

“Desarrollo de un proceso de bajo costo para la producción de biobutanol.”

Rafael Enrique Olmos Flores (1), Juan Gabriel Segovia Hernández (2), Claudia Erika Morales Hernández (3)

1 [Bachillerato General, Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [rafaenrique.of@gmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [gsegovia@ugto.mx]

3 [Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio de Nivel Medio Superior, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [ce.moraleshernandez@ugto.mx]

## Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de un análisis hecho a distintas configuraciones utilizadas en la purificación industrial del biobutanol. Se analizó su consumo de energía y la cantidad de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) que emiten por su operación. El objetivo es determinar cuál configuración era la más sustentable. Se demostró que las columnas que presentaban reciclos en sus configuraciones y que por ende necesitaban menos consumo energético emitían cantidades menores de  $CO_2$ . Con este análisis queda comprobada la importancia de que se utilicen reciclos másicos en la industria química para disminuir la quema de combustibles fósiles, que representa un grave problema ambiental a escala global.

## Abstract

This work reports an analysis of different configurations used in the industrial purification of biobutanol. Energy consumption and the quantity of emitted carbon dioxide ( $CO_2$ ) were analyzed for its operation. The objective was to determine which configuration was the most sustainable. It was shown that the columns had recycles in their configurations and thus less natural gas needed threw lesser amounts in the emission of  $CO_2$ . This analysis was proven the importance of using recycles in the chemical industry to reduce the burning of fossil fuels, which represents a serious environmental problem on a global scale.

## Palabras Clave

Sustentabilidad, Destilación, Industria química, Reciclos, Columnas

## INTRODUCCIÓN

### Combustibles fósiles: destrucción por beneficio.

La principal problemática ambiental que se deriva del uso de combustibles fósiles consiste en que la combustión de éstos genera contaminación en distintas formas, como atmosférica (del aire), del agua y del suelo; todas estas vertientes de contaminación desembocan en el problema del calentamiento global, que es el aumento de la temperatura promedio de la Tierra. Una de sus causas es el efecto Invernadero, descrito por Joseph Fourier en 1824. Se llama "efecto Invernadero" debido a que los gases que componen la atmósfera actúan como un verdadero invernadero, en el sentido de que retienen el calor generado por la luz solar que llega desde el Sol. Esto hace que la temperatura de la Tierra sea bastante mayor a la que tendría en ausencia de atmósfera, unos 33 grados más, y en cierta forma hace posible la vida en el planeta.

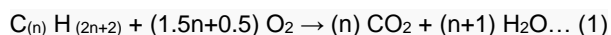
El problema surge con la utilización de combustibles fósiles, que aumentan el calor que se retiene por este efecto, lo que lleva a un calentamiento global inducido por el hombre, a tal grado de que en los últimos años del siglo pasado la temperatura ha aumentado aproximadamente 0.6 grados Celsius, presentando una aceleración mayor en las últimas décadas. [1]

#### *La quema de combustibles fósiles*

Tenemos que la principal causa del calentamiento global son los gases de efecto invernadero, sobre todo dióxido de carbono, pero también metano y óxidos de nitrógeno, que se producen al quemar carbón, petróleo o gas natural. Simples acciones como encender un cerillo o echar a andar un auto contribuyen a la emisión de estos gases que duran siglos acumulados en la atmósfera. Pero también hay que destacar que una cantidad considerable

de estas emisiones proviene de la quema de los combustibles en la industria química para distintos fines; como ejemplo tenemos al proceso de destilación que se utiliza para separar un 95% de las mezclas de fluidos en la industria química; sin embargo tiene la desventaja de que consume grandes cantidades de energía; se estima que un 3% de la energía que se consume en el mundo es utilizada por este proceso. [2].

Procesos como este requieren de calderas que brindan el calor necesario para efectuarse la destilación, dichas calderas son alimentadas por combustibles como el gas natural o combustóleo clase D y E. Estos combustibles están compuestos por una variedad de hidrocarburos (compuestos formados únicamente por átomos de Carbono e Hidrógeno que generalmente se encuentran en las extracciones geológicas del petróleo o en el gas natural) [3] que por Química Orgánica elemental sabemos que al reaccionar con oxígeno nos producen dióxido de carbono (principal gas del efecto invernadero) además de agua en estado gaseoso, tal como se muestra en la (Ec. 1).



#### **FIG. 1. Ecuación general de combustión de hidrocarburos**

Se han hecho estudios acerca de estrategias de ahorro de energía en los procesos de destilación entre los cuales destaca el acoplamiento térmico (uso de ciclos másicos), que reduce hasta en un 30% el consumo de energía comparado con métodos convencionales.

El butanol ( $C_4H_{10}O$ ) es un compuesto químico de características similares a las de la gasolina, incluso se puede usar en autos directamente sin modificarse, se puede obtener de productos vegetales como remolacha o maíz.

En la industria (FIG. 2) el butanol es producido mediante fermentación (fermentación ABE) por la bacteria *Clostridium acetobutylicum*, una bacteria Gram positiva endosporulada que crece en anaerobiosis, pero *C. acetobutylicum* crece

bastante lentamente y además en su proceso fermentativo se produce acetona, etanol e hidrógeno lo que hace un cóctel explosivo algo peligroso, así que se ha intentado mejorar el proceso de varias formas.

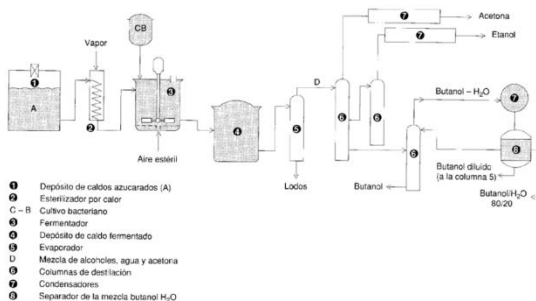


FIG. 1. Producción industrial del butanol.

Actualmente los procesos de producción del butanol son muy costosos (debido a la gran cantidad de energía que requieren) por lo que su implementación como combustible cotidiano tal como la gasolina, aún está lejos de ser posible, por ello se buscan constantemente distintos métodos de optimización en las configuraciones de la industria que lo hagan más accesible en costos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Del artículo “Process Alternatives for Biobutanol Purification: Design and Optimization” [4] se seleccionaron 11 configuraciones distintas utilizadas en la producción industrial del butanol, de cada una de ellas se calculó el consumo de energía de los esquemas y la masa de las emisiones de  $CO_2$ , como se muestra en el ejemplo siguiente:

- Se examinó la simulación en el programa Aspen® V8.6® y se identificó la carga térmica del reboiler de cada columna. (Fig. 3).

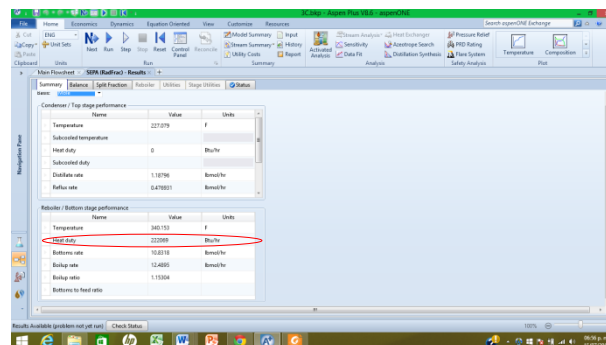


FIG. 2. Identificación de carga térmica columna 1.

Se utiliza la fórmula de la capacidad calorífica, despejando en favor de la masa:  $C_p = \frac{Q}{m} \rightarrow m = \frac{Q}{C_p}$  luego se introduce en la formula el Q encontrado (ver FIG.1) y la Cp establecida para el gas natural (en todos los casos) que es igual a:

$$C_{p\text{GAS NATURAL}} = 45,512.82 \frac{BTU}{Kg}$$

Haciendo las conversiones necesarias se obtiene una masa de 4,879.2 g de Gas natural. Luego se considera la composición de éste (60% propano y 40% butano). Y así se establece qué cantidad de masa representa cada compuesto

Para el caso del butano ( $C_4H_{10}$ ) se considera la masa de gas natural que representa (1,951.68g) y su masa molar:  $58 \frac{g}{mol}$  y se hacen relaciones de estequiometria básica (también se considera la masa molar del  $CO_2$ ):

Tabla 1. Relaciones de estequiometria para el butano.

58 g	1 mol de $C_4H_{10}$	2 mol de $C_4H_{10}$	8 mol de $CO_2$	1 mol de $CO_2$	44g
1,951.68 g	X mol de $C_4H_{10}$	33.649 mol de $C_4H_{10}$	X mol de $CO_2$	134.59 mol de $CO_2$	X gramos de $CO_2$
X= 33.649 mol de $C_4H_{10}$		X= 134.59 mol de $CO_2$		X= 5,922.33 g de $CO_2$	

De esa manera se obtiene que cantidad de  $CO_2$  se tiene para cada compuesto (se hace el mismo

proceso para el propano) y al final se suman las cantidades:

$$8,786.56 + 5,922.33 = 14,704.89 \text{ g de } CO_2.$$

Se hizo lo mismo para cada columna y asimismo para cada una de las once simulaciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 2. Resultados generales de cada simulación

Simulación	Columna	Cantidad de calor en $\frac{BTU}{h}$	Cantidad total de calor en $\frac{BTU}{h}$	% de ahorro de calor por simulación	Masa de $CO_2$ en $\frac{Ton}{h}$	Masa total de $CO_2$ en $\frac{Ton}{h}$	% de ahorro de $CO_2$ por simulación
I	1	323300	557924.58	0*	0.021	0.03603	0**
	2	54464.50			$3.58 \times 10^{-3}$		
	3	6828.08			$4.52 \times 10^{-4}$		
	4	173332			0.11		
II	1	224925	256776.85	53.977	0.014	0.01618	55.093
	2	28756.10			$1.90 \times 10^{-3}$		
	3	3095.75			$2.04 \times 10^{-4}$		
III	1	223331	245827.02	55.940	0.014	0.01610	55.316
	2	18933.10			$1.25 \times 10^{-3}$		
	3	3562.92			$2.35 \times 10^{-4}$		
IV	1	224925	263354.40	52.798	0.014	0.01734	51.814
	2	0			0		
	3	3842.9			$2.54 \times 10^{-3}$		
V	1	222069	229650.05	58.839	0.014	0.01520	57.813
	2	0			0		
	3	7581.05			$5.01 \times 10^{-4}$		
VI	1	224341	233062.58	58.163	0.014	0.01543	57.175
	2	0			0		
	3	8721.58			$5.77 \times 10^{-4}$		
VII	1	224387	301113.50	46.030	0.014	0.01993	44.685
	2	76726.5			$5.08 \times 10^{-3}$		
	3	0			0		
VIII	1	222966	234618.30	57.949	0.014	0.01553	56.898
	2	11652.3			$7.71 \times 10^{-4}$		
	3	0			0		
IX	1	344452	388306.40	30.402	0.022	0.02570	28.671
	2	43854.40			$2.90 \times 10^{-3}$		
X	1	224059	328272.66	41.162	0.014	0.02173	39.690
	2	104213.6			$6.90 \times 10^{-3}$		
XI	1	223981	307635.70	44.861	0.014	0.02037	43.464
	2	83654.70			$5.53 \times 10^{-3}$		

\*Para obtener el porcentaje de ahorro de Q se tomó como base la cantidad más alta registrada tomándose esta como el porcentaje de ahorro 0 (cero) y los demás porcentajes se construyeron en base a esta cifra.

\*\* Para obtener el porcentaje de ahorro de  $CO_2$  se tomó como base la cantidad más alta.

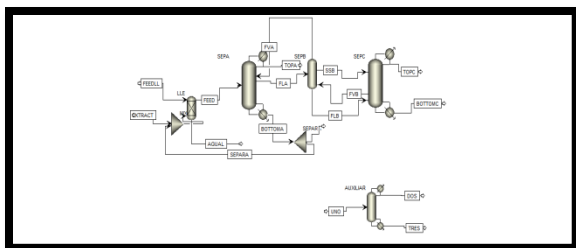


FIG. 3. Simulación VI

Tabla 3. Simulaciones según su eficiencia.

LUGAR DE EFICIENCIA	SIMULACIÓN
1	V
2	VI
3	VIII
4	III
5	II
6	IV
7	VII
8	XI
9	X
10	IX
11	I

La simulación más eficiente es la V ya que emite una cantidad de  $0.01520 \frac{Ton}{h}$  de  $CO_2$  lo que representa un ahorro del 57.8% con respecto a la simulación menos eficiente y requiere 229, 650 .05  $\frac{BTU}{h}$  de gas natural para su funcionamiento lo que representa un ahorro de 58% con respecto a la simulación menos eficiente. Esta configuración presenta varios reciclos (acoplamientos térmicos) en su estructura.

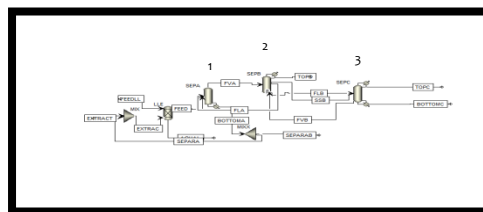


FIG. 4. Simulación V

La simulación I ocupó el último lugar debido a que emite una cantidad de  $0.03603 \frac{Ton}{h}$  de  $CO_2$  y requiere de  $557,924.58 \frac{BTU}{h}$  de gas natural para su funcionamiento lo cual representa un gasto y emisión 58% mayor que la simulación más sustentable (V). Su configuración carece de reciclos.

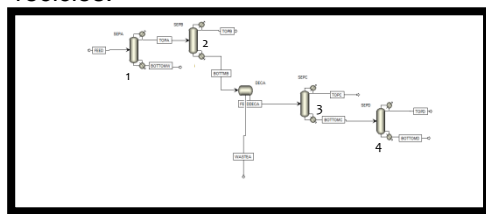


FIG. 5. Simulación I

La simulación VI ocupó el segundo lugar de eficiencia. Emite una cantidad de  $0.01543 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$  de  $\text{CO}_2$  lo cual significa un ahorro del 57.175% con respecto a la simulación menos eficiente, y requiere de  $233,062.58 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$  de gas natural para su funcionamiento lo cual representa un ahorro del 58.163% respecto a la simulación menos eficiente. Esta configuración también presenta varios reciclos (acoplamientos térmicos) en su estructura.

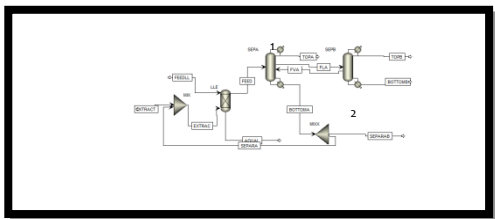


FIG. 6. Simulación IX, 10° lugar de eficiencia.

Es evidente que las configuraciones que incluyen reciclos son más eficientes o sustentables ya que necesitan menos cantidad de gas natural para su funcionamiento y emiten al ambiente cantidades menores de  $\text{CO}_2$  que las configuraciones que carecen de reciclos.

## CONCLUSIONES

Quedó demostrado que las configuraciones que incorporan reciclos son más limpias o sustentables ya que emiten menor cantidad de  $\text{CO}_2$  que las configuraciones que carecen de ellos.

La industria química podría desarrollar más procesos que incorporen reciclos y con ello cumplir acuerdos bioéticos como la regulación de emisiones de gases de efecto invernadero sin sacrificar su producción, además de que ahorrarían una cantidad considerable de capital al verse reducidas las cantidades necesarias de combustible para sus calderas.

Sin duda este método es aplicable a la producción industrial del biobutanol ya que representa un proceso sustentable, limpio y barato esto sumado a los beneficios que ya nos trae este biocombustible, que tiene oportunidad de ser uno de los combustibles más usados en el futuro y que no contribuya al calentamiento global como los combustibles fósiles.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guanajuato, por impulsar los Veranos de investigación a través de la Dirección de Investigación y Posgrados y a todas las personas de las distintas instancias que hacen posible el programa. También al personal y compañeros de la División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato que fueron de gran apoyo en la realización del proyecto.

## REFERENCIAS

### Libro:

Doménech, X. (1994). *Química Ambiental. El impacto ambiental de los residuos*. 2ª Edic., Miraguano Ediciones, Madrid.

Moulijn, J., Makkee, M., Van Diepen, A. (2001). *Chemical Process Technology*. 1ª Edic. British Library Cataloguing. Reino Unido. (pp.)

Cossío Vargas, E. (2012). *Estudio de simulación de la esterificación de mezclas de ácidos grasos orgánicos usando destilación reactiva*. Trabajo de tesis. Universidad de Guanajuato. (pp. 20-28).

Avilés, A. (2013) *Extracción líquido-líquido como método de separación de la mezcla etanol-agua*. Trabajo de tesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. (pp. 7-12).

### Artículo:

[2] Márquez-Muñoz, J. A.; Segovia-Hernández, J. G.; Hernández, S. (2005). Propiedades de control de esquemas de destilación alternativos a las secuencias térmicamente acopladas con columnas laterales para la separación de mezclas ternarias. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Sin mes, 231-240.

[4] Sánchez, E., Segovia, J., Quiroz, J., Hernández, S., Bonilla, A. (2015). Process Alternatives for Biobutanol Purification: Design and Optimization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Sin mes, 351-358.

### Internet:

[1] Desconocido. Universidad De Las Américas Puebla. México. 2010. Recuperado de:  
[http://caterina.udlap.mx/udl\\_a/tales/documentos/lad/idigoras\\_p\\_j/ca pitulo2.pdf](http://caterina.udlap.mx/udl_a/tales/documentos/lad/idigoras_p_j/ca pitulo2.pdf)

[3] Desconocido. Hidrocarburos. 2011. Argentina. Recuperado de:  
<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Hidrocarb.htm>