

# Desarrollo de un proceso de bajo costo de operación para la producción de biobutanol

Heriberto Alcocer García (1), Juan Gabriel Segovia Hernández (2)

1 [Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [eric\_aog@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [g\_segovia@hotmail.com]

## Resumen

Un método de producción de butanol a través de fuentes renovables, es por medio de la fermentación (ABE) acetona-butanol-etanol. La producción por este método implica una recuperación de solvente así como una purificación mediante una secuencia de destilación. Cabe destacar que la mezcla es altamente no ideal por lo que su separación no es trivial. Las necesidades actuales requieren que los procesos sean diseñados de manera que la inversión realizada y el costo de operación sea el mínimo. Comúnmente se deja el estudio de las propiedades de control del proceso a un segundo término, lo que en ocasiones genera el diseño de proceso con un desempeño dinámico pobre. Por tal motivo se realizó un estudio de las propiedades dinámicas de 6 secuencias de destilación que cumplen con los requerimientos de pureza para la purificación de biobutanol. Garantizando con ello que los objetivos económicos y/o ambientales se cumplan, pero simultáneamente se garantiza que los diseños generados cumplen con un buen desempeño dinámico. Las secuencias se optimizaron minimizando el valor del IAE, obteniendo que la secuencia V térmicamente acoplada que presenta doble acoplamiento sobre la misma columna es la más óptima en control.

## Abstract

A method of producing butanol from renewable sources is through fermentation (ABE) acetone-butanol-ethanol. The production by this method involves a solvent recovery and purification by distillation sequence. Note that the mixture is highly non-ideal so that their separation is not trivial. Current needs require processes are designed so that the investment and operation cost is minimized. Commonly it leaves the study of process control properties to a second term, which sometimes generates the design process with a poor dynamic performance. Therefore a study of the dynamic properties of six distillation sequences that meet the purity requirements for biobutanol purification was performed. There by ensuring that the economic and / or environmental objectives are met, but simultaneously ensures that generated designs comply with good dynamic performance. The sequences were optimized by minimizing the value of IAE, obtaining thermally coupled to the sequence V which has double coupling on the same column is the most optimal in control.

## Palabras Clave

Biobutanol, Destilación, Optimización, Control, sintonización

## INTRODUCCIÓN

Con el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles y teniendo en cuenta las cantidades de combustible utilizado en el transporte que tienen impacto directo en los problemas ambientales, como el cambio climático, el uso de biocombustibles para el transporte es cada vez más relevante.

Biobutanol producido por fermentación (etanol butanol acetona (ABE o AB) es un proceso de fermentación muy antigua empleada para la producción comercial, su producción fue descubierto por Pasteur en 1861. Sin embargo, en la actualidad, la mayor producción de butanol es a partir de fuentes de petróleo a partir el proceso oxo. En las últimas décadas, se hicieron grandes esfuerzos en los estudios genéticos en algunas especies de Clostridium utilizados en fermentación ABE, con especial atención a la mejora de las características de fermentación. Sin embargo, los principales obstáculos que hacen este tipo de proceso biológico rentable son el alto costo del sustrato, la concentración de disolvente bajo en caldo de fermentación, y, finalmente, la recuperación y purificación alto costo de producto.[1]

Las necesidades actuales requieren que los procesos sean diseñados de manera que la inversión realizada y el costo de operación sea siempre el mínimo, además se procura la operación de dicho proceso en condiciones que garantice el cumplimiento de estrictas normas ambientales. Sin embargo, comúnmente se deja el estudio de las propiedades de control del proceso a un segundo término, lo que en ocasiones genera el diseño de proceso con un desempeño dinámico pobre. Así entonces se requiere una metodología que optimice conjuntamente el diseño con objetivos económicos y/o ambientales pero que de manera simultánea garantice de alguna forma que los diseños generados cumplan con un buen desempeño dinámico.

Por ello tomando como referencia el trabajo de Sánchez - Ramírez y col. [1] donde se obtuvieron secuencias que cumplen con los requerimientos

económico-ambientales, se analizara su desempeño dinámico.

En este trabajo se realizara un análisis de las propiedades de control a lazo cerrado en las corrientes de biobutanol y acetona, dado que son los productos de principal interés. Se realizará el trabajo siguiendo la metodología aplicada por Contreras - Zarazúa [2].

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron 6 que cumplen con los objetivos de pureza, ambientales y económicos. [1]

Para realizar la sintonización del controlador PI en los esquemas modelos, se realiza previamente la exportación del archivo del simulador de procesos Aspen Plus al simulador de procesos Aspen Dynamics dado que el estudio se realiza en estado dinámico, es decir, se controla con respecto al tiempo. Para eso se trabaja en el archivo dinámico con un controlador PI bajo los criterios de sintonización de minimización del Integral Absoluta de Error (IAE).

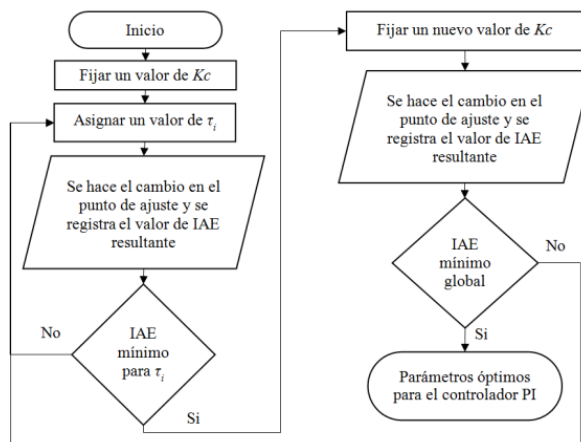


Figura 1: Diagrama de flujo para la sintonización del control PI en función del IAE.

Se analizaron 6 secuencias, una de ellas convencional, las otras 5 con acoplamiento termico. Las 6 constan de cuatro columnas, una de ellas es una extrcción liquido-liquido. Por motivos de espacio sólo se presenta los parametros de diseño de una de ellas mostrados en la Tabla 3.

El análisis se realizó sólo en las tres columnas de destilación, marcadas con la línea punteada, esto para todas las secuencias.

Se perturbó la pureza a un 0.5% y se tomó el valor de IAE, para cada variación de  $K_c$  y  $\tau_i$ . Hasta obtener la minimización del IAE. El  $K_c$  se varió de 1 a 250, y el  $\tau_i$  de 1 a 150 de acuerdo a lo establecido en la literatura.

Tabla 3: Parámetros de diseño para la secuencia I

	Extractor	C1	C2	C3
Numero de etapas	5	26	46	20
Reflux ratio	---	0.905	6.034	14.836
Etapas de alimentación	1	13	32	5/15
Etapas de alimentación del solvente	5	---	---	---
Etapas de corriente lateral	---	---	44	---
Diámetro de columna (m)	0.335	0.322	0.325	0.292
Presión de operación (kPa)	101.353	101.353	101.353	101.353
Flujo de destilado (kg h <sup>-1</sup> )	---	21.687	7.694	0.333
Flujo de corriente lateral (kg h <sup>-1</sup> )	---	---	1.901	---
Flujo de solvente (kg h <sup>-1</sup> )	708.549	---	---	---
Solvente recuperado (kg h <sup>-1</sup> )	0.709	---	---	---
Carga del condensador (kW)	---	7.284	7.736	1.239
Carga del reboiler (kW)	---	65.919	8.428	0.907

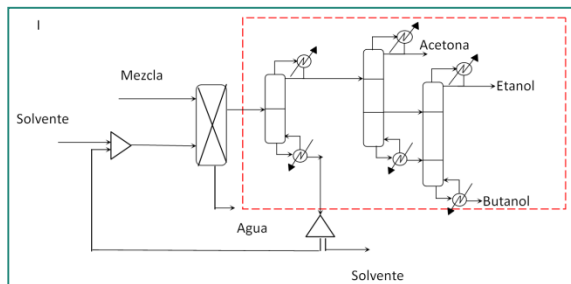


Figura 2: Secuencia I para la purificación de biobutanol (secuencia convencional).

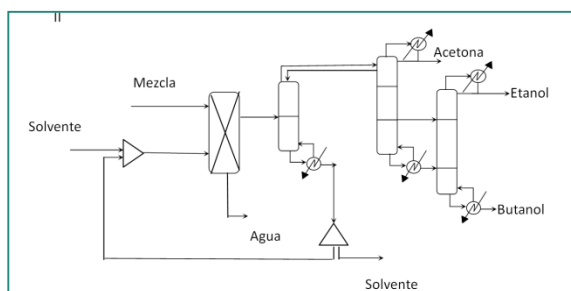


Figura 3: Secuencia II para la purificación de biobutanol (Secuencia Térmicamente Acoplada).

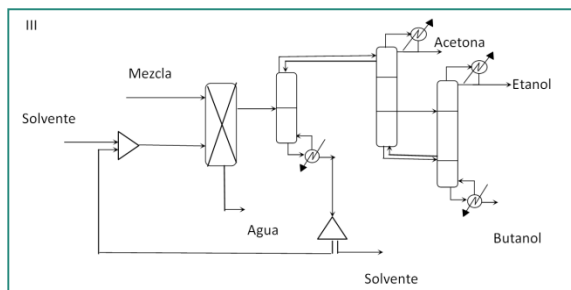


Figura 4: Secuencia III para la purificación de biobutanol (Secuencia Térmicamente Acoplada).

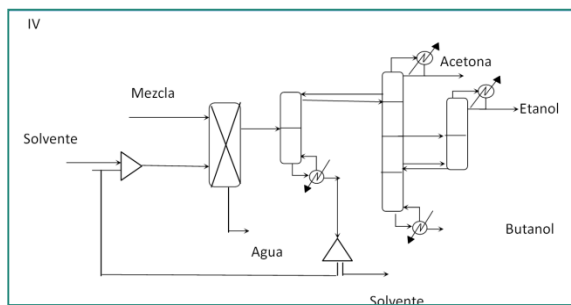


Figura 5: Secuencia IV para la purificación de biobutanol (Secuencia Térmicamente Acoplada).

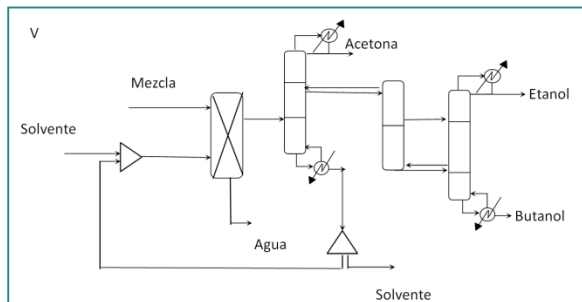


Figura 6: Secuencia V para la purificación de biobutanol (Secuencia Térmicamente Acoplada).

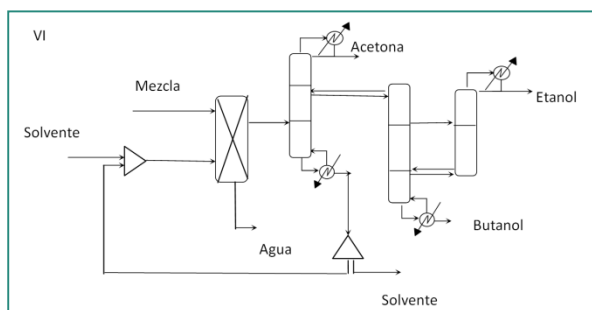


Figura 7: Secuencia VI para la purificación de biobutanol (Secuencia Térmicamente Acoplada).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró encontrar los valores de  $K_c$  y  $T_i$ , que minimizan el valor de IAE; para los lazos de acetona y butanol. En las Tablas 2 y 3 se muestran los valores de sintonización con el valor mínimo de IAE obtenido.

En las Figuras 7 y 8 se muestran las respuestas a la perturbación de 0.5%.

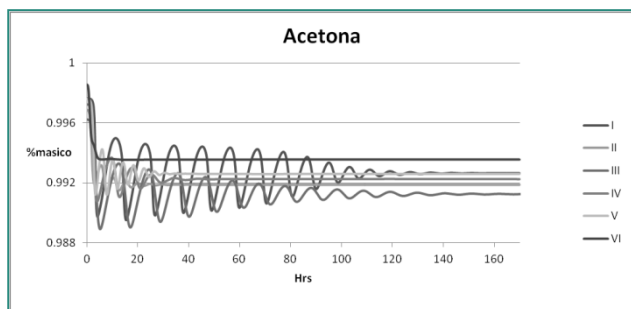


Figura 7: Respuesta de una perturbación al 0.5% a lazo cerrado de la acetona

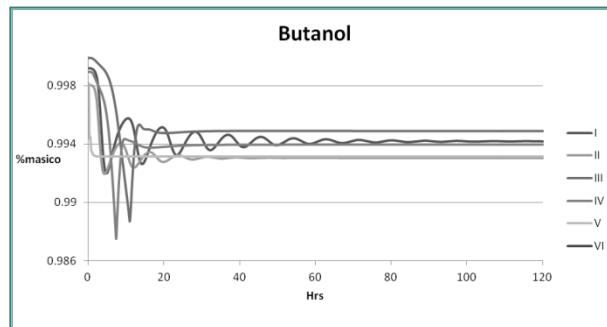


Figura 8: Respuesta de una perturbación al 0.5% a lazo cerrado de la acetona.

En base a los resultados obtenidos podemos observar que para el lazo de acetona la mejor secuencia fue la II, y la segunda mejor fue la V. Ya que presentan valores de IAE de 0.01573976 y 0.02531811 respectivamente.

Para el lazo del butanol, la mejor secuencia fue la V, y la segunda mejor fue la VI. Ya que presentan valores de IAE de 0.00166647 y 0.00911842 respectivamente.

Por lo que podemos deducir que en general la mejor secuencia desde el punto de vista de propiedades de control fue la configuración V, debido a que presenta para ambos lazos de control valores de IAE muy cercanos o iguales a los óptimos.

Además podemos ver que la secuencia convencional I, tiene el peor desempeño dinámico para el lazo de la acetona con un valor de IAE de 0.13939675 y el segundo peor en el lazo del butanol con un valor de IAE de 0.04471066 apenas por debajo del peor que fue obtuvo un valor de IAE de 0.04583352. Por lo que se puede establecer que la presencia de acoplamiento térmico en las configuraciones favorece el desempeño dinámico de las secuencias para purificar el butanol y la acetona.

## CONCLUSIONES

El estudio de las propiedades de control a lazo cerrado en 6 secuencias de destilación para la

purificación de Biobutanol ha sido presentado. Los resultados arrojan que la secuencia V fue la que presenta, en lo general, mejores propiedades de control, por lo que cumple el objetivo global: restricciones de pureza, objetivos económicos-ambientales y buen control.

En base a los resultados puedo concluir que las secuencias térmicamente acopladas presentan mejores propiedades de control en comparación con la secuencia convencional.

Por lo tanto, la dinámica del control obtenida en este trabajo es consistente con otros trabajos similares previamente reportados en la literatura donde existe la presencia de acoplamientos térmicos en las columnas de destilación.[3,4]

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia y a Karen por su apoyo incondicional. Al Dr. Segovia por su tiempo y conocimiento; así como a su equipo de trabajo: Eduardo, Cesar, Julián y Juan José; por su apoyo y amistad brindada.

## REFERENCIAS

### Libro:

Stephanopoulos George, Process Control and Introduction to Theory and Practice. 3ra Ed. Chemical Department of Chemical Engineering Massachusetts Institute of Technology.

### Artículo:

[1] Sanchez- Ramirez et al (2014) Process Alternatives for Biobutanol Purification: Design and optimization. Industrial & Engineering Chemistry Research.

[2] Contreras Zarazúa Gabriel (2014) Tesis: "Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub> en Destilación Extractiva", pg. 72-75

[3]Segovia-Hernandez et al (2013) Process control analysis for intensified bioethanol separation systems. Chemical Engineering and Processing 75 (2014) 119–125

[4] Ramirez-Marquez et al (2013) Dynamic Behavior of Alternative Separation Processes for ethanol dehydration by extractive Distillation. Industrial & Engineering Chemistry Research.