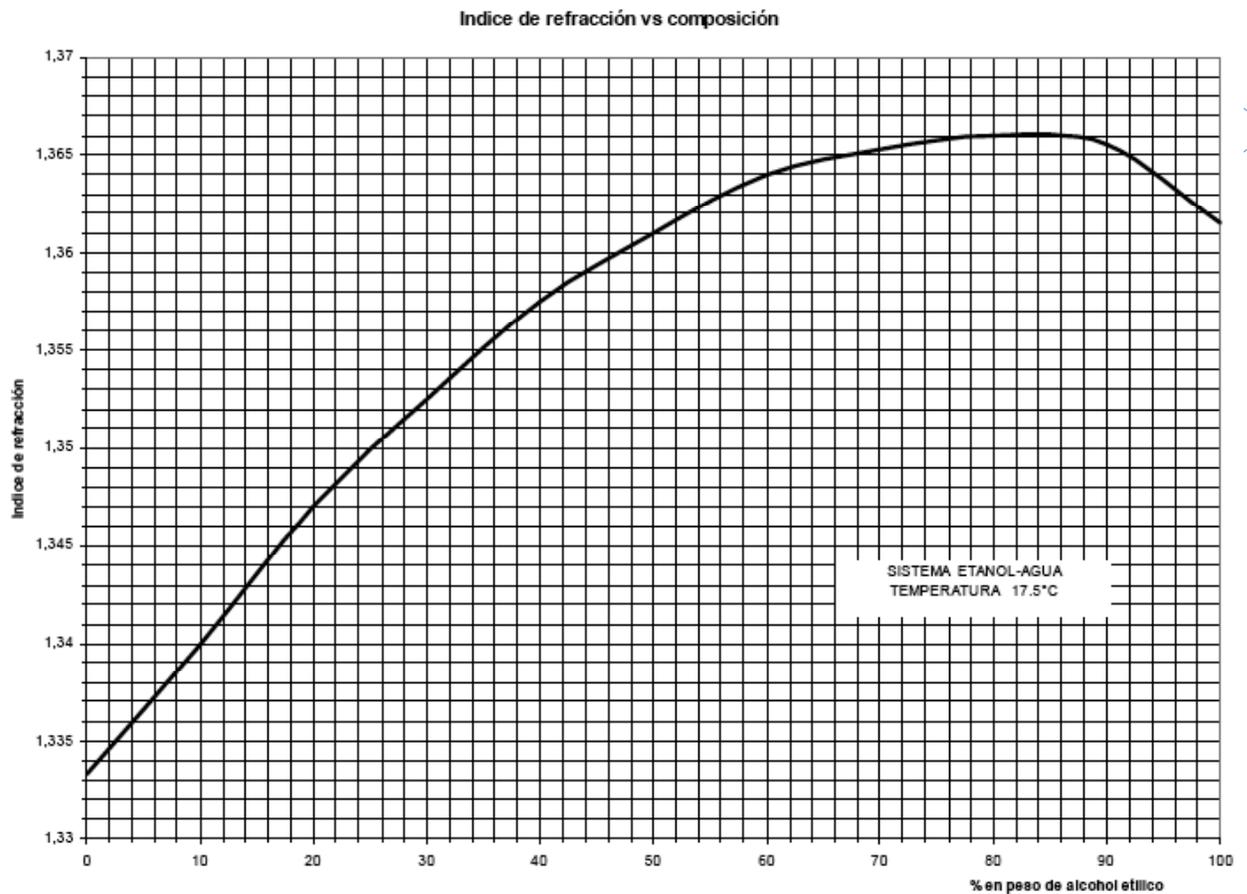
APÉNDICE DE DESTILACIÓN CONTÍNUA DE UNA MEZCLA BINARIA

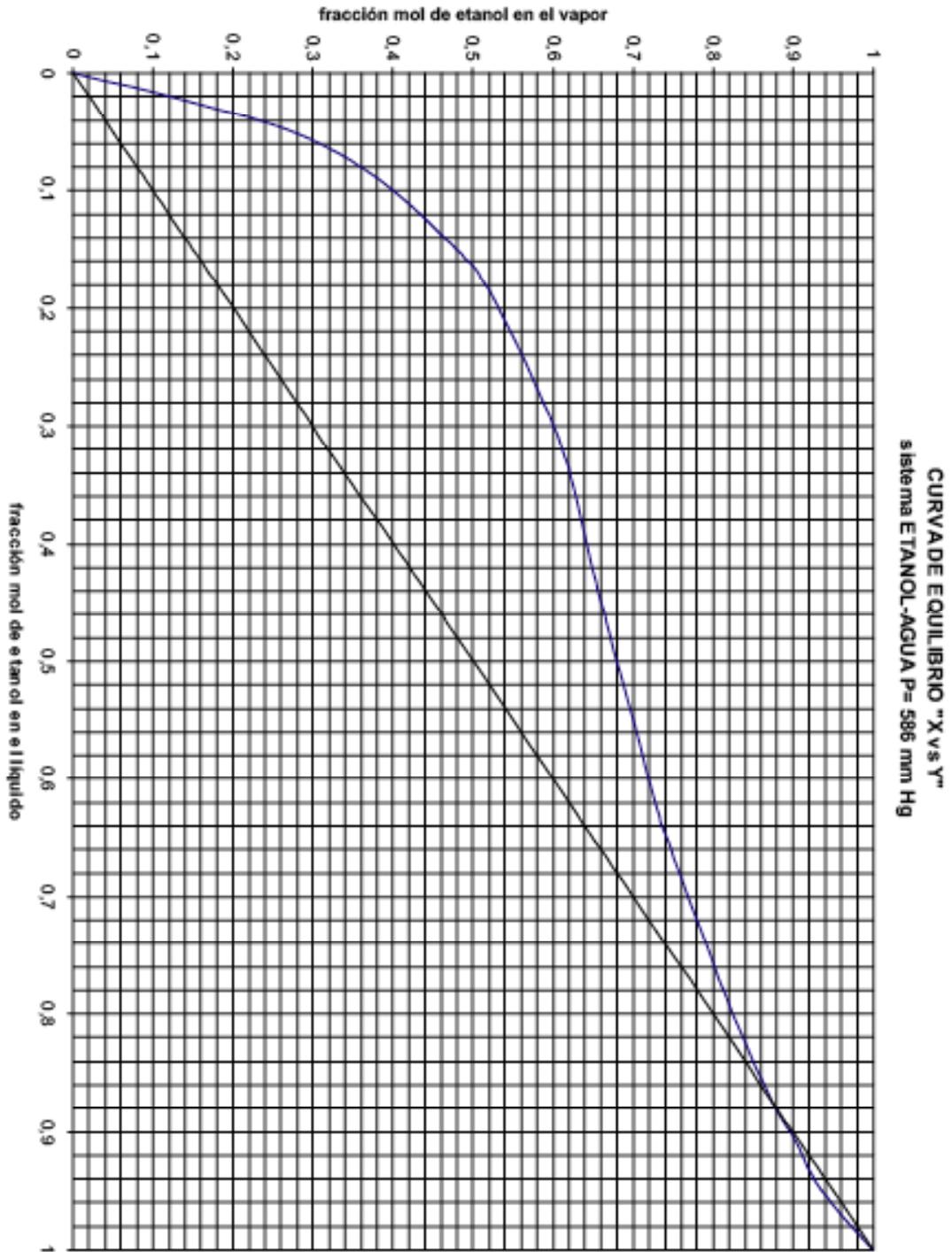


3. Aspectos pedagógicos



PS – DA – 690 / DES





PRÁCTICA 3. Concentración del producto

Objetivo

61

Concentración de producto a través de la destilación y reconocer la función de concentración de producto.

Procedimiento

- ✓ Preparar una mezcla de solución problema.
- ✓ La solución problema deberá ser de $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ -agua (etanol – agua) entre 45 y 50 % en peso. Puede realizarse también con concentraciones de 25 y 30 % en peso.
- ✓ Precalentar a 60°C .
- ✓ Programar distintos tiempos de reflujo.
- ✓ Tomar muestras en las diferentes etapas de la columna cada 5 minutos.
- ✓ Registrar las temperaturas de entrada y salida del agua de enfriamiento en el mismo intervalo de tiempo.
- ✓ Registrar el flujo del destilado.
- ✓ Muestrear la concentración del residuo y el destilado.
- ✓ Registrar la temperatura del balón y la columna.

Cuestionario

- ✓ ¿Cómo se pueden identificar las concentraciones en peso de la mezcla?
- ✓ ¿Qué es y cómo funciona un refractómetro?
- ✓ Investigar la curva de equilibrio Etanol-Agua.
- ✓ Investigar las propiedades físicas de los reactivos empleados.
- ✓ Realizar los balances de materia y energía pertinentes.

Práctica 4. Manipulación del reflujo

Objetivo

62

Obtener una concentración dada de producto en continuo manipulando el tiempo de reflujo.

Procedimiento

- ✓ Preparar una mezcla de solución problema.
- ✓ La solución problema deberá ser Etanol – Agua entre 15 y 25% en peso.
- ✓ Precalentar a 40°C.
- ✓ Variar los tiempos de reflujo.
- ✓ Alcanzar una concentración de 80% en la salida del destilado.
- ✓ Manejar la relación de reflujo para obtener un destilada de 80% de Etanol.
- ✓ Tomar muestras cada 2 minutos.
- ✓ Registrar las temperaturas de entrada y salida del agua de enfriamiento.
- ✓ Medir el flujo del destilado.
- ✓ Muestrear la concentración de residuo y destilado.
- ✓ Registrar la temperatura del balón y columna.

Cuestionario

- ✓ ¿Cuál es el tiempo de reflujo necesario para obtener 80% de destilado de producto?
- ✓ Investigar la curva de equilibrio del sistema Etanol-Agua.
- ✓ ¿Cómo se puede identificar la concentración en peso de la mezcla?
- ✓ Investigar las propiedades físicas de los reactivos empleados.
- ✓ Realizar los balances de materia y energía pertinentes.

4.1 GARANTÍA SOBRE NUESTRO PRODUCTO

GENERATORIS, S.A. DE C.V., GARANTIZA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO PS – DA – 690 / DES CON NÚMERO DE SERIE GEN-0412-246, POR EL PERÍODO DE UN AÑO A PARTIR DE LA FECHA DE ENTREGA, CUANDO SU UTILIZACIÓN SE HAYA AJUSTADO A LAS CONDICIONES DE USO Y MANTENIMIENTO ESTABLECIDAS EN EL MANUAL, CADUCANDO AUTOMÁTICAMENTE CUANDO SE COMPROBARA QUE EL EQUIPO HAYA SIDO MODIFICADO PARA FINES AJENOS A SU USO NORMAL.

63

GENERATORIS, S.A. DE C.V., COMO FABRICANTE DE LOS EQUIPOS, MANIFIESTA EL COMPROMISO DE REALIZAR LA CONSTRUCCIÓN, INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO MARCA GENERATORIS^{MR} O ENTROPIA HUMANA^{MR} DEL PRESENTE MANUAL, CON TODO LO NECESARIO PARA QUE LOS EQUIPOS QUEDEN CORRECTAMENTE INSTALADOS Y OPERANDO A SATISFACCION DE EL CLIENTE.

GENERATORIS S.A. DE C.V. COMO FABRICANTE DE LOS EQUIPOS GARANTIZA EL SUMINISTRO DE PARTES Y REFACCIONES NECESARIAS PARA LOS EQUIPOS OFERTADOS EN LA LICITACION DE LA MARCA REGISTRADA GENERATORIS^{MR} O ENTROPIA HUMANA^{MR} Y QUE ESTAS SE ENCONTRARAN EN EL MERCADO NACIONAL POR UN PERIODO MINIMO DE 5 (CINCO) AÑOS.

GENERATORIS, S.A. DE C.V., COMO FABRICANTE DE LOS EQUIPOS, MANIFIESTA EL COMPROMISO DE REALIZAR UN CURSO DE CAPACITACION PARA EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS MARCA GENERATORIS^{MR} O ENTROPIA HUMANA^{MR} DE MANERA GRATUITA EL PRIMER AÑO DE FUNCIONAMIENTO.

GENERATORIS, S.A. DE C.V., COMO FABRICANTE DE LOS EQUIPOS, GARANTIZA EL FUNCIONAMIENTO DE TODAS LAS PIEZAS Y VICIOS OCULTOS DE LOS EQUIPOS MARCA GENERATORIS^{MR} O ENTROPIA HUMANA^{MR} DE MANERA GRATUITA EL PRIMER AÑO DE FUNCIONAMIENTO.

LOS TÉRMINOS DE LA GARANTÍA NO SIGNIFICA QUE DESPUÉS DEL PLAZO GARANTIZADO EL EQUIPO SUFRA DETERIOROS CONSIDERABLES.

LA PRESENTE GARANTÍA ES VÁLIDA EXCLUSIVAMENTE PARA EL PROPIETARIO.

Ing. Gorostiza Esteva Eduardo Manuel

4.2 ACTUALIZACIÓN

Este equipo está diseñado para poder desarrollar un mejor trabajo experimental, es decir, su construcción conlleva a realizar con facilidad ciertas implementaciones; a continuación se enlistan algunas de ellas que pueden ser pertinentes:

64

- ✓ Adaptar una bomba centrífuga para alimentar el agua de enfriamiento al sistema.
- ✓ Adquirir una torre de enfriamiento para evitar que el agua de enfriamiento se vaya al drenaje y así poderla recircular a los condensadores.

Generatoris está a su servicio, pregunte por nuestros precios y solicite la cotización.



Generatoris S. A. de C. V.

La Fama 27 – A

Col. La Fama

Delegación Tlalpan

(01 – 55) 54861742

serviciocliente@generatoris

www.generatoris.com