

MODELADO DE DESTILACIÓN EN CONTINUO POR ARRASTRE DE VAPOR

Julio C. Barros Castillo, Guadalupe del C. Rodríguez, Miguel Ángel García, Víctor Robles, ITV, Veracruz, México; José D. Padilla, CIATEJ, Guadalajara, México

*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.
Av. Normalistas # 800 Col. Colinas de la Normal 44270 Guadalajara, Jalisco, México.*

Instituto Tecnológico de Veracruz.

*Calz. M.A. de Quevedo 2779 Formando Hogar, 91860 Veracruz, Veracruz-Llave
01 229 934 1500*

Introducción

La citricultura es una de las actividades económicas más importantes dentro del sector agrícola en México. En el periodo de 1993 a 2006, México ocupó el primer lugar de productores de limas y limones en el mundo, con un volumen de producción de 1 865.91 miles de toneladas métricas, lo cual representa un 19 % de la producción mundial, seguido de India y Argentina dejando a Estados Unidos en quinto lugar.

Los aceites esenciales es uno de los productos obtenidos del procesamiento del limón persa, los cuales están constituidos por mezclas de componentes volátiles y no volátiles, como terpenos (principalmente monoterpenos), sesquiterpenos, alcoholes superiores, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres, alcanfores o ceras.

Los aceites cítricos contienen alrededor de 96% terpenos, 3% compuestos oxigenados, y 1% no volátiles como ceras y pigmentos (2).

El proceso de destilación más común para obtener aceites cítricos es el de la destilación por arrastre de vapor por lotes (1) los cuales presentan altos consumos energéticos, tiempos largos de contacto con la consecuente degradación de compuestos presentes en el aceite.

Una posible alternativa para mejorar los problemas presentados en el proceso tradicional de extracción de aceite destilado, es el proceso de destilación en continuo por arrastre de vapor en proceso de patente (3) diseñado en CIATEJ.

En este trabajo de investigación se llevo a cabo un modelado matemático del proceso en continuo.

Metodología

El modelo matemático desarrollado para el proceso de destilación en continuo para los 4 compuestos más abundantes presentes en el aceite esencial destilado de limón (d-Limoneno, γ -Terpineno, β -Pinenos, α -Terpineol, Neral y Geranial). El modelo matemático esta basado el cálculo del equilibrio en base a los coeficientes Unifac, en el cálculo del coeficiente de Difusión e la fase líquida, en los procesos en balances de masa y energía, ley de Raoult, ley de Dalton, la Ecuación de Antoine y suma de fracciones mol. El conjunto de ecuaciones diferenciales y las ecuaciones no lineales fueron resueltas utilizando la función ODE45 del software Matlab.

Para un proceso de 5 etapas (Fig. 1) El Balance de masa global en estado no estacionario (ec'n. 1).

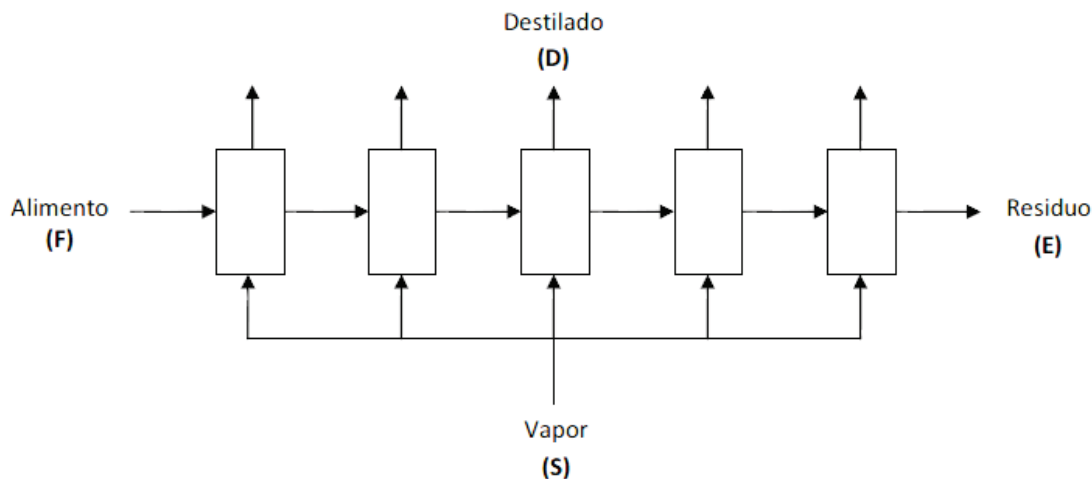


Fig. 1 Diagrama esquemático de las etapas del proceso de destilación en continuo.

Las ecuaciones consideradas para el desarrollo del modelo matemático fueron las siguientes:

Balance de masa por componente en estado no estacionario para la fase líquida (1)

$$V \frac{dC_l}{dt} = FC_{in} - WC_s - K_a V (C_l - C_{il}) \quad (1)$$

Balance de masa por componente en estado no estacionario para la fase Vapor (2)

$$V \frac{dC_g}{dt} = K_a V (C_s - C_{il}) - DC_D \quad (2)$$

Para el cálculo de las concentraciones en la fase vapor para el agua y cada uno de los aceites esenciales fue estimado mediante el uso de ley de gases ideales (Ec'n. 3).

$$C = \frac{P^o}{RT} \quad (3)$$

La presión parcial del agua de y de cada uno de los compuestos fue calculada con las ecuaciones de Antoine (Ec'n. 4).

$$P^o = 10^{A + \frac{B}{T} + C \log T + DT + ET^2} \quad (4)$$

Los coeficientes de actividad fueron calculados usando el método UNIFAC mediante el método de Newton Rhapsion para resolver el conjunto de ecuaciones no lineales que

permitieran calcular el punto de burbuja igualara a la presión atmosférica de 640 mm de Hg (Patm), permitiendo calcular así los coeficientes de actividad y las presiones parciales de cada uno de los compuestos que (Ec'n. 5).

$$P_w + \sum_{i=1}^n \gamma(T, x) P_k^o x = P_{Atm} \quad (5)$$

Ley de Raoult modificada (4) expresada en función de los coeficientes de actividad calculado en base al método UNIFAC nos permite estimar el equilibrio liquido vapor (Ec'n. 6).

$$y = \frac{\gamma(T, x) P_k^o x}{P_T} \quad (6)$$

Dado que se ha reportado en literatura que el paso limitante es debida a la trasferencia de masa en la fase liquida, se tomo un k_L promedio con un orden de magnitud de $1e-5$ m/s. en función de un cálculo previo del coeficiente de difusión. Para efecto de simplificar se considero que la saturación de las burbujas de vapor es suficiente para alcanzar el equilibrio directo entre la concentración de la fase liquida y la concentración de la fase vapor. El modelo se resolvió para las 5 etapas.

Las simulaciones se realizaron tomando como base los siguientes parámetros de referencia (Tabla 1):

Tabla 1. Parámetros de referencia para el modelo.

| τ | 4 h |
|------------------------------------|--------------|
| S/F | 0.6 Kg/min |
| D | 0.020 Kg/min |
| Contenido de aceite en jugo | 0.9 % |

De Los parámetros anteriores El consumos de vapor del equipo de destilación en continuo (JL/a/2001/000027) requiere un consumo menor al requerido por los alambiques tradicionales, los cuales requieren un suministro del orden de 1.2 Kg Vapor/Kg de Jugo, además de requerir un tiempo de residencia (τ) de 8 h mientras que el presente equipo solo requiere 0.6 Kg Vapor/Kg de Jugo y un tiempo de residencia (τ) de 4 h.

La composición inicial del aceite determinada por HPLC () para los cuatro compuestos considerados se menciona a continuación (**Tabla 2**).

| Composición inicial del aceite | |
|--------------------------------------|---------|
| (% Area) | |
| d-Limoneno | 0.5689 |
| γ-Terpineno | 0.0978 |
| β-Pino | 0.0440 |
| α-Terpineol | 0.0628 |
| Neral | 0.00268 |
| Geranial | 0.00507 |

El conjunto de ecuaciones diferenciales para los balances de masa en estado dinámico y las ecuaciones no lineales para la predicción del equilibrio líquido vapor fueron programados en el software MATLAB ®.

Resultados

La simulación de las fracciones mol en función del tiempo para una de las etapas del equipo podemos observar dos fases una fase dinámica y otra estacionaria. En la Fig. 1 observamos como el modelo matemático predice el tiempo necesario para que el equipo alcance el estado estacionario es de alrededor de 200 minutos lo cual concuerda con la experimentación. En cuanto al perfil de concentración vs tiempo para cada una de las etapas no se observaron diferencias significativas bajas entre cada una de las etapas. El modelo en general presento buena predicción en relación a los datos experimentales. La concentración calculada por el modelo presento un % de variación menor al 1.5 % para el limoneno y beta pino 21% las diferencias mostradas pueden deberse ha varios factores uno de ellos al hecho que los 6 compuestos representan el 75 % de la composición del aceite y a la necesidad de contar con un sistema de control del proceso de destilación en continuo (Fig. 1).

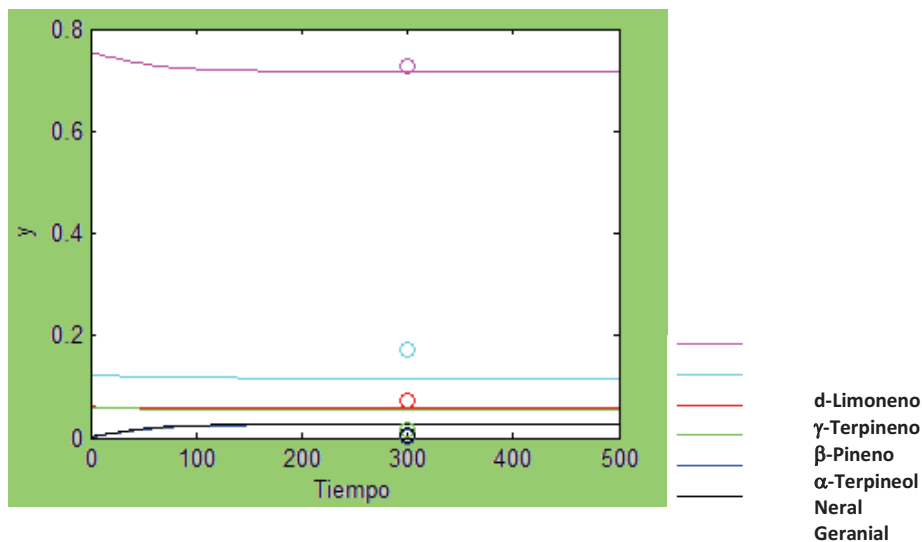


Fig. 1. Grafica de la simulación de la fracción mol vs en función del tiempo para una etapa

Conclusiones

El modelo desarrollado predijo las concentraciones para el d-Limoneno y el β -Pineno con una desviación del 1.5 y 20% respectivamente.

El modelo constituye una herramienta importante útil para investigaciones para un mayor número de etapas y en el cual se considere el cálculo de coeficientes de transferencia de masa.

Agradecimientos

Agradecemos al Fondo Mixto de Veracruz- Gobierno del Estado de Veracruz Ignacio de la Llave por el financiamiento para el desarrollo de este proyecto.

Referencias

1. Kimball, D. A., Procesado de Cítricos. Acribia S.A. Zaragoza, España. (2002).
2. Raeissi, S. & Peters, C. J., Experimental determination of high pressure phase equilibria of the ternary system carbon dioxide + limonene + linalool. Journal of Supercritical Fluids 35; 10-17. (2005).
3. Vega, H., Padilla, F., Rodríguez, E., (2001). Sistema para la Extracción Continua de Aceites Esenciales. Solicitud de patente JL/a/2001/000027. México.