

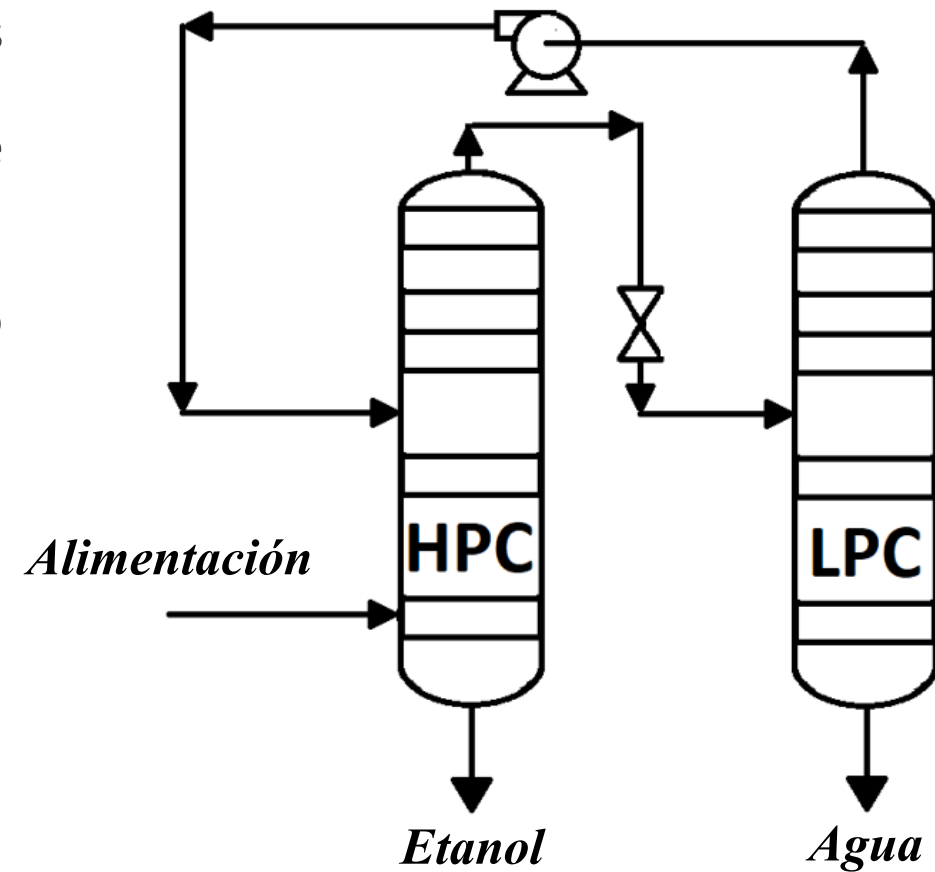


Control de columnas PSD de separación de alcohol absoluto

EDUARDO VERA VAN GELDEREN

Separación PSD del sistema etanol-agua

El azeótropo homogéneo de la mezcla etanol-agua es sensible a los cambios de presión. Esto permite usar el sistema de separación PSD, con dos columnas, que trabajan a distintas presiones. Se propone el sistema de separación donde la alimentación de la mezcla etanol-agua se hace en la columna de alta presión, lo que requiere un equipo de menor capacidad para esta columna [3].

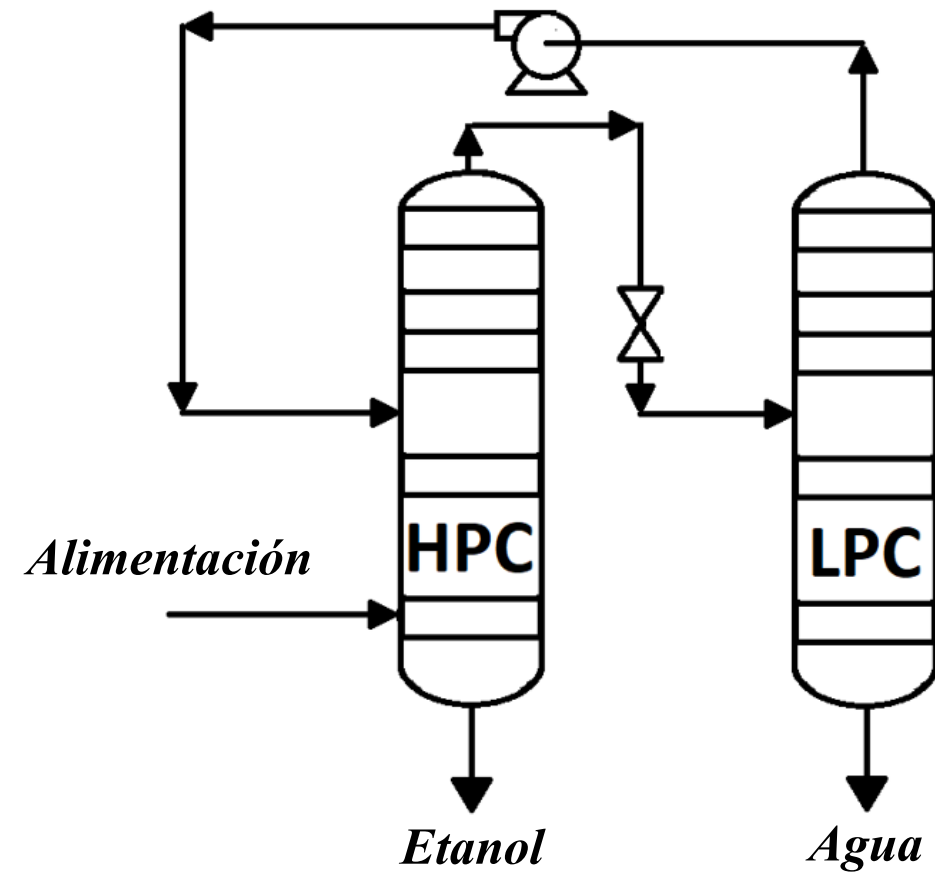


Separación PSD del sistema etanol-agua

La mezcla etanol-agua es alimentada en la columna de alta presión (HPC) una concentración de alcohol del 88.3 %. Esta columna trabaja a 10 bar.

La corriente de fondo de la primera columna es prácticamente alcohol absoluto y por el tope se obtiene el azeótropo que transporta a la segunda columna (LPC) operada a presión atmosférica.

En esta torre se obtiene por el fondo prácticamente agua pura mientras que el destilado se comprime y se alimenta en un plato de la primera columna.



Simulación de estado estacionario

La separación etanol-agua vía PSD es una opción factible indicando modelos termodinámicos que podrían ser usados tanto para simulación estática como dinámica del proceso [1].

Simuladores de proceso comerciales proveen modelos de predicción de propiedades termodinámicas que ajustan razonablemente bien para las mezclas alcohólicas [5].

El modelo NRTL-RK usando el simulador Aspen Plus® v9 provee una muy buena predicción de las propiedades termodinámicas del sistema etanol-agua en el rango de presiones en los que debe trabajar el sistema de separación [4].

Simulación de estado estacionario

Partiendo de un caso base,

se especificaron el flujo, composición y estado de la alimentación.

y se obtuvieron los caudales y composiciones de cada corriente.

Se diseñó del proceso estableciendo las condiciones de operación, el número de etapas de separación, plato de alimentación, etc.

Las mejores condiciones de operación se obtienen ajustando las relaciones de reflujo de las columnas para lograr la separación que se requiere, y fundamentalmente la composición de la corriente enriquecida en alcohol

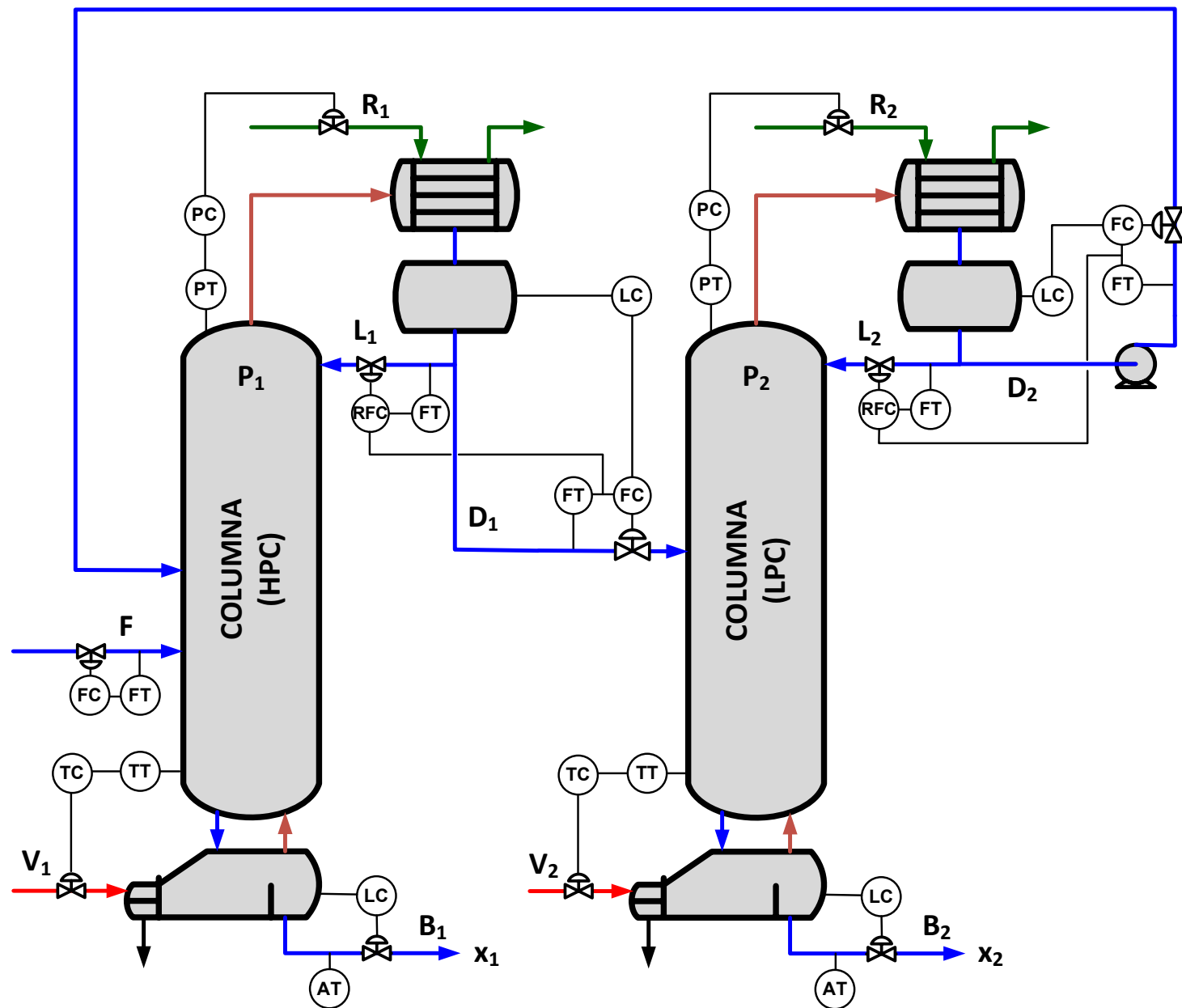
Sistemas de control

Deben controlarse los niveles tanto en los rehervidores como en los acumuladores de los condensadores ya que son variables no autorreguladas. Se propone que en estos lazos se manipulen los flujos de salida.

Resulta imprescindible mantener constante son las presiones de trabajo en cada columna, ya que esto es la base del sistema de separación PSD. Lo más eficiente es manipular el flujo de refrigerante en los condensadores.

Para controlar las composiciones, se debería manipular en cada columna los flujos de energía. Ante la dificultad de medir composiciones con la sensibilidad adecuada, se propone, controlar la temperatura en un plato en la zona de agotamiento de las columnas.

Diagrama P&I del sistema de control de separación PSD de la mezcla etanol-agua



Resultados de la simulación

Las condiciones de estado estacionario para el sistema corresponden a una destilería de la provincia de Tucumán [4]. El flujo de alimentación es de 6.25 m³/h de etanol al 88.3 % en volumen.

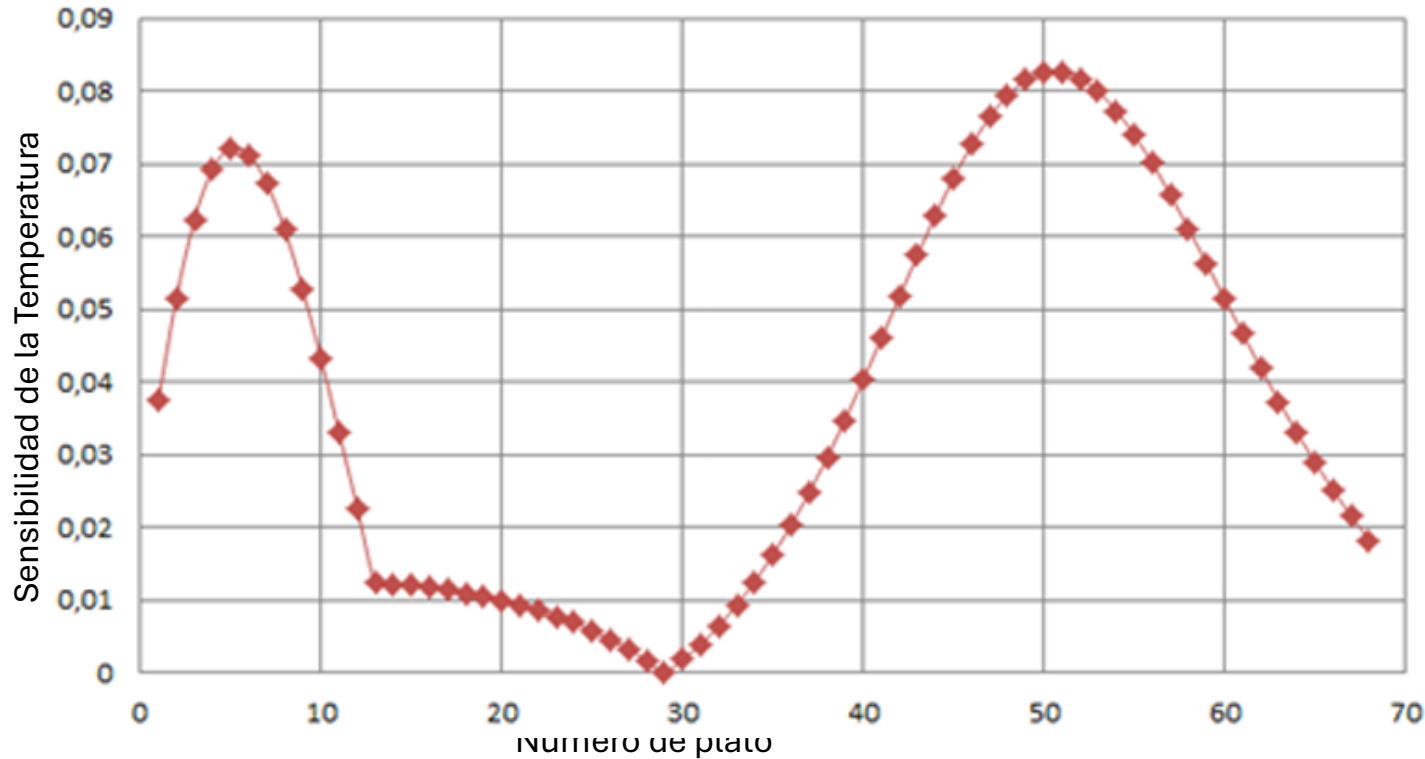
Por simulación puede definirse el plato en el que se debe instalar el sensor de temperatura en cada columna. Skogestad ha sugerido diversos criterios para esta elección [6]. Se empleó el método de la *Máxima Sensibilidad* de la temperatura respecto de la variable manipulada.

Con este fin calculó el cambio en el perfil de temperaturas para un valor superior en 1 % del flujo de energía que produce el rehervidor de cada columna y se calcularon las derivadas:

$$Sensibilidad_i = \frac{\partial T_i}{\partial Q_R} \quad i = 1, 2, \dots, N_P$$

Donde T_i es la temperatura en el plato i , contado desde el fondo, Q_R es el flujo de calor proporcionado por el rehervidor y N_P es el número de platos.

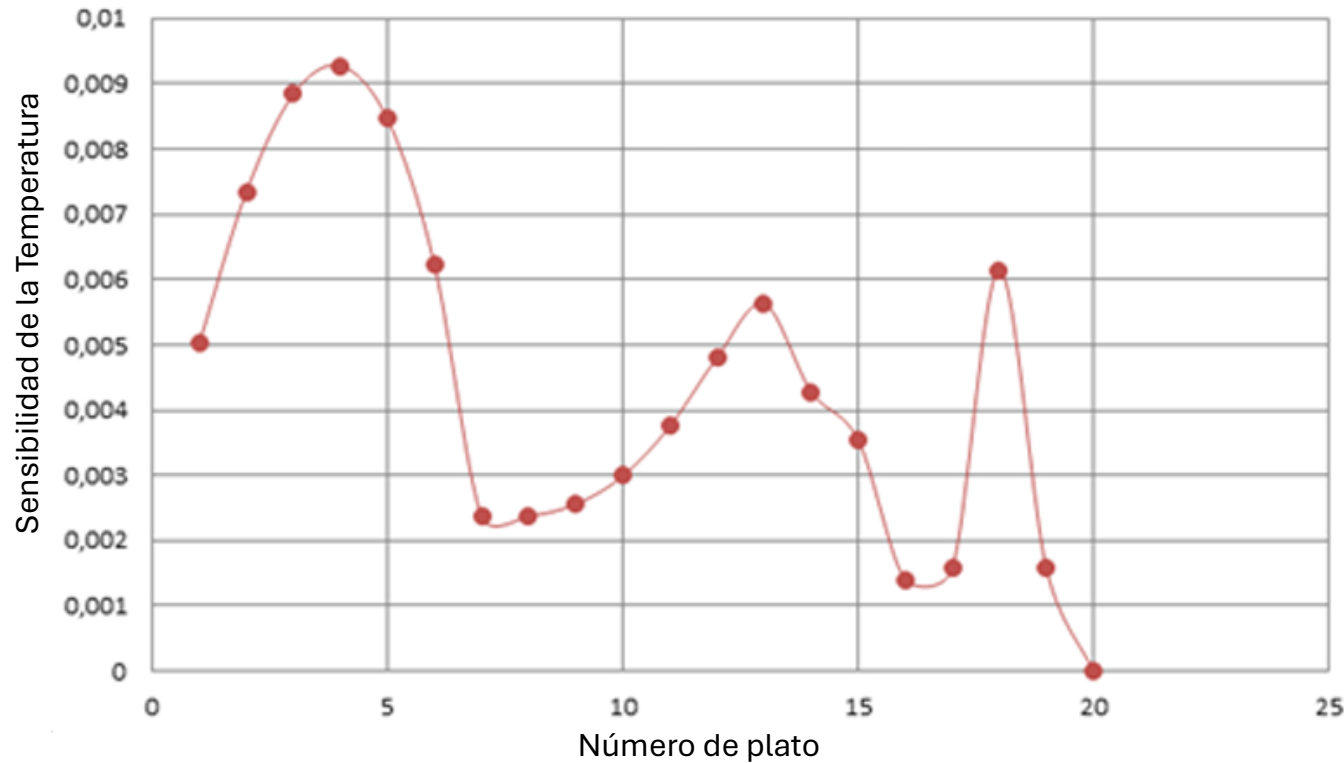
Resultados de la simulación



Sensibilidad de las temperaturas de los platos de la columna de alta presión

Se puede observar que la máxima sensibilidad en la columna de alta presión se presenta para un plato muy alejado del fondo. Si el sensor se localiza en el plato 51, la dinámica resultaría muy lenta. Por tal razón, se elige para la instalación del medidor de temperatura al plato 5, que se corresponde un máximo local, levemente menor que el correspondiente a la etapa 51.

Resultados de la simulación



Para la columna de baja presión, la situación es directa, siendo el plato 4 el de máxima sensibilidad y, por lo tanto, allí se debería alojar el elemento de medición.

Sensibilidad de las temperaturas de los platos de la columna de baja presión

Resultados de la simulación

A partir del caso base se evalúan los cambios que experimentan las dos variables controladas cuando se cambia una variable manipulada (el caudal del fluido calefactor en uno de los rehervidores), manteniendo constante el flujo del otro. Esto permite el cálculo de las ganancias estáticas de relacionan temperaturas con flujos de energía de los hervidores:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_1}{\partial V_1} & \frac{\partial T_1}{\partial V_2} \\ \frac{\partial T_2}{\partial V_1} & \frac{\partial T_2}{\partial V_2} \end{bmatrix}$$

Donde las variables T_j y V_j se corresponden con las variables controladas y manipuladas según el diagrama P&I.

Resultados de la simulación

A partir de la matriz de ganancias estáticas **K** se puede evaluar el arreglo de Ganancias Relativas **RGA** [7]:

$$\mathbf{RGA} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda & 1 - \lambda \\ 1 - \lambda & \lambda \end{bmatrix}$$

$$\text{Donde } \lambda = \frac{1}{1 - \frac{K_{12} K_{21}}{K_{11} K_{22}}}$$

Se evaluaron las ganancias considerando ascensos en las variables manipuladas (UP) y descenso (DOWN) con los siguientes resultados:

$$\mathbf{RGA}_{UP} = \begin{bmatrix} 1.014 & -0.014 \\ -0.014 & 1.014 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{RGA}_{DOWN} = \begin{bmatrix} 0.985 & 0.015 \\ 0.015 & 0.985 \end{bmatrix}$$

A pesar de que estos resultados surgen de balances de estado estacionario, se puede concluir que ambos lazos están prácticamente desacoplados y podrán ser sintonizados en forma independiente uno del otro.

Conclusiones

Empleando la simulación estática del proceso de separación etanol-agua por destilación PSD se encontró, mediante el análisis de sensibilidad, que el sensor de temperatura para la columna de alta presión debe ubicarse en el plato 5 y para la de baja presión en el plato 4.

Además, mediante el análisis de las Ganancias Relativas, se encontró que estos lazos están prácticamente desacoplados y pueden ser sintonizados en forma independiente.

Agradecimientos

Al Chemical Engineering Department de la Cleveland State University, cuyo convenio con la Universidad Nacional de Tucumán hizo posible utilizar el software de Aspen Tech®.

a la Universidad Nacional de Tucumán por la financiación del Proyecto de Investigación "Uso sustentable de agua y energía en la industria de procesos" (E-723) dentro del cual fue realizado este trabajo.

Referencias

1. S. Liang, Y. Cao, X. Liu, X. Li, Y. Zhao, Y. Wang y Y. Wang, “Insight into pressure-swing distillation from azeotropic phenomenon to dynamic control”, Chem. Eng. Res. & Des., vol. 117, pp. 318–335, 2017.
2. Z. Lei, B. Chen y Z. Ding. Special Distillation Processes, Elsevier B.V., Amsterdam, 2005, cap. 7.
3. A. Medina. “Alcohol Absoluto a Partir de Etanol de Alta Concentración por Destilación por Cambio de Presión”. Trabajo Final de Ingeniería Química, Fac. de Ciencias Exactas y Tecnología, U. N. de Tucumán, 2024.
4. C. Gerez Córdoba. “Obtención de Alcohol Absoluto por Destilación por Cambio De Presión”, Trabajo Final de Ingeniería Química, Fac. de Ciencias Exactas y Tecnología, U. N. de Tucumán, 2023.
5. A. Iqbal y S. Akhlaq Ahmad. “Pressure swing distillation of azeotropic mixture - A simulation study”, Perspectives in Science, vol. 8, pp. 4-6, 2016.
6. S. Skogestad, “Dynamics and Control of Distillation Columns: A Tutorial Introduction”, Chemical Engineering Research and Design, vol. 75, 539–562, 1997. <https://doi.org/10.1205/026387697524092>
7. D. Seborg, D. Mellichamp, T. Edgar, y F. Doyle,. Process Dynamics and Control, John Wiley & Sons, New York, USA, 3º Ed., 2010