

EFFECTO DEL REFLUJO EN LA EFICIENCIA TERMODINÁMICA DE LA SEPARACIÓN DE UNA MEZCLA UTILIZANDO DESTILACIÓN DISCONTINUA

EFFECT OF REFLUX ON THE THERMODYNAMICS EFFICIENCY OF THE SEPARATION OF A MIXTURE USING BATCH DISTILLATION

Narváez-García A.¹, Zavala-Loría, J. C.², Robles-Heredia J. C.¹, González-Nobles E. C.¹, Torres-Díaz A. E. J.¹

¹Universidad Autónoma del Carmen Avenida 56 Numero 4 Esquina Avenida Concordia. Cd. del Carmen, Campeche, C.P. 24180, México.

²Universidad Iberoamericana Internacional

RESUMEN

La destilación discontinua es un proceso que se utiliza para la separación de pequeñas cantidades de mezclas de componentes que tienen un alto valor para la industria o que se deben eliminar de las corrientes de desecho por considerarse que tienen impacto contaminante en el medio ambiente. Siendo la destilación discontinua un proceso demandante de altas cantidades de energía se hace necesario conocer si la composición de la mezcla inicial tiene algún efecto en la eficiencia termodinámica del proceso, por ello, el presente trabajo considera el efecto en la eficiencia termodinámica de la concentración del componente más volátil de la mezcla de alimentación y la relación de reflujo utilizada para alcanzar el producto deseado. Las Volatilidades relativas se obtuvieron utilizando el punto de burbuja y la Ecuación de Antoine. Las volatilidades relativas se calcularon en cada período, antes de obtener el producto el proceso se llevó hasta el estado estable para enriquecer el producto hasta la máxima concentración que permite la columna.

Palabras clave: Columnas de destilación, destilación, eficiencia termodinámica.

ABSTRACT

The discontinuous distillation is a process that is used for the separation of small quantities of mixtures of components, which have a high value for the industry, or that must be eliminated from the flows of waste for being considered to have polluting impact on the environment. Being the distillation discontinuous a demanding process of high amounts of energy, it becomes necessary to know if the composition of the initial mixing has any effect on the thermodynamic efficiency of the process. For this reason, this paper considers the effect on the thermodynamic efficiency of the concentration of the most volatile component of the mixture of power and the relationship of reflux used to achieve the desired product. The relative volatilities were obtained using the bubble point and the Antoine equation. The volatilities relating were calculated in each period, before getting the product, the process was led to the stable state to enrich the product until the maximum concentration that allows the column.

Keywords: Distillation, distillation columns, thermodynamic efficiency.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la industria de los procesos químicos, la destilación consume casi el 40% de la energía utilizada y por ello es necesario realizar esfuerzos tendientes a mejorar los procesos y reducir dicho consumo (Asiedu, *et al.*, 2014). A lo largo de los años se han desarrollado grandes esfuerzos para optimizar el consumo de energía y se han establecido esquemas tales como los procesos de integración de energía o el desarrollo de nuevos equipos como las columnas Petliuk o las columnas de paredes divididas. La destilación es la operación de separación más ampliamente usada para la mayoría de las mezclas de fluidos. Desafortunadamente, las columnas de destilación no solo requieren una gran cantidad de energía para lograr la separación deseada (Tedder y Rudd, 1978) sino también esta técnica de separación es muy ineficiente en su uso debido a su baja eficiencia termodinámica (Flores y *et al.*, 2003).

Para el proceso de destilación discontinua los esfuerzos se han centrado en los llamados problemas de control que permiten obtener expresiones para la optimización matemática de la variable de control (generalmente la relación de reflujo). Los problemas de control que se encuentran en la bibliografía del área son: Problema del Máximo Producto (Converse y Gross, 1963), Problema del Tiempo Mínimo (Mayur y Jackson, 1971), Problema de la Energía Mínima (Robinson, 1970), Problema de la Máxima Ganancia (Kerkhof y Vissers, 1978) y el Problema de la Máxima Eficiencia

Termodinámica (Zavala y Coronado, 2008). Otro punto importante de este proceso de separación se encuentra en su creciente utilidad en el área de protección ambiental utilizándose para la recuperación de solventes o reactivos valiosos contenidos en aguas de desecho (Klingberg, 2000). La eficiencia termodinámica del proceso está íntimamente relacionada con el consumo de energía, en este trabajo, se presentan los resultados de considerar que tan eficiente (termodinámicamente) es el proceso de destilación discontinua en la separación de una mezcla y para ello, se parte de considerar los conceptos del trabajo de Zavala *et al*, (2012).

METODOLOGÍA

Para este trabajo se ha utilizado el modelo matemático de una columna de destilación discontinua convencional considerando un rehervidor, una columna de platos, un condensador, un tanque de reflujo-acumulador. El modelo matemático de la columna considera etapas teóricas, condensador total, proceso isobárico, flujos constantes de vapor y de líquido, acumulación constante en los platos y en el condensador-tanque de reflujo, columna adiabática. Se ha utilizado una ecuación de eficiencia termodinámica (1) obtenida a partir de la Primera y Segunda Ley de la Termodinámica y se ha considerado una eficiencia promedio (2).

$$\eta_{TD} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(D_i x_i \ln x_i + x_B^i \ln x_B^i + R x_1^i y^i + x_B^i y^i + 1_B \ln x_B^i \right)}{R \sum_{i=1}^n \left(\ln \frac{x_1^i}{x_B^i} \right)} \quad (1)$$

$$\eta_{TD}^{prom} = \frac{\int_0^t n_i^i dt}{t} \quad (2)$$

Dónde:

η_t = Eficiencia termodinámica puntual

Σ = Sumatoria

Ln=logaritmo natural

R= Reflujo

X_B = Concentración en el fondo

X_D = Concentración en el domo

Y_B = Fracción molar del vapor en el calderín.

η_{prom} = Eficiencia termodinámica promedio

Se utilizó la ecuación de Antoine para calcular las volatilidades relativas y fueron calculadas en cada período. Antes de obtener producto el proceso fue llevado hasta el estado estable para enriquecer al componente más volátil hasta la máxima concentración que permite la columna.

RESULTADOS

Las siguientes **Figuras** muestran los resultados obtenidos en la separación de una mezcla binaria.⁶²

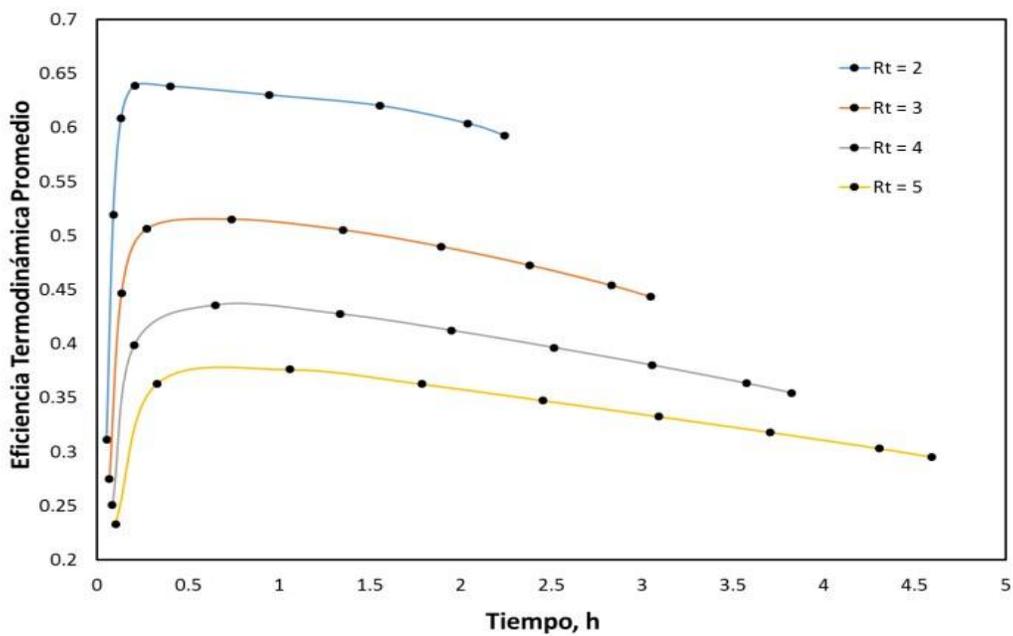


Figura 1. Perfil de Eficiencia Termodinámica en función del tiempo para $R=2, 3, 4$ y 5 .

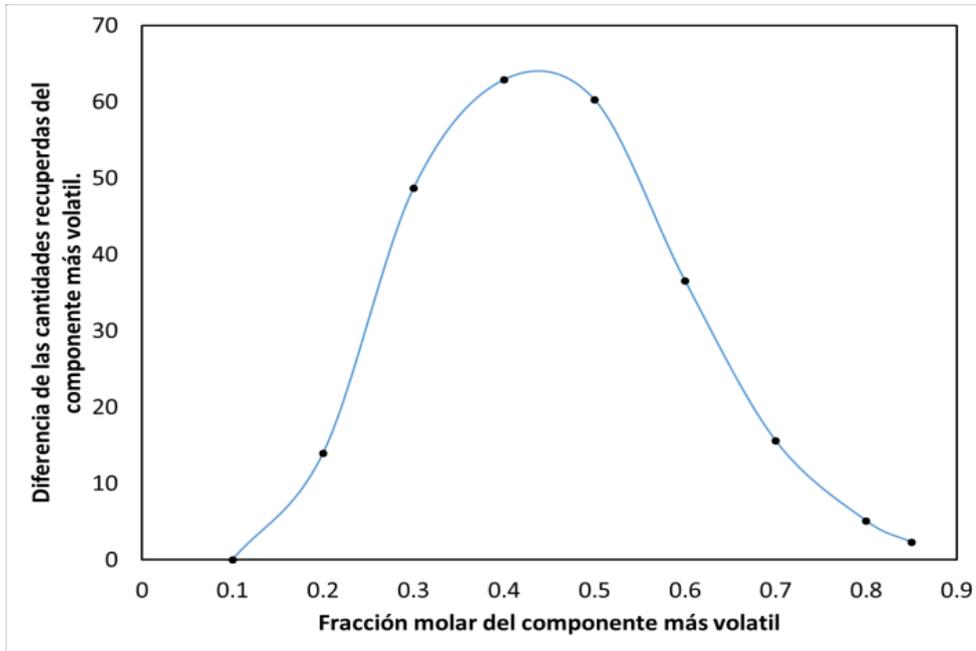


Figura 2. Recuperación del componente más volátil considerando la diferencia entre la relación de reflujo más baja y la más alta.

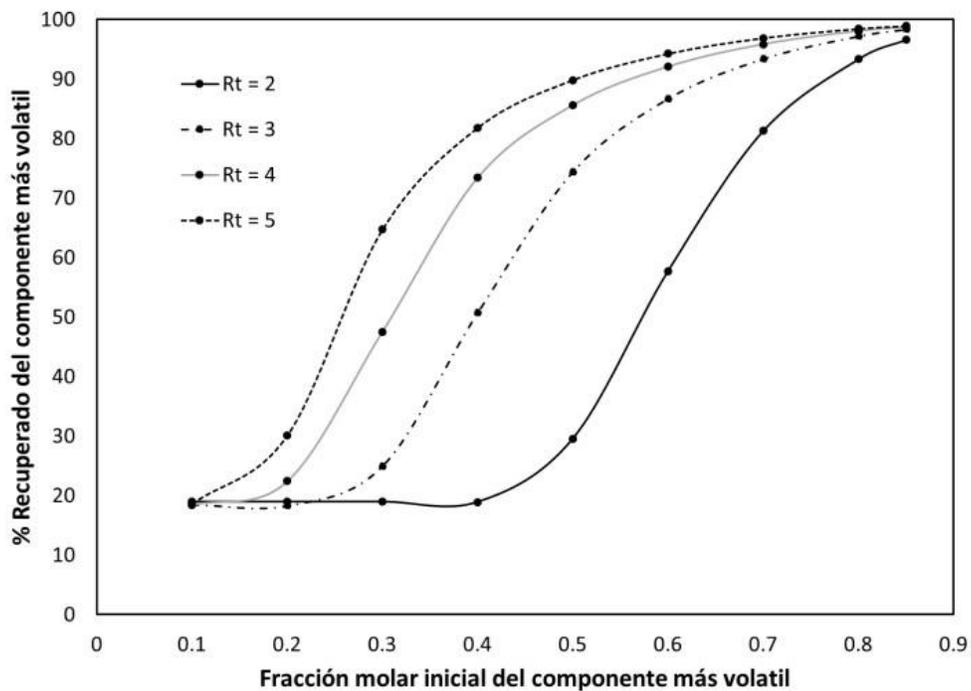


Figura 3. % Recuperado considerando la concentración inicial.

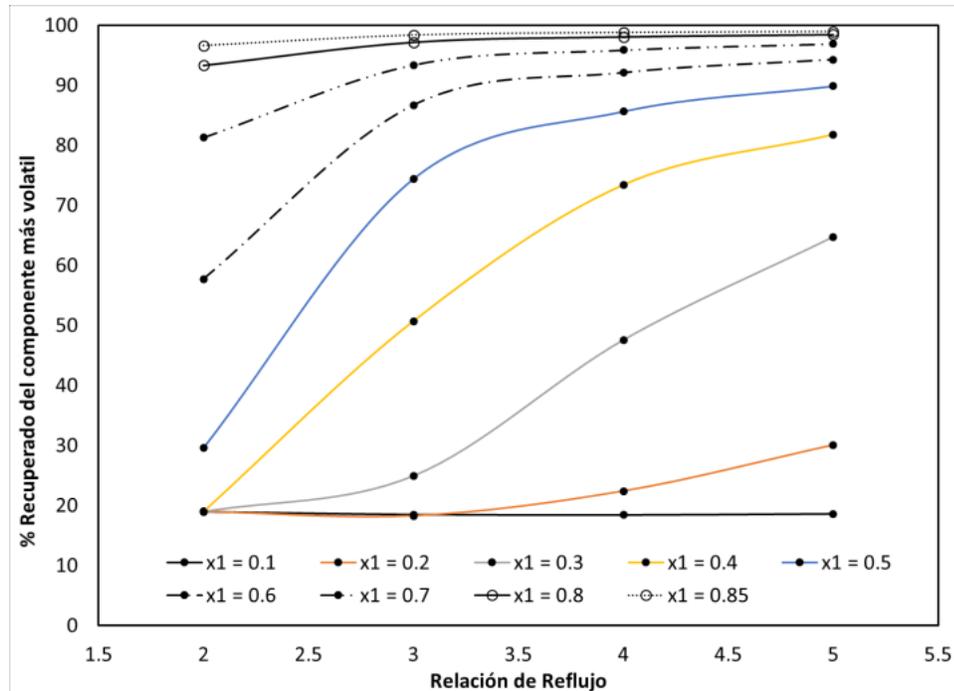


Figura 4. % Recuperado considerando la relación de reflujo

CONCLUSIONES

La relación de reflujo utilizada en el proceso influye directamente estableciéndose lo siguiente: 1) A una menor relación de reflujo se obtiene una menor recuperación del componente deseado, 2) El tiempo para alcanzar la composición del producto deseado es menor a relaciones de reflujo menores, 3) La menor eficiencia termodinámica del proceso se obtiene a relaciones de reflujo mayores, 4) A menor composición del componente más volátil en la mezcla inicial y a relaciones de reflujo bajas, menor es el tiempo para alcanzar la composición del producto deseado.

REFERENCIAS

Asiedu, N.Y., Hildrebrandt, D. and Glasser, D. 2014. Batch Distillation Targets for Minimum Energy Consumption. *Ind. Eng. Chem. Res.* 53, 2751-2757.

Converse, A. O.; Gross, G. D. 1963 Optimal Distillate-Rate Policy in Batch Distillation; *Ind. Eng. Chem. Fundam.* 2(3), 217-221.

Flores, O.A.; Cárdenas, J.C.; Hernández, S. y RicoRamírez, V. 2003. Thermodynamic Analysis of Thermally Coupled Distillation Sequences. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 42, 5940.

Kerkhof, L. H. J.; Vissers, H. J. M. 1970 On the Profit of Optimum Control in Batch Distillation; *Chem. Eng. Sci.* 33, 961-970.

Klingberg, A. 2000. Modelling and Optimization of Batch Distillation; Master Thesis, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, *Lund, Sweden*.

Mayur, D. N.; Jackson, R. 1971 Time Optimal Problems in Batch Distillation for Multicomponent Mixtures Columns with Holdup; *Chem. Eng. J.* 2, 150.

Robinson, E. R. 1970. The Optimal Control of an Industrial Batch Distillation Column; *Chem. Eng. Sci.* 25, 921-928.

Tedder, D.W. y Rudd, D. F. (1978). Parametric Studies in Industrial Distillation: Part I. Design Comparisons. *AIChE Journal* 24, 303.

Zavala-Loría, J.C. and Coronado-Velázquez, C. 2008. Optimal Control Problem in Batch Distillation Using Thermodynamic Efficiency; *Ind. Eng. Chem. Res.*, 47, 2788-2793.

Zavala-Loría, J.C. and Narváez-García, A. 2012. Distillation: Advances from Modeling to Applications; Chapter 4: Batch Distillation. Thermodynamic Efficiency. *INTECH*, ISBN: 978-953-51-04228-5, Croatia, 91-106.

