

COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS BINARIOS IDEALES EN UNA COLUMNA DE DESTILACION DISCONTINUA INVERTIDA

Manuel Otiniano C.

Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis de la operación de la columna de destilación discontinua invertida para sistemas binarios ideales a una relación de rehervidor constante.

Palabras claves: Destilación discontinua, columna invertida, mezclas binarias ideales.

ABSTRACT

In this work we show an analysis of the operation of inverted batch distillation column for ideal binary systems at constant reboil ratio.

Keywords: Batch distillation, Inverted column, ideal binary mixtures.

INTRODUCCIÓN

La destilación discontinua es una de las operaciones unitarias más antigua en la industria química, y es ampliamente utilizada en la producción de productos químicos especiales en pocas cantidades. La destilación discontinua tiene las ventajas de poder separar un número de productos en una sola columna, de manejar mezclas multicomponentes, de poder trabajar con un amplio rango de composiciones de alimentación así como con un amplio rango de volatilidades y pureza de los componentes de las mezclas.

Debido a su flexibilidad y la naturaleza transitoria de la operación, permite configurar las columnas de destilación discontinua de diferentes maneras. Entre ellas aparte de la columna convencional se tiene la columna invertida donde el tanque de alimentación está en la parte alta de la columna y el producto deja la columna por la parte baja de la misma. Otras configuraciones propuestas en la

literatura se tiene la columna con el vaso intermedio y la columna de múltiples vasos.

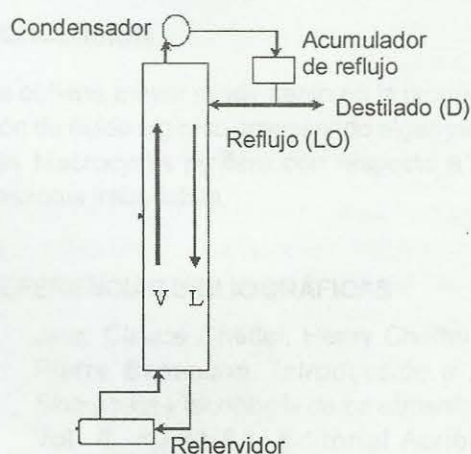


Fig. Nº 1. Columna de destilación discontinua convencional.

La columna invertida fue propuesta inicialmente por Robinson y Gilliland en 1950, afirmando que la principal ventaja con esta configuración fue que los componentes más voláti-

les pueden ser recolectados en el tanque con alta pureza y por ser favorable para la separación de mezclas con pequeñas cantidades de componentes volátiles por remoción de los productos pesados como producto de fondo.

En el caso de la columna invertida, la alimentación es cargada en el tanque y añadida continuamente al tope de la columna. El líquido del fondo de la columna es vaporizado en el rehervidor y una fracción es removida como producto. Tanto la fase líquida proveniente del tope de la columna como el vapor procedente del rehervidor se ponen en contacto en la columna donde se produce la transferencia de masa. La columna opera en el modo de desorción o de empobrecimiento con una pequeña acumulación en el rehervidor. Este tipo de columna opera exactamente como la columna de destilación discontinua convencional excepto que los productos salen por el rehervidor. Los productos que salen primero son los componentes más pesados o menos volátiles, seguidos por los productos más volátiles. Este tipo de operación se supone que elimina los problemas de descomposición térmica de los productos de alto punto de ebullición. Se asume que tanto la alimentación como el producto están en fase líquida.

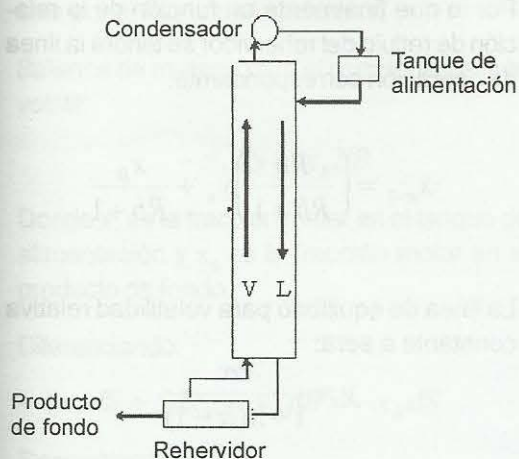


Fig. N° 2. Columna de destilación discontinua invertida.

COMPORTAMIENTO DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN DISCONTINUA INVERTIDA

Para una columna de destilación discontinua de platos convencional el comportamiento para sistemas binarios ideales ya fue estudiada y resuelta mediante la ecuación propuesta por Rayleigh para la destilación simple conjuntamente con un balance de materia en la columna permitió extender el método gráfico de McCabe - Thiele, utilizado en destilación continua, a la destilación discontinua binaria. Con lo cual la columna opera como una columna de enriquecimiento a cualquier modo de operación.

Por lo que de acuerdo al modelo se ubican tanto la curva de equilibrio en el gráfico correspondiente. Luego se ubica la concentración del destilado en el gráfico y se traza conociendo la relación de reflujo la línea de operación, para que empezando de la concentración del destilado trazar una línea horizontal hacia la curva de equilibrio y luego a partir de allí una línea vertical hacia la línea de operación, de manera alternada para construir los escalones que caracterizan al método hasta llegar a la concentración del rehervidor como límite. Luego se cuenta el número de escalones que corresponden al número de etapas teóricas necesarias para la separación.

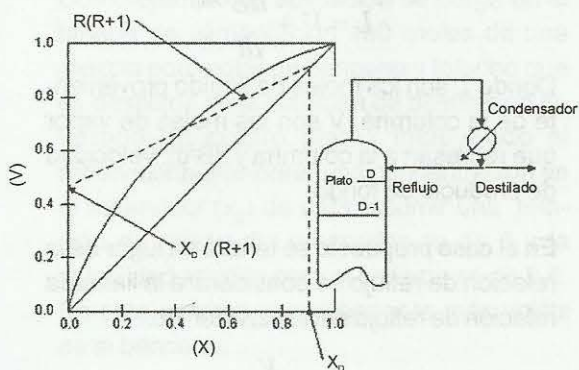


Fig. N° 3. Construcción de la línea de operación.

El modelo propuesto para estudiar el comportamiento de la columna de destilación discontinua invertida de sistemas binarios se basa en los siguientes supuestos:

- Volatilidad relativa constante (sistemas ideales).
- Flujo equimolar en toda la columna.
- Columna de platos.
- Acumulación despreciable en cada plato.
- Equilibrio termodinámico entre el vapor y el líquido que sale de cada plato.
- La composición del líquido que sale del acumulador de reflujo se asume que es la misma del acumulador bien mezclado.

Para el caso del rehervidor se propone el siguiente esquema y el correspondiente balance de materia:

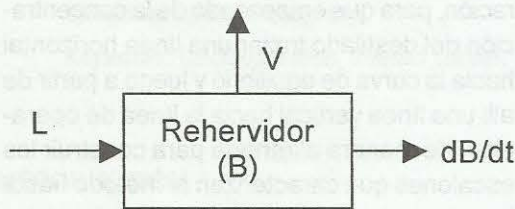


Fig. N° 4. Esquema del rehervidor.

Balance de materia:

$$L = V + \frac{dB}{dt}$$

Donde L son los moles de líquido proveniente de la columna, V son los moles de vapor que regresan a la columna y dB/dt : velocidad de producto de fondo.

En el caso propuesto se tendrá en lugar de la relación de reflujo se considerará la llamada relación de reflujo del rehervidor Rb :

$$Rb = \frac{V}{dB/dt}$$

Por lo que combinando la relación de reflujo del rehervidor con el balance de materia se tendrá:

$$L = \frac{dB}{dt} (Rb + 1)$$

Luego haciendo un balance de materia en el rehervidor, el cual se considera como un plato en equilibrio adicional a los platos de la columna se tendrá:

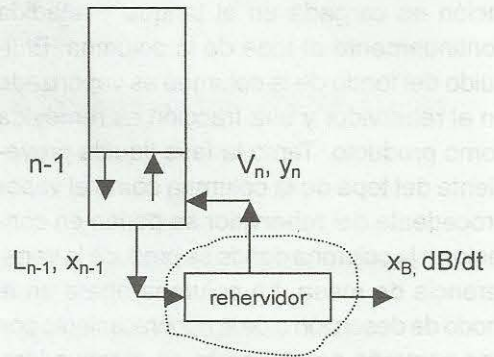


Fig. N° 5. Balance de materia en el fondo de la columna.

Donde: x_{n-1} es la concentración del componente más volátil en el flujo del líquido que entra en el rehervidor, y_n es la concentración del componente más volátil en el vapor que sale del rehervidor y x_B es la concentración del componente más volátil que sale por el fondo.

$$Lx_{n-1} = Vy_n + \frac{dB}{dt} x_B$$

Por lo que finalmente en función de la relación de reflujo del rehervidor se tendrá la línea de operación correspondiente:

$$x_{n-1} = \left(\frac{Rb}{Rb + 1} \right) y_n + \frac{x_B}{Rb + 1}$$

La línea de equilibrio para volatilidad relativa constante a será:

$$y = \frac{\alpha x}{1 + x(\alpha - 1)}$$

Entonces en el gráfico se construye la curva de equilibrio para luego a partir de la concentración en el rehervidor x_B se empieza a trazar la línea de operación hasta la concentra-

ción del componente más volátil en el tanque de alimentación x_s . Se empieza a construir los escalones de acuerdo al método McCabe - Thiele.

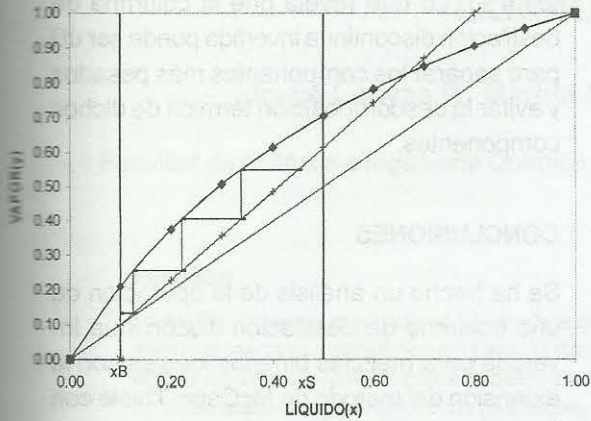


Fig. N° 6. Construcción del número de etapas.

Consideramos entonces la destilación discontinua a una relación de reflujo del rehervidor constante y consideraremos que los moles que se pierden en el tanque de alimentación representan los moles del producto que sale por el fondo de la columna.

$$-dS = dB$$

Donde S son los moles en el tanque de alimentación y B los moles del producto que sale por el fondo de la columna.

Balance de materia para el componente más volátil:

$$-x_s dS = x_B dB$$

Donde x_s es la fracción molar en el tanque de alimentación y x_B es la fracción molar en el producto de fondo.

Diferenciando:

$$-(x_s dS + S dx_s) = x_B dB = -x_B dS$$

Rearreglando:

$$(x_s - x_B) dS = -dx_s S$$

$$\frac{dS}{S} = -\frac{dx_s}{x_s - x_B}$$

$$\frac{dS}{S} = \frac{dx_s}{x_B - x_s}$$

$$\ln\left(\frac{S_f}{S_o}\right) = \int \frac{dx_s}{x_B - x_s}$$

S_f son las moles que queda al final de la operación en el tanque de alimentación. S_o son las moles iniciales en el tanque de alimentación. El lado derecho de la ecuación tendrá que ser evaluado por medio de una integración gráfica.

El procedimiento será el siguiente:

- 1) Asumir valores de x_B hasta llegar a un límite propuesto.
- 2) Construir gráficamente en base a la línea de equilibrio y la línea de operación, considerando las cuatro etapas de equilibrio para determinar las concentraciones de x_s para cada caso.
- 3) Hacer la integración gráfica entre $(1/x_s - x_B)$ versus $1/x_s$ para calcular el lado derecho de la última ecuación.
- 4) Calcular los moles que quedan en el tanque de alimentación.

EJEMPLO APLICACIÓN

Como ejemplo de aplicación se carga en el tanque de alimentación 100 moles de una mezcla equimolar de benceno y tolueno que es destilada en la columna de destilación invertida de cuatro platos incluyendo el rehervidor hasta lograr una concentración en el rehervidor (x_B) de 0.03. Asumir una relación de reflujo del rehervidor es de 3 y la volatilidad relativa para el sistema es de 2.5. En este sistema el componente más volátil es el benceno.

Solución:

La curva de equilibrio:

$$y = \frac{2.5x}{1 + 1.5x}$$

La línea de operación:

$$x_{n-1} = 0.75y_n + 0.25x_B$$

Con los valores de x_B propuestos se obtienen los valores de x_S de acuerdo al procedimiento descrito anteriormente, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla N° 1. Valores de x_B y x_S .

x_B	x_S
0.03	0.37
0.053	0.50
0.10	0.65
0.15	0.74
0.20	0.79

Se procede a la integración gráfica utilizando el método de Simpson lográndose un resultado de -0.83979 con lo cual si S_0 es 100 moles iniciales al final S_f resulta en 43.2 moles.

Finalmente un balance de materia al final de la operación refleja lo que ha sucedido en la columna:

Tabla N° 2. Balance de materia de la operación.

	Moles iniciales en el tanque	Moles finales en el tanque	Moles finales que sale por el rehervidor
Benceno	50	39.5	10.5
Tolueno	50	3.7	46.3
Total	100	43.2	56.8
F. molar tolueno	0.50	0.086	0.815

De acuerdo a los resultados obtenidos se obtiene que por el rehervidor salga la mayor

parte del componente más pesado como es el tolueno (81.5%) y en el tanque de alimentación tenga una mayor concentración del componente más volátil como es el benceno (91.4%). Lo que revela que la columna de destilación discontinua invertida puede ser útil para separar los componentes más pesados y evitar la descomposición térmica de dichos componentes.

CONCLUSIONES

Se ha hecho un análisis de la operación de una columna de destilación discontinua invertida para mezclas binarias ideales con la extensión del método de McCabe-Thiele con lo cual se logra explicar el comportamiento de esta nueva configuración de la columna de destilación discontinua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kister, H. *Distillation Design*. McGraw-Hill Inc., New York, p. 213, 1990.
2. Diwekar, U. *Batch Distillation: simulation, optimal design and control*. Taylor & Francis, Washington, p. 15, 1995.
3. Mujtaba, I. M. *Batch Distillation: Design and Operation*. Imperial College Press, Londres, página 11, 2004.
4. Lotter S., Diwekar U. *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 36, p. 760, 1997.
5. Sorensen E., Skogestad S. *Chemical engineering science*, Vol. 51, p. 49, 1996.