

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA DESTILACIÓN EN CONTINUO DE UNA MEZCLA BINARIA ETANOL-AGUA.

DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS FOR CONTINUOUS DISTILLATION OF ETHANOL-WATER BINARY MIXTURE.

Damian Manayay Sanchez¹
Williams E. Castillo Martinez²
Soledad M. Quezada Berru³

Fecha de recepción: 17 mayo 2015
Fecha de aceptación: 20 de setiembre 2015

Resumen

El presente proyecto permitió determinar los Parámetros óptimos para la Destilación en Continuo de una Mezcla Binaria Etanol-Agua, aplicando bajas presiones para romper el azeotropo que se forma entre el etanol y el agua a concentraciones de 96% (v/v). Se trabajó a presiones de 300 a 500mbar y a reflujos de de 0.7 a 0.9.

Los parámetros óptimos para obtener la máxima concentración de etanol % (v/v) son presión 300mBar y reflujo de 0.9, obteniéndose un máximo de concentración de etanol de 98.78% (v/v), demostrando que bajas esas condiciones se rompe el azeotropo de la mezcla binaria etanol-agua.

Palabras clave: *Destilación. Mezcla azeotropica. Bajas presiones. Reflujo.*

Abstrac

The present research allowed to determine the optimal parameters for continuous distillation of a binary mixture ethanol-water, using low pressure to break the azeotrope formed between ethanol and water at concentrations of 96% (v / v). The work was done at pressures of 300 to 500mbar reflux and 0.7 to 0.9.

The optimum parameters for maximum concentration of ethanol% (v / v) is 300 mbar pressure and reflux of 0.9, yielding a maximum concentration of ethanol was 98.78% (v / v), showing that these conditions low azeotrope is broken of ethanol-water binary mixture.

Keywords: *Distillation. Azeotrope. Low pressures. Reflux.*

1. Introducción

¹ Adscrito a la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Facultad de Ingeniería. Doctor. Universidad Le Cordon Bleu. Miraflores Lima, Perú. damian.manayay@ulcb.edu.pe.

² Adscrito a la Escuela de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior. Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo. Magister. Universidad Nacional del Santa, Ciudad Universitaria Urb. Bellamar S/N. Nuevo Chimbote Ancash, Perú. williamsscm@hotmail.com.

³ Adscrito al Departamento de Agroindustria. Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Perú. Solmerqb@hotmail.com

A lo largo de varios años y cada vez con más fuerza, la industria mundial tiene como una de sus materias primas fundamentales el etanol. El cual se obtiene en mezcla con el agua a partir de la fermentación. Pero como se sabe, la separación de esta mezcla es difícil debido a sus afinidades químicas.

Generalmente y casi en el 95% de las industrias en el mundo, el etanol se obtiene por la vía fermentativa de azúcares, dando esto una mezcla de etanol-agua, la cual se deberá separar con la mayor eficiencia posible y con la clara intención de desplazar el punto azeotrópico de esta mezcla. Para ello se plantea usar un sistema de destilación continua a presión reducida con la finalidad de desplazar el azeótropo y obtener un alcohol etílico puro.

Debido a los problemas ambientales, las pocas reservas de petróleo y otros beneficios del de uso etanol que incluyen mejoramiento del octanaje, y un medio ambiente más ecológico, es que el gobierno peruano con el Proyecto de Ley N° 4844 “Ley de Promoción de los Biocombustibles líquidos en el Perú”, busca reforzar los avances en materia de esta lucha anticontaminante, tendiendo pues a lograr que la economía nacional desarrolle su vocación productiva, con la cual se usara de Alcohol Carburante en las gasolinas que se comercialicen en el país en un porcentaje de 7,8 (siete coma ocho) por ciento. Las mezclas que contengan 92,2% de gasolina y 7,8% de Alcohol Carburante se denominan gasolinas ecológicas según grado de octanaje.

El objetivo del proyecto fue determinar los parámetros óptimos para la destilación en continuo de una mezcla binaria etanol-agua para producir etanol con más de 95% de concentración.

2. Materiales y métodos

En la investigación se utilizó los reactivos Etanol 96% v/v y agua destilada. Se realizó una determinación de parámetros óptimos para la mezcla de etanol – agua y un análisis del efecto de la presión y relación de reflujo en el proceso de destilación rectificada en flujo continuo de la mezcla binaria etanol – agua. Para la determinación de parámetros óptimos de la mezcla etanol – agua se utilizó una unidad de destilación Continua automatizada mod. UDCA/EV.

Para la determinación de los parámetros óptimos, se procedió a preparar la mezcla etanol – agua de 4000 mL. a 96° GL (v/v), incorporación al Destilador llenando el calderín y el tanque, hasta que comienza a salir mezcla hidroalcohólica por el tanque de cola D3. La unidad de destilación continua trabaja con un computador donde se regulan los parámetros de trabajo como son Presión de vacío, Razón de reflujo, Caudal de alimentación, Potencia de la resistencia del calderín y caudal de agua de enfriamiento, estos dos (2) últimos fueron dejados constantes.

Para dar inicio a la destilación previamente se conectó al equipo el compresor, que proporcionara aire para el funcionamiento de las bombas electroneumáticas (para el vacío y para la entrada de agua de enfriamiento del condensador).

El análisis estadístico se realizó a través de un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 3x3 con 2 puntos centrales.

Modelo Estadístico:

$$Y_{ij} = U + b.V_i + c.l_j + d.(V.l)_{ij} + e.V_i^2 + f.l_j^2 \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

Y_{ij} : Observación individual

U: Media general

V_i : Presión de destilación. (3 niveles $i= 1,2,3$)

V_1 : 0,4 bar

V_2 : 0,7 bar

V_3 : 1,0 bar

l_j : Reflujo. (3 niveles $j= 1,2,3$)

M_1 : 0.2

M_2 : 0.5

M_3 : 0.8

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en las distintas condiciones de operación, se muestran en los Tabla 01. Es importante resaltar que estos resultados corresponden a procesos en donde los siguientes parámetros se mantuvieron constantes: Concentración en volumen de mezcla a destilar: 96 % (v/v), Porcentaje de potencia total de resistencia calentadora de calderín: 40, Volumen total de mezcla a ser destilado: 5 litros, Volumen mezcla en calderín: 2.5 litros, Volumen de mezcla a alimentar en el proceso: 1 litros y Caudal de alimentación: 4 L/h.

Tabla 1

Resultados de la Concentración de Etanol % (v/v) para las diversas Condiciones de experimentales según el Diseño estadístico.

Corridas	Presión mBar	Reflujo	Concentración de Etanol % (v/v)
1	400	0.90	97.46
2	400	0.80	97.25
3	400	0.80	97.38
4	500	0.80	95.8
5	400	0.80	97.46
6	300	0.70	98.18
7	400	0.70	97.16
8	500	0.70	95.1
9	500	0.90	96.1
10	300	0.90	98.91
11	300	0.80	98.49

Fuente: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Nuevos Productos de la Universidad Nacional del Santa – Nuevo Chimbote

A partir de la matriz experimental, y de la respuesta Y (Concentración de Etanol % (v/v)), Tabla 1, fueron construidas las superficies de respuesta, a través del software Design Expert 7.0, el cual permitió a la vez, un análisis simultáneo de la influencia de la presión y Reflujo, en los resultados de Concentración de Etanol. De este análisis es generado el modelo matemático empírico que permite dentro de las condiciones establecidas estimar la Concentración de Etanol en cualquier condición experimental, además de permitir evaluar los factores que tienen influencia estadísticamente significativa en el proceso, así como las interacciones entre las variables.

Tabla 2

Análisis de varianza para la respuesta concentración de Etanol % (v/v)

Variable	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	p – valor
Modelo	5	13.15	2.63	87.20	<0.0001
Presión: A	1	12.27	12.27	406.86	<0.0001
Reflujo: B	1	0.69	0.69	22.78	0.0050
AB	1	0.018	0.018	0.60	0.4721
A²	1	0.13	0.13	4.38	0.0905
B²	1	0.010	0.010	0.34	0.5863
Residual	5	0.15	0.030		
Lack of Fit	3	0.13	0.043	3.81	0.2150
Error	2	0.022	0.011		
Total	10	13.30			
r² = 0.9887					
Desviación estándar = 0.17					

En la Tabla 02 se presenta el análisis de varianza, con un valor de F del modelo es de 87.20 indicando que el modelo es estadísticamente significativo, a un nivel confianza al 95%, así mismo los p-valor menores a 0.05 de las variables analizadas en el ANOVA son significativos al 95% de confiabilidad, siendo la Presión y Reflujo en sus términos lineales los significativos para el modelo. Así mismo de este análisis se presenta el estadístico R² que indica que el modelo ajustado explica el 98.87% de variabilidad alrededor de la media para la variable respuesta. El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0.17. El Ajuste de la Variable Respuesta al Modelo Matemático Empírico de Segundo Orden en Función de las Variables Independientes, quedando el modelo de la siguiente manera:

$$\text{Concentración de Etanol \% (v/v)} = 94.82702 - 1.42632 \times [10]^{-3} \times \text{presion} + 10.83070 \times \text{reflujo} + 6.75 \times [10]^{-3} \times \text{presion} \times \text{reflujo} - 2.84421 \times [10]^{-5} \times [\text{presion}]^2$$

En la Figuras 2 se muestran las superficies de respuesta y gráfico de contorno, en el cual se puede observar cómo interactúan las variables sobre la concentración de etanol, se observa que a mayor reflujo la concentración de etanol aumenta y conforme disminuye la presión esta concentración aumenta, resultados que concuerdan la bibliografía. Con lo cual se puede decir que bajas presiones se logra romper el azeotropo de la mezcla binaria etanol-agua, y a reflujo cercano 1 se logra obtener concentraciones de etanol más altas.

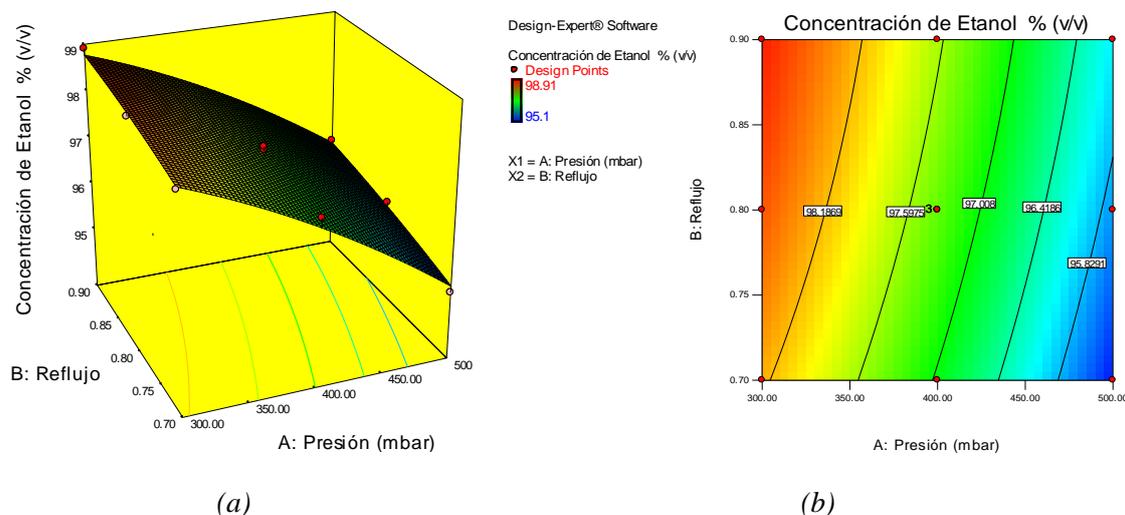


Figura 2
 Superficie de respuesta (a) y de contorno (b) para la variable respuesta concentración de etanol % (v/v)

A partir de la matriz experimental, y de la respuesta Y (Concentración de Etanol % (v/v)), Tabla 01, fueron construidas las superficies de respuesta, a través del software Design Expert 7.0, el cual permitió a la vez, un análisis simultáneo de la influencia de la presión y Reflujo, en los resultados de Concentración de Etanol. De este análisis es generado el modelo matemático empírico que permite dentro de las condiciones establecidas estimar la Concentración de Etanol en cualquier condición experimental, además de permitir evaluar los factores que tienen influencia estadísticamente significativa en el proceso, así como las interacciones entre las variables.

En la figuras 02 se muestran las superficies de respuesta y grafico de contorno, en el cual se puede observar cómo interactúan las variables sobre la concentración de etanol. De la figura 02 Se puede observar que a mayor reflujo la concentración de etanol aumenta y conforme disminuye la presión esta concentración aumenta, resultados que concuerdan la bibliografía. Con lo cual se puede decir que bajas presiones se logra romper el azeotropo de la mezcla binaria etanol-agua, y a reflujo cercano 1 se logra obtener concentraciones de etanol más altas.

4. Conclusiones

Conforme se disminuye la presión en el procesos de destilación en continuo se rompe el azeotropo de la mezcla binaria etanol-agua, ya que a condiciones atmosféricas la máxima concentración de etanol que se puede obtener es de 96% (v/v).

Los parámetros óptimos para obtener la máxima concentración de etanol % (v/v) son presión 300mBar y reflujo de 0.9, obteniéndose un máximo de concentración de etanol de de 98.78% (v/v).

5. Referencias

Black. C. (1980) *Distillation modeling of ethanol recovery and dehydration processes for ethanol and gasohol*. Chemical Engineering Progress, 76: 78-85.
 Chianese, A. y Zinnamosca, F. (1990). “Ethanol Dehydration by Azeotropic Distillation with Mixed Solvent Entrainer”, *The Chemical Engineering Journal*, Vol. 43, pp. 59-65.

- Geankoplis, C. (1995). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Segunda Edición. Editorial Continental S.A. México. pp. 551-592.
- GiL. I., Uyazan. A. (2003). *Simulación de la deshidratación de etanol azeotrópico por destilación extractivo*. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero químico. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Ibarz, A. y Barboza, G.(2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de los Alimentos*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid-España. pp. 684-695
- Meirelles, A. (1992). “*Ethanol Dehydration by Extractive Distillation*”, Journal Chemistry and Tech Biotechnology, Vol. 53, pp.181-188.
- Ocon, J. y Tojo, G.(1982). *Problemas de Ingeniería Química Operaciones Básicas*. Tomo I. Tercera Edición. Editorial Aguilar S.A. Madrid. España. pp. 280-327.
- Powers, E.(2001). “*The Transport and Fate of Ethanol and BTEX in Groundwater Contaminated by Gasohol*, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 31, No. 1, pp. 79-86.
- Ramírez , A. (2010). *Desarrollo de un Experimento de Destilación para Mezclas Binarias a nivel Planta Piloto*. Extraído de <http://Catarina.udlap.mx/>. en Junio del 2010. 2006.