

DESEMPEÑO DINÁMICO DE ESQUEMAS DE PURIFICACIÓN INTENSIFICADOS INVOLUCRADOS EN LA PURIFICACIÓN DE 2,3-BUTANODIOL

Vallejo Blancas David (1), Sánchez Ramírez Eduardo (2)

¹[Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | david.blancas5@gmail.com

²[Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | eduardo.sanchez@ugto.mx

Resumen

La obtención de 2,3-Butanodiol producido por fermentación de biomasa conlleva a la separación y purificación de este compuesto contenido en un caldo altamente diluido. En vista de las propiedades termodinámicas de la mezcla de fermentación, una alternativa es la destilación, la cual representa una interesante alternativa de separación puesto que no ha sido estudiada ampliamente, así como un importante caso de estudio para las diversas topologías de destilación que pueden llegar a representar un abanico de opciones para la separación de la mezcla que difieren entre sí tanto en el capital de inversión como en el costo de operación del sistema y por ende en el consumo energético. Recientemente, se han generado una serie de alternativas, basadas en destilación, para la purificación de 2,3-Butanodiol. Sin embargo, su posible implementación industrial debe tener como base el correcto diseño y el análisis dinámico de dichas alternativas de separación. El presente estudio presenta un análisis del comportamiento dinámico de dos alternativas de separación, mediante un estudio de control a lazo cerrado. Como resultados se observó que la secuencia indirecta presenta mejores propiedades de control dado que es de mayores dimensiones.

Abstract

Obtaining 2,3-butanediol produced by fermentation of biomass leads to the separation and purification of this compound contained in a highly diluted broth. In view of the thermodynamic properties of the fermentation mixture, an alternative is distillation, which represents an interesting separation alternative since it has not been studied extensively, as well as an important case study for the different distillation topologies that can arrive to represent a range of options for the separation of the mixture that differ between themselves both in the investment capital and in the cost of operating the system and therefore in the energy consumption. Recently, a series of alternatives, based on distillation, have been generated for the purification of 2,3-Butanediol. However, its possible industrial implementation must be based on the correct design and dynamic analysis of said separation alternatives. The present study presents an analysis of the dynamic behavior of two separation alternatives, by means of a closed loop control study. As results, it was observed that the indirect sequence has better control properties given that it is larger.

Palabras Clave

Biocombustibles; Fermentación; Biomasa; Acetoína; Metil-Etil-Cetona

INTRODUCCIÓN

Actualmente gran cantidad de las investigaciones realizadas en materia de combustibles tienen como principal objetivo el encontrar un sustituto para el petróleo y sus derivados, debido al declive en la disponibilidad de este energético que ha potenciado el desarrollo de la civilización moderna. Por tal motivo, gran parte de estas investigaciones convergen en combustibles alternos como lo son los biocombustibles. El 2,3-Butanodiol (2,3-BD) que, a pesar de producirse por medio de una ruta sintética, es posible obtenerlo a partir de procesos que involucran a la biomasa como materia prima. El 2,3-BD es ampliamente utilizado en gran cantidad de procesos industriales como lo es la fabricación de tintas de impresión, perfumes, explosivos, agentes suavizantes, fumigantes, productos farmacéuticos y alimenticios [1,2]. Además, el 2,3-BD tiene interesantes propiedades energéticas puesto que es precursor en la ruta de síntesis para la Metil-Etil-Cetona (MEK) que puede llegar a ser empleado como biocombustible, siempre y cuando sea obtenido a partir de biomasa.

El MEK puede ser empleado como combustible en motores a gasolina, llega a alcanzar la misma eficiencia que el etanol en este tipo de motores y además presenta un mayor calor de combustión que el etanol, así como menores emisiones de contaminantes producto de su combustión, así como mejores propiedades de arranque en frío [3]. La conversión de 2,3-BD a MEK se puede llevar por medio de una deshidratación de 2,3-BD de la cual se informa que se tienen rendimientos de hasta el 95% en moles, además de evitar el uso de hidrógeno en la conversión, lo que permite disminuir el costo de proceso [4].

El proceso de producción del 2,3-BD consiste en un proceso de fermentación del cual se tiene amplio conocimiento, puesto que existen informes que datan de 1906 en torno a esta ruta biológica. El proceso consiste en la fermentación de biomasa, la cual es regularmente proveniente de residuos agrícolas, a través de microorganismos capaces de acumular 2,3-BD como lo son las especies pertenecientes a los géneros *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Bacillus* y *Serratia* sin embargo, sólo *Enterobacter aerogenes* y *Serratia marcescens* representan una prometedora aplicación industrial. Tanto los rendimientos y la concentración de 2,3-BD han sido reportados recientemente y se reportan concentraciones de 150 g/L de 2,3-BD y 10 g/L de Acetoína [5], así como concentraciones de 92,4 g/L de 2,3-BD y 13,1 g/L de Acetoína [6].

En vista de las bajas concentraciones de 2,3-BD en el caldo procedente de la fermentación y en base a las propiedades de los componentes contenidos en la mezcla (Agua, Acetoína y 2,3-BD), específicamente del 2,3-BD cuyo punto de ebullición es cercano a los 180°C a presión atmosférica y que este no forma azeótropo con el resto de los componentes, la alternativa de emplear un proceso de destilación convencional toma especial interés. A pesar de que este proceso de separación no es reciente, actualmente es utilizado en más del 90% de los procesos de separación de mezclas multicomponente. Sin embargo, la posibilidad de implementar diversas alternativas de síntesis para el proceso de destilación debe de ir acompañado con un análisis de las propiedades dinámicas de las diferentes alternativas de separación, con el fin de analizar la operatividad que tiene el proceso ante cualquier perturbación y la relación que se tiene en las especificaciones de cada diseño presentado en este trabajo.

En vista de lo anterior, y con la finalidad de profundizar en el análisis de la destilación para efectuar la separación y purificación del 2,3-BD del efluente proveniente de la fermentación es que se realiza en este trabajo el análisis de control a lazo cerrado con la finalidad de conocer que diseño presenta mejores propiedades de control así como su desempeño dinámico en respuesta a perturbaciones externas y con base en el análisis realizado tener la posibilidad de relacionar las propiedades que favorecen de cada uno de los diseños que favorecen el control en este tipo de procesos.

Es por ello que el estudio de las propiedades dinámicas para la separación y purificación del 2,3-BD por medio de la destilación es de gran importancia, puesto que al tratarse de un proceso biológico de fermentación el efluente a tratar no está exento de variaciones como lo pueden ser un incremento o decremento en el flujo, por ejemplo. Por lo cual es necesario que el proceso sea flexible a estos cambios sin sufrir graves consecuencias y que en todo momento apunte a la estabilidad, dado que es irrelevante que un proceso sea económicamente atractivo si este no tiene buenas propiedades de control.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se realizó el análisis de control en lazo abierto y cerrado para dos secuencias de separación de una mezcla ternaria procedente de un proceso de fermentación con la finalidad llevar a cabo la separación de cada uno de sus componentes, cabe destacar que cada uno de los componentes es obtenido con una pureza superior al 99% en peso, lo que hace posible comparar los diseños presentados entre sí.

La secuencia directa mostrada en la imagen 1, consta de dos columnas consecutivas, en las cuales se obtienen dos de los tres productos de la mezcla como corrientes de domo, en contraparte la secuencia indirecta mostrada en la imagen 2, consta de igual forma de dos columnas de destilación consecutivas de las cuales se obtienen dos de los tres productos contenidos en la mezcla como corrientes de fondo.

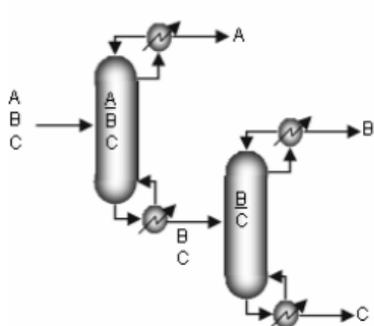


IMAGEN 1: Secuencia directa empleada para la separación de una mezcla ternaria

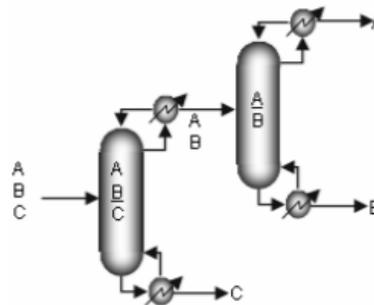


IMAGEN 2: Secuencia indirecta empleada para la separación de una mezcla ternaria

El análisis de control a lazo cerrado consiste en someter cada uno de los procesos a distintas perturbaciones en las diferentes corrientes que los componen. Para este caso, sólo se cuentan con 3 corrientes de producto en cada uno de los diseños propuestos; por lo cual la perturbación efectuada en dichas corrientes consiste en un cambio de set point con un decremento del 1% con respecto a la fracción másica de los productos, que en ambos diseños es superior al 99% en peso.

Este procedimiento consiste en sintonizar un controlador PID que logre llevar el proceso al set point establecido por medio del control de las propiedades características de cada corriente, es decir; el control de una corriente de domo se realiza por medio de la variación del reflujo que se realiza automáticamente por el controlador en base a parámetros conocidos como ganancia y tiempo integral. Por el contrario, si se trata de una corriente de fondo el control se lleva a cabo por medio de la variación en la carga térmica de la columna con la finalidad de estabilizar el proceso. Ambas perturbaciones generan una respuesta del sistema, la cual es medida a través del criterio conocido como integral absoluta del error (IAE), dicho valor representa las oscilaciones que puede llegar a tener la respuesta y por lo cual entre menor sea su valor mejor será la respuesta del sistema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la sintonización del control PID en lazo cerrado se muestran en la tabla 1 para las dos diferentes secuencias analizadas, en la tabla 2 se presentan las características generales de las columnas que conforman cada una de las secuencias, además son presentados los gráficos que muestran la respuesta del cambio de set point en ambas secuencias. Las propiedades de control de las columnas están íntimamente relacionadas con las características de la columna, por lo cual la secuencia indirecta presenta una mejor flexibilidad a las perturbaciones realizadas, sin embargo, en el caso del agua presenta dificultades en vista de que es el componente más abundante, dada la gran dilución que presenta la mezcla.

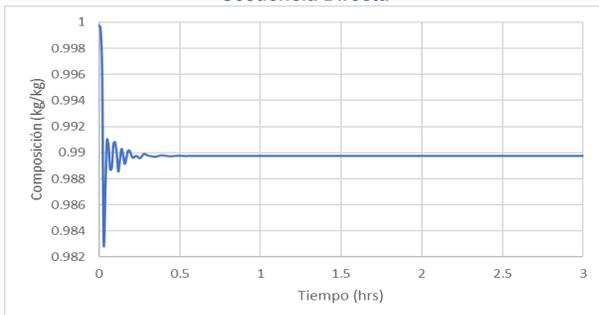
Tabla 1: Parámetros de sintonización del controlador PID en ambas secuencias

Secuencia	Lazo	K	T	IAE
Directa	Agua	250	1	0.000397
	Acetoína	200	11	0.001837
	2,3-Butanodiol	4	67	0.018666
Indirecta	Agua	250	1	0.112533
	Acetoína	250	1	0.000163
	2,3-Butanodiol	250	1	0.000171

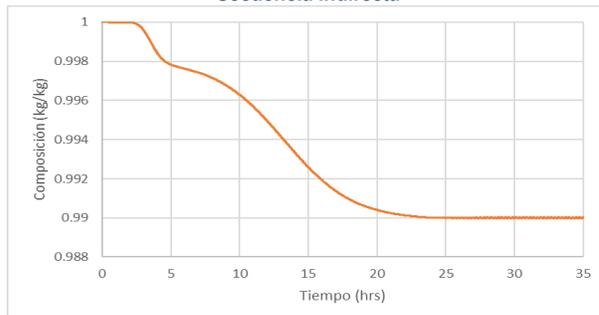
Tabla 2: Características generales de las columnas que integran ambas secuencias

Características de la columna	Secuencia			
	Directa		Indirecta	
	Columna 1	Columna 2	Columna 1	Columna 2
Número de platos	49	50	120	50
Relación de reflujo (kg/kg)	0.3	15.6719	0.226	15.672
Etapas de alimentación	42	12	105	12
Diámetro de la columna (m)	0.575	0.502	0.933	0.502
Carga térmica (kW)	60044	1622	57328	1622

Secuencia Directa

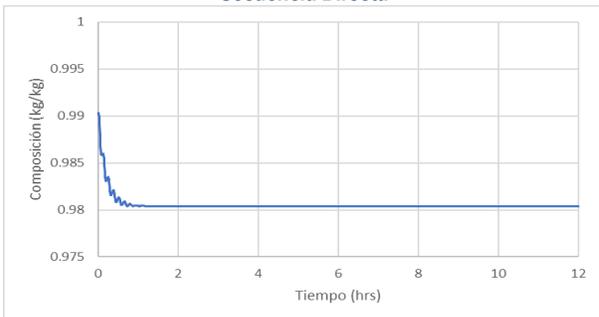


Secuencia Indirecta

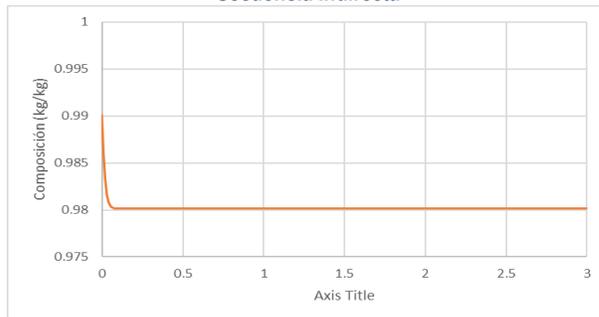


Lazo Agua

Secuencia Directa



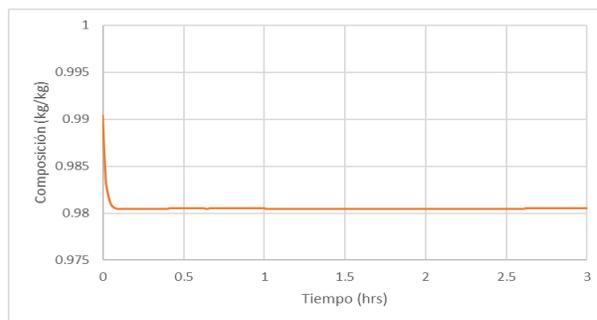
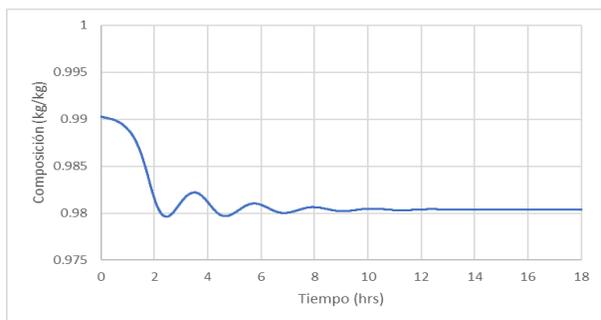
Secuencia Indirecta



Lazo Acetoína

Secuencia Directa

Secuencia Indirecta



CONCLUSIONES

En vista de los resultados obtenidos, la secuencia que presenta mejores propiedades de control para la separación y purificación del 2,3-BD contenido en un efluente proveniente de un proceso de fermentación es la secuencia indirecta, decisión tomada bajo el criterio del IAE puesto que en esta secuencia se presentan los índices menores. Además, en cuanto al costo de operación de trata, la secuencia indirecta presenta la menor carga térmica debido a que el reflujo es menor en ella, por el contrario, el costo de construcción es sumamente alto por las dimensiones de la primer columna, lo que puede ser equiparable al costo de operación a largo plazo que la secuencia directa con menores dimensiones podría generar. Únicamente en el caso del agua la respuesta de la secuencia directa presentó un menor IAE, lo que se debe a que la perturbación se realizó en la columna más pequeña con el componente más abundante, lo cual significa que claramente las propiedades dinámicas de la columna están intrínsecamente relacionadas con sus dimensiones.

REFERENCIAS

- Garg, S. K., & Jain, A. 1995. Fermentative production of 2, 3-butanediol: a review. *Bioresour. Technol.*, 51(2-3), 103-109.
- Syu, M. J. 2001. Biological production of 2, 3-butanediol. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 55(1), 10-18
- Ma, C., Wang, A., Qin, J., Li, L., Ai, X., Jiang, T., ... & Xu, P. 2009. Enhanced 2, 3-butanediol production by *Klebsiella pneumoniae* SDM. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 82(1), 49-57.
- Köpke, M., & Havill, A. 2014. LanzaTech's route to bio-butadiene. *Catal. Rev*, 27, 7-12.
- Qureshi N, Hughes S, Maddox IS, Cotta MA. Energy-efficient recovery of butanol from model solutions and fermentation broth by adsorption. *Bioprocess Biosyst Eng* 2005; 27:215–22.
- Daniel, P., Christian R., Alexander M., Jörn V., (2017). Conceptual Design of Methyl Ethyl Ketone Production via 2,3- Butanediol for Fuels and Chemicals. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 56(14), pp. 3947-3957.
- Daniel, P., Christian R., Alexander M., Jörn V., (2017). Conceptual Design of Methyl Ethyl Ketone Production via 2,3- Butanediol for Fuels and Chemicals. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 56(14), pp. 3947-3957.