

GUIA DESTILACIÓN CONTINUA

ELABORADA POR

**ANDREA MARCELA ARIAS
ANGELA TATIANA LUENGAS
DIANA ROMERO
ALEJANDRA MUÑOZ
ANDREA GONZALEZ
CAMILO ANDRÉS CRUZ
EDWIN RODOLFO MATEUS
HÉCTOR FABIO LOZANO
ALEJANDRO ANTOLINES
MARCELO GUANCHA**

**Profesor
Ing. MILTON FORERO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS III
BOGOTA
2003**

1. OBJETIVOS

Objetivo General

- Dar a conocer el equipo de destilación continua ubicado en el Laboratorio de Ingeniería Química (LIQ), presentando cada una de sus partes y la forma de ponerlo en marcha a la hora de realizar una práctica en él.

Objetivos Específicos

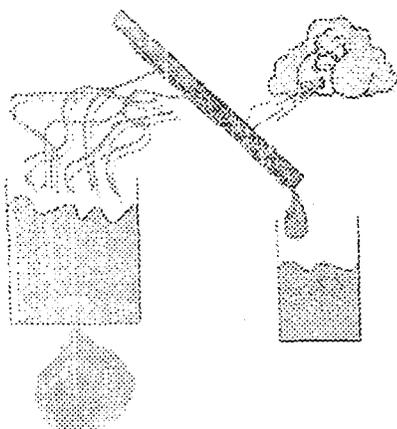
- Familiarizarse con el equipo utilizado para realizar la destilación continua, comprendiendo el funcionamiento de las diferentes partes que lo conforman.
- Dar una idea de las bases teóricas que se pueden aplicar en el desarrollo de la práctica, presentando un breve marco teórico y sugiriendo bibliografía.

2. MARCO TEÓRICO

La destilación, Reina en separaciones, se mantendrá como el "caballo de trabajo" de los procedimientos de separación en las industrias de proceso. A pesar de que es antigua en su arte, con una base tecnológica relativamente madura, atrae la investigación y el interés profesional. Sin ninguna duda, la destilación navegará hacia el futuro con cielos abiertos y un viento fuerte. Seguirá siendo el método clave de separación contra el cual los métodos alternativos de separación deben ser juzgados.

Dr. James H. Fair, 1990

Frecuentemente el ingeniero químico se encuentra con mezclas complejas de sustancias. Algunos de los componentes de estas mezclas son valiosos mientras que otros no lo son, e incluso pueden llegar a ser peligrosos. El problema consiste en separar "los buenos de los malos" sin invertir muchos recursos en ello. Dentro de la gama de técnicas de separación de que dispone el ingeniero químico, la destilación es la más comúnmente utilizada en la industria, esencialmente por dos razones: es *medianamente económica*, y *permite obtener productos de alta pureza*.

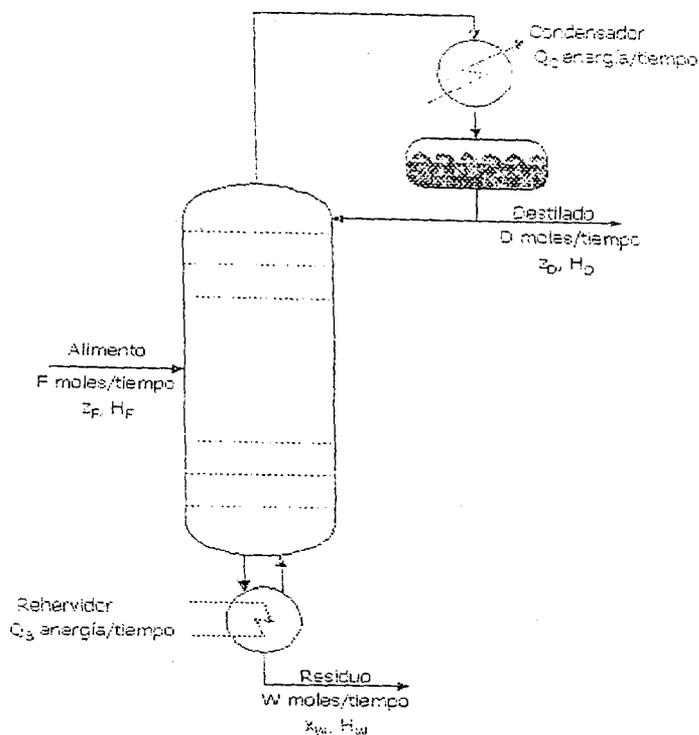


El término *rectificación continua* o *fraccionamiento* se refiere a la operación de destilación continua de múltiple etapa con reflujo, diseñada con el fin de obtener productos de mayor pureza que los conseguidos en una operación continua de etapa simple.

La destilación se basa en el hecho de que el vapor de una mezcla en ebullición será más rico en los componentes que tienen puntos de ebullición más bajos. Por lo tanto, cuando este vapor es enfriado y condensado, éste último contendrá mayor cantidad de

los componentes volátiles. Al mismo tiempo en la mezcla original estará presente una mayor cantidad de los componentes menos volátiles.

La destilación puede ser llevada a cabo de dos maneras, una es basada en la producción de vapor de la mezcla líquida y condensación de estos vapores sin el retorno de líquido al destilador, a esto se le llama destilación *flash*. La otra manera se basa en el retorno de una parte del condensado al destilador bajo tales condiciones que el líquido que retorna se pone en íntimo contacto con los vapores ascendentes hacia el condensador, se dice entonces que se opera con reflujo. Cuando se realiza la destilación con reflujo de modo continuo se dice que se lleva a cabo una *rectificación*.



La rectificación implica el uso de una columna, condensador de vapor y un calderín para el suministro de la energía necesaria para generar vapor de la mezcla alimentada. El alimento se introduce por el calderín, pues el producto de fondo no tendría buen grado de pureza por no estar sujeto a rectificación, por esto el alimento se introduce en la parte central de la columna, así el alimento líquido desciende por gravedad dentro de la columna hasta el calderín y es rectificado por los vapores que ascienden desde allí. La rectificación en la parte inferior de la columna es llamada *despojamiento*, pues el líquido que llega al calderín es despojado del compuesto más volátil, haciendo que el compuesto menos volátil sea más puro en el fondo. El plato donde el alimento se introduce es llamado *plato de alimentación*. todos los platos bajo el, incluido él mismo, forman la *zona de despojamiento*, en tanto que los platos superiores al plato de alimentación conforman la *zona de rectificación*.

El vapor formado en el calderín asciende por toda la columna en cuyo extremo superior se halla el condensador, donde el vapor se condensa completamente. Una parte de este condensado se hace retornar a la columna y la otra se saca como producto destilado. El condensado que retorna a la columna se denomina reflujo, este provee el flujo descendente

del líquido a la zona de rectificación que entra en contacto con el vapor ascendente. Sin reflujo la rectificación no ocurre y el producto de cima no tendrá una concentración superior a la del vapor que asciende desde el plato de alimentación. El reflujo desciende la columna por gravedad.

Rectificación en un plato ideal.

Considérese un plato en una columna de platos ideales en la posición n desde la cima. Entonces el plato inmediatamente superior se denomina $n-1$ y el plato inmediatamente inferior se denomina $n+1$. Dos corrientes entran al plato n , una corriente líquida L_{n-1} desde el plato $n-1$ y una corriente de vapor G_{n-1} se ponen en íntimo contacto; y otras dos corrientes salen de él, una de vapor G_n se asciende al plato $n-1$ y otra líquida L_n desciende al plato $n+1$.

Por tratarse de un plato ideal, las corrientes que de él salen se dice que están en equilibrio, de manera que x_n y y_n representan concentraciones de equilibrio para la fase líquida y la fase vapor respectivamente. Teniendo en cuenta que la concentración del compuesto más volátil aumenta con la altura de la columna, x_{n-1} es mayor que x_n , al igual que y_n es mayor que y_{n-1} . Y aunque las corrientes que salen del plato se encuentran en equilibrio, aquellas que entran no lo están. Así, cuando las corrientes x_{n-1} y y_{n-1} entran en contacto sus concentraciones varían de tal forma que se alcanzan las concentraciones de equilibrio x_n y y_n . Una parte del compuesto más volátil, A, se vaporiza decreciendo su concentración en la corriente líquida, a la vez que una parte del otro compuesto menos volátil, B, se condensa aumentando la concentración del compuesto más volátil en la corriente de vapor. Entonces, estando las corrientes líquidas en su punto de burbuja y las corrientes de vapor en su punto de rocío, el calor necesario para vaporizar A es suplido por el calor liberado en la condensación de B. Cada plato funciona como un intercambiador donde A es transferido a la fase vapor y B es transferido a la fase líquida. Y mientras la concentración de A aumenta con la altura de la columna, la temperatura decrece.

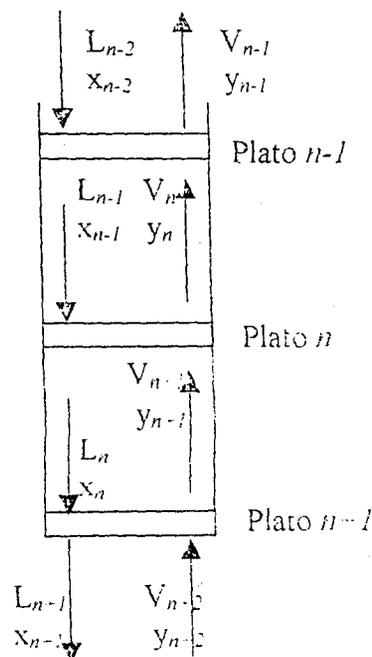


Diagrama de balance de materia para el plato n

La pureza de los productos depende de las relaciones L/G utilizadas y del número de etapas en cada sección de la torre. El área transversal de la torre depende de las cantidades de materia utilizadas.

Balances entálpicos totales

La relación de *reflujo externo* se define como Moles de reflujo / moles de destilado:

$$R = L_0 / D \quad (a)$$

Planteando un balance total alrededor del condensador, se tiene que:

$$G_1 = D + L_0 \quad (b) \quad G_1 = D + R \cdot D \quad (c) \quad G_1 = (R + 1) \cdot D \quad (d)$$

Ahora si se plantea un balance para el componente volátil:

$$G_1 \cdot y_1 = D \cdot z_D + L_0 \cdot x_0 \quad (e)$$

Si se plantea un balance de energía:

$$G_1 \cdot H_{G_1} = D \cdot H_D + L_0 \cdot H_{L_0} \quad (f)$$

$$Q_C = D \cdot (R + 1) H_{G_1} - R \cdot H_{L_0} - H_D \quad (g)$$

Haciendo el balance de entalpía en el calderín, entonces:

$$Q_B = D \cdot H_D + W \cdot H_W + Q_C + Q_L - F \cdot H_F \quad (h)$$

Donde, Q_L es la suma de todas las pérdidas.

Para desarrollar la relación entre el número de platos, las relaciones líquido-vapor y las composiciones del producto se puede recurrir a los métodos de Ponchon-Savarit y el de McCabe-Thiele.

PONCHON-SAVARIT

La sección de enriquecimiento

A esta sección corresponde el sistema comprendido por la parte superior de la torre, desde el primer plato hasta el plato inmediatamente anterior al de alimentación, y el condensador (figura 1), en donde el vapor que asciende se lava con el líquido para enriquecerse en el componente más volátil.

Se realizan los balances de masa y energía, suponiendo que las pérdidas de calor son despreciables, así:

$$G_{n+1} = D + L_n \quad (1)$$

$$G_{n+1} \cdot y_{n+1} = D \cdot z_D + L_n \cdot x_n \quad (2) \quad G_{n+1} \cdot y_{n+1} - L_n \cdot x_n = D \cdot z_D \quad (3)$$

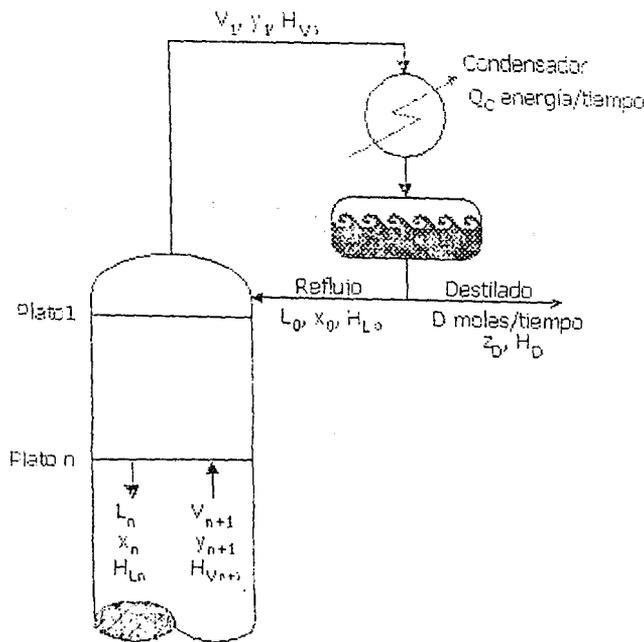
El lado izquierdo de la ecuación (3) representa la diferencia en el flujo de uno componentes, de arriba hacia abajo, o el flujo neto hacia arriba; el cual, dado el derecho de la ecuación, es constante, independiente del número de platos e igual al que se separa permanentemente en el extremo superior.

$$G_{n-1} \cdot H_{G_{n-1}} = L_n \cdot H_{L_n} + D \cdot H_D - Q_c \quad (4)$$

Llamando Q' al calor retirado en el condensador, y si todo el destilado se retira:

$$Q = \frac{Q_c + D \cdot H_D}{D} = \frac{Q_c}{D} + H_D$$

$$G_{n-1} \cdot H_{G_{n-1}} - L_n \cdot H_{L_n} = D \cdot Q'$$



De manera análoga al caso anterior de flujo de materia, el lado izquierdo de la ecuación (6) representa el flujo neto de calor hacia arriba, que es constante, independiente del número de platos e igual al que se separa permanentemente en el extremo superior con el destilado y el calor del condensador.

Eliminando D entre (1) y (2), y entre (1) y (6), se tiene:

$$\frac{L_n}{G_{n-1}} = \frac{z_D - y_{n+1}}{z_D - x_n} = \frac{Q' - H_{G_{n-1}}}{Q' - H_{L_n}}$$

Que es la ecuación de la recta, en el diagrama H vs z , que pasa por $(H_{G_{n-1}}, y_{n+1})$, en (H_{L_n}, x_n) en L_n y (Q', z_D) en ΔD , que es el *punto diferencia*, la cual es una corriente ficticia igual en cantidad a D y de propiedades (Q', z_D) . Así, se puede decir que:

$$\Delta D = G_{n-1} - L_n \quad (8)$$

En el diagrama xy , la recta pasa por (y_{n+1}, x_n) y $(x=y=z_D)$

Como el condensador es total, D y L_0 tienen las mismas coordenadas. Están situados debajo del punto de burbuja.

G_1 es el vapor saturado de la bandeja superior, cuando se halla totalmente condensado, tiene la misma composición de D y L_0 . El líquido L_1 se halla en equilibrio con G_1 .

Como la ecuación (7) se aplica a cada bandeja, G_2 puede ubicarse en la curva de vapor saturado por medio de una línea trazada entre L_1 y ΔD ; y como se sabe que L_2 y G_2 están en equilibrio, se ubica L_2 , etc.

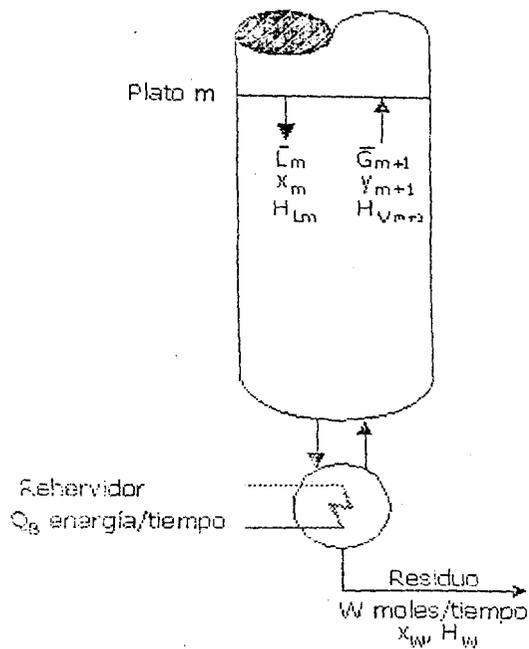
Las líneas de unión alternadas y la construcción de las que pasan por ΔD suministran la distribución de concentraciones a lo largo de la zona superior. Así, ΔD se utiliza hasta llegar a la bandeja de alimentación.

La relación de reflujo exterior se halla sustituyendo la ecuación (1) en (7), reordenando y aplicándola a la bandeja superior:

$$\frac{L_n}{D} = \frac{Q' - H_{G_{n-1}}}{H_{G_{n-1}} - H_{L_n}} = \frac{x_{\Delta D} - y_{n-1}}{y_{n-1} - x_n} \quad (9)$$

La sección de agotamiento

Esta sección corresponde al sistema conformado por la parte inferior de la torre, desde el último plato hasta el inmediatamente siguiente al de alimentación, y el rehervidor (figura 2), en donde el líquido que desciende se desorbe del componente más volátil por contacto con el vapor que se produce en el rehervidor.



Se vuelven a considerar los mismos factores que en el caso anterior. Así, se define también el *flujo neto descendente* ΔW , que es una corriente ficticia en cantidad igual al flujo neto de salida (W) y de propiedades (Q'' , x_w), teniendo que Q'' es el flujo neto calórico neto de salida en el extremo inferior por mol de residuo:

$$G_{m-1} + W = L_m \quad (10)$$

$$G_{m-1} \cdot y_{m-1} + W \cdot x_w = L_m \cdot x_m \quad (11)$$

$$L_m \cdot x_m - G_{m-1} \cdot y_{m-1} = W \cdot x_w \quad (12)$$

Teniendo estas ecuaciones y los balances de energía, se llegan a las mismas relaciones que se obtuvieron para la zona superior. Hay que recordar, que se consideró el calderín como una etapa ideal, ya que el vapor que sale de éste, está en equilibrio con el residuo.

McCABE-THIELE PARA TORRES DE VARIAS ETAPAS

Este método de cálculo, supone que:

- Las pérdidas de calor son despreciables
- Las líneas de operación en el diagrama xy son rectas para cada sección del fraccionador entre puntos de adición o eliminación de corrientes, basándose en el principio de flujo equimolar y vaporización ($L_n = L_r$ y $G_{n-1} = G_r$).

- Las líneas $H_G y$ y $H_L x$ en el diagrama Hxy , son rectas y paralelas
- Presión de operación constante.

Sección de enriquecimiento

En esta sección se considera que el condensador elimina todo el calor latente del vapor principal, pero no existe un subenfriamiento del condensado, por lo cual el reflujo y el destilado son líquidos en su punto de burbuja y $y_1 = y_D = x_D$. El análisis que se realiza es para platos teóricos donde el vapor que sale del n -ésimo plato se encuentra en equilibrio con el líquido que sale del mismo.

Un balance de materia en esta sección sería:

$$\begin{array}{l} \text{Global} \qquad \qquad \qquad G = D + L = D(1+R) \\ \text{Componente} \qquad \qquad \qquad Gy_{n-1} = Dx_D + Lx_n \end{array}$$

De donde la línea de operación de esta sección es:

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

Esta es una recta que pasa por el punto $y = x = x_D$ sobre la diagonal a 45° del diagrama Hxy .

Sección de agotamiento

El análisis se realiza nuevamente para platos teóricos, donde los flujos \bar{L} y \bar{G} son constantes en la sección, pero no necesariamente iguales a las corrientes de la sección de enriquecimiento.

Un balance de materia en esta sección sería:

$$\begin{array}{l} \text{Global} \qquad \qquad \qquad \bar{L} = \bar{G} + W \\ \text{Componente} \qquad \qquad \qquad \bar{L}x_m = \bar{G}y_{m-1} + Wx_w \end{array}$$

De donde la línea de operación de esta sección es:

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

La cual es una recta que pasa por el punto $y = x = x_w$ sobre la diagonal a 45° del diagrama Hxy .

Alimentación de la columna

Hay que tener en cuenta que la introducción de la mezcla de alimentación modifica el balance de materia y el cambio de las líneas de operación cuando pasa de la sección de enriquecimiento a la sección de agotamiento del fraccionador. Para esto se define a partir del balance en el plato de alimentación la *línea q* la cual determina el punto de encuentro entre la línea de operación correspondiente a la sección de despojamiento y la línea de enriquecimiento.

El calor necesario para convertir 1 mol de la mezcla de alimentación de su condición h_F hasta un vapor saturado, dividido entre el calor latente molal $H_G - h_L$, corresponde a la cantidad:

$$q = \frac{H_G - h_F}{H_G - h_L}$$

Donde

H_G : Entalpía del vapor saturado a la composición de entrada.

h_F : Entalpía del alimento a la composición de entrada.

h_L : Entalpía del líquido saturado a la composición de entrada.

Teniendo en cuenta el valor se q hallado, se puede evaluar la ecuación que define la *línea* q :

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

Donde X_F es la composición molar del alimento

3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

- Posibles Usos

Mostrar el diagrama de equilibrio señalando las líneas de operación y la del equilibrio.

Mostrar gráficamente el número de etapas ideales y la ubicación del plato de alimentación.

Mostrar el cálculo del vapor consumido y del agua de enfriamiento usada.

Indicar la velocidad de los vapores en el interior de la columna y el porcentaje de inundación a que se estuvo trabajando.

Encontrar el número de etapas ideales.

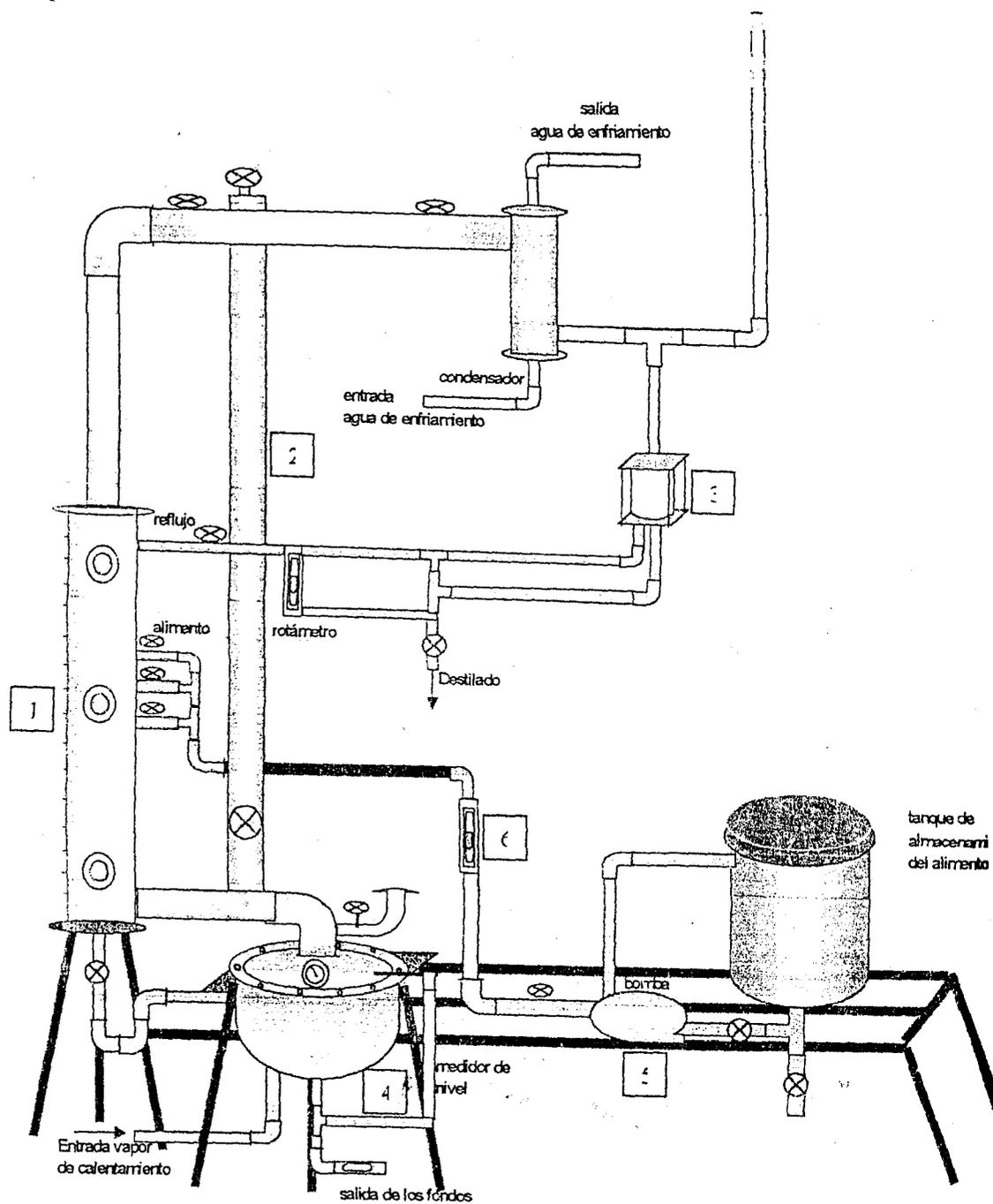
Calcular el rendimiento total, η_o .

Calcular el rendimiento de etapa Murphree del vapor.

- Equipo

El equipo es una torre de destilación construida en cobre y recubierta por un manto aislante para evitar pérdidas excesivas de calor al ambiente. La unidad consta de 15 platos dispuestos entre secciones; cada uno posee dos caperuzas de burbujeo; la columna está colocada sobre un soporte de 1.18m. El rehervidor es del tipo calderín con camisa de calefacción. El condensador y el enfriador del destilado están ubicados en la parte alta. Dos tanques de almacenamiento recolectan el producto. Tanto el rehervidor como los condensadores y la columna misma cuentan con las tuberías necesarias para suministrar vapor de calefacción, agua de enfriamiento y solución a destilar.

- Diagrama



1. Torre de platos
2. Tubo de alimentación directa al condensador
3. Farol de destilado
4. Calderín o rehervidor
5. Bomba centrífuga
6. Rotámetro de alimento

Posee diámetro menor de dos pies.
Posee espacio aéreo disponible.
No posee espacio horizontal disponible.

4. OPERACIÓN DE LA TORRE

Adecuación del equipo

- 1 Inspeccionar el equipo de destilación continua, mediante una revisión detallada de las válvulas, verificando que todas se encuentren cerradas.
- 2 Desocupar el calderín, el tanque de alimentación y drenar cada uno de los platos de la torre.
- 3 Preparar la solución de alimentación y la solución para cargar el calderín, esta última con una concentración cercana al efluente de fondos.
- 4 Disponer el alimento en el tanque y cargar la solución al calderín directamente.
- 5 Purgar la camisa y la línea de vapor.
- 6 Cebear la bomba por medio de una recirculación total del alimento al tanque de alimentación.
- 7 Se abren las válvulas correspondientes al medidor de nivel del calderín, la válvula de alimentación a este y la válvula que comunica la parte superior de la columna con el condensador mientras las demás se hallan cerradas.

Puesta en marcha

- 1 Abrir la válvula que da paso al agua de enfriamiento en el condensador, y posteriormente verificar la entrada de agua al condensador.
- 2 Abrir la válvula de vapor vivo de tal manera que se fije una presión de vapor entre 5.0 y 10 psi.
- 3 Seleccionar el método de incorporación de material a la torre, puede realizarse de dos maneras:
 - 1 Directamente por la torre:
 - Ⓐ Abrir la válvula que permite el paso a los vapores del calderín hacia la torre.
 - Ⓑ Abrir la válvula correspondiente al sello hidráulico entre el calderín y la torre.
 - Ⓒ Abrir las válvulas necesarias para operar a reflujo total.

- 2 Tubería adyacente a la torre:
 - ⌚ Abrir la válvula que da paso a los vapores del calderín por la tubería adyacente.
 - ⌚ Abrir las válvulas correspondientes para operar a reflujo total.
- 4 Mantener en operación hasta lograr estabilidad, teniendo como criterio que las temperaturas del plato inferior y superior sean constantes durante un tiempo menor a 10 minutos.
- 5 Verificar que el nivel del acumulador de condensado sea constante y superior a su nivel medio.
- 6 Suministrar alimento a la torre por alguno de los tres platos disponibles.
- 7 Simultáneamente al suministro de alimento, abrir las válvulas correspondientes para obtener un flujo de destilado, por medio del cierre parcial de la válvula de reflujo la apertura parcial de las válvulas que permiten la salida de destilado y de fondos.
- 8 Mantener en operación ajustando los caudales de entrada y salida hasta conseguir estado estacionario.
- 9 Durante la operación debe mantenerse el nivel del tanque de alimentación más o menos constante.
- 10 Una vez alcanzado el estado estacionario, registrar todas las condiciones concernientes a la operación.

Finalización

- 11 Apagar la bomba dosificadora de alimento y suspender el calentamiento en el calderín.
- 12 Cerrar las válvulas de suministro de agua de enfriamiento al condensador.
- 13 Dejar enfriar el sistema. Una vez frío el sistema, se debe determinar el volumen del calderín, retención en los platos y propiedades físicas de estos.
- 14 Recoger los residuos del calderín y los platos en un recipiente aparte del de destilados.
- 15 Cerrar las válvulas que estén abiertas.

- **Columna y Platos**

Diámetro de la columna	12.69 cm.
Altura de la columna	2.10 m.
Espacio entre platos	12.50 cm.
Platos de caperuzas con flujo cruzado simple.	7.0 cm.
Longitud del vertedero	3.90 cm ²
Área de los tubos de bajada	12.33 cm ²
Área bajo el tubo de bajada	3.09 cm.
Altura del vertedero	3.92 cm.
Diámetro de la caperuza	4.62 cm.
Altura de la caperuza	2.21 cm.
Distancia entre caperuzas	2
Número de caperuzas	1
Número de filas de caperuzas	5.12 cm ²
Área de perforaciones / caperuza	3.90 cm ²
Área de la chimenea / caperuza	5.92 cm ²
Área anular / caperuza	0.0
Área del borde de la caperuza	3.10 cm ²
Área de los orificios	0.30 cm.
Longitud de los orificios	2.23 cm.
Diámetro interno de las chimeneas	2.48 cm.
Diámetro externo de las chimeneas	0.20 cm.
Altura del anillo circular	

- **Condensador**

Aislado térmicamente; colocado de forma vertical, presentando las siguientes características:

Coraza	
Diámetro interno	10.17 cm.
Diámetro externo	10.49 cm.
Espesor de la pared	0.13 cm.
Pasos	10
Tubos	
Diámetro interno	1.7 cm.
Diámetro externo	1.25 cm.
Espesor de la pared	0.09 cm.
Longitud	60.50 cm.
Número	19

Arreglo triangular con paso de 1.92 cm. Flujo en paralelo, con vapor por la coraza y agua de enfriamiento por los tubos.

- **Rehervidor**

El tubo tiene una parte de cobre y otra de acero galvanizado

Tubo de cobre	
----------------------	--

Longitud	3.14 m
Diámetro externo	3.82 cm.
Espesor de pared	0.165 cm.
Tubo galvanizado	
Longitud	0.835 m
Diámetro externo	3.34 cm.
Diámetro interno	2.43 cm.

Los valores fijados para las variables son:

Composición del alimento	0.15 fracción molar de etanol
Flujo de alimentación	15.747 gmol/min.
Condición térmica del alimento	Líquido a temperatura ambiente (20°C)
Presión de operación	563.0 mmHg.
Etapas de rectificación	9 platos reales
Etapas de extracción	6 platos reales
Relación de reflujo interna	1.161
Flujo del destilado	3.74 gmol/min.

- Cuadro evaluativo

Polifuncionalidad	Destilación
Versatilidad	No permite cambios en su estructura
Sustancias escogidas	Etanol-agua, pero se puede operar con otro tipo de sustancias no corrosivas.
Áreas	
Área efectiva	0.675 m ²
Área de trabajo	2.5 m ²
Área de demostración	2.0 m ²
Área de mantenimiento	2.0 m ²

Factores que dependen del sistema

Por su estructura permite trabajar con escasas sustancias, siendo excluida toda r corrosiva.

No tiene tendencia a formar espuma.

No permite trabajar sólidos.

No permite fluidos corrosivos.

Permite trabajar sistemas sensibles a la temperatura.

No permite trabajar sistemas viscosos.

Factores que dependen del régimen de flujo en la columna

El sistema requiere variaciones laterales en las ratas del líquido y/o gas.

No es deseable el retraso o demora en el líquido.

No posee una caída de presión baja.

Factores que dependen de la naturaleza física de la columna

No es necesario el mantenimiento frecuente.

5. REFERENCIAS

- PERALTA G, SUÁREZ J, Automatización de una Columna de Destilación, Bogotá, 1981
- McCABE W., SMITH J., HARRIOTT P. *Unit Operations of Chemical Engineering*. New York, 5th ed., edit. McGraw-Hill, 1993.
- TREYBAL R. E. *Operaciones con Transferencia de Masa*. México, 2^a ed., edit. McGraw Hill, 1988.