



Columna de Destilación de Pared Divisoria: Caso Reactivo¹

Dividing Wall Distillation Column: Reactive Case

Fabrico Omar Barroso-Muñoz, Gabriel Segovia-Hernández, Héctor Hernández-Escoto y
Salvador Hernández*

Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Ingeniería Química, Noria Alta s/n, Guanajuato, Gto., 36050, México, E-mail: hernasa@quijote.ugto.mx, Teléfono: +52-473-7320006 ext 8142, Fax: +52-473-7320006 ext 8139

Resumen

Se reporta la implementación de una columna de destilación de pared divisoria con reacción química. Este tipo de columna puede lograr importantes ahorros de energía y de material de construcción; redundando en una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, los estudios de simulación indican que la operación se puede lograr sin problemas potenciales de control. Este equipo novedoso de reacción y separación cumple con los objetivos de lo que se ha dado en llamar intensificación de procesos.

Palabras Clave: Columna de pared divisoria, destilación reactiva, ahorro de energía

Abstract

The implementation of a reactive dividing wall distillation column is reported. This class of distillation column can have important savings in both energy and capital that can be translated into reductions in greenhouse gas emissions. Also, dynamic simulations indicate that its industrial implementation can be achieved without potential control problems. Finally, this reactive dividing wall distillation column meets important goals of process intensification.

Keywords: Dividing wall distillation column, reactive distillation, energy saving.

¹ Dedicado a la memoria del Dr. J. de Jesús García Soto.



Introducción

La destilación se caracteriza por consumir grandes cantidad de energía para lograr una separación; sin embargo, hasta antes de la década de los 70's fueron pocos los estudios tendientes a mejorar la eficiencia de las columnas de destilación en cuanto al uso de energía. Uno de los primeros estudios es el reportado por Petlyuk y col. (1965). En dicho trabajo se presentó un estudio termodinámico sobre una columna compleja con acoplamiento térmico total, que más adelante llevaría el nombre de columna Petlyuk.

Los esfuerzos por ahorrar energía en las columnas de destilación se intensificaron a mediados de la década de los 70's, debido a la primera gran crisis de los energéticos, pues el precio del petróleo subió desde menos de 5 hasta 40 dólares por barril. En este nuevo escenario de crisis energética, aparece el trabajo de Tedder y Rudd (1978), quienes reportaron un estudio paramétrico sobre el consumo de energía de secuencias convencionales de destilación y nuevas propuestas incluyendo acoplamiento térmico. Los resultados arrojados en dicho estudio, revelaron el potencial de ahorro de energía al utilizar los esquemas con acoplamiento térmico en comparación de los esquemas tradicionales de destilación. Se reportó que se podían lograr ahorros de energía de hasta un 50% en la separación de algunas mezclas ternarias, cuando se usaban las columnas con acoplamiento térmico. Las columnas con acoplamiento térmico que se reportaron fueron las que incluían columnas laterales y la llamada columna con acoplamiento térmico o columna Petlyuk (Figura 1). La característica principal de las columnas de destilación con acoplamiento térmico con columnas laterales es la sustitución de un rehervidor mediante una corriente de vapor y un condensador mediante una corriente de líquido. En el caso de la columna de destilación Petlyuk, dado que el prefraccionador no tiene ni condensador ni rehervidor, se requieren corrientes de reciclo de líquido y vapor. Estas corrientes de reciclo están asociadas con el mínimo consumo de energía, por lo que cualquier método de diseño u optimización debe considerarlas como variables de búsqueda.

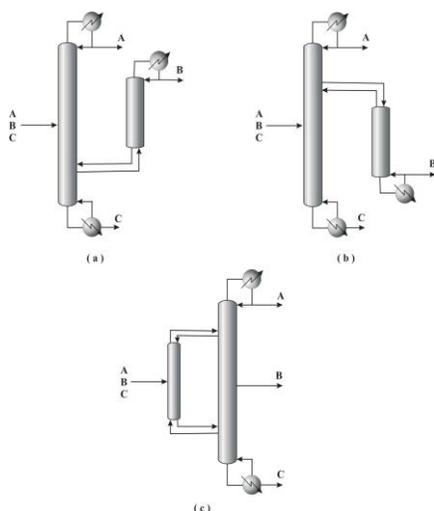


Figura 1 Secuencias térmicamente acopladas.

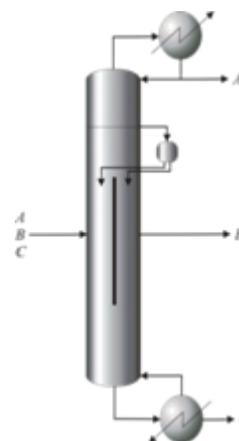


Figura 2 Columna de pared divisoria.

A pesar de que las columnas con acoplamiento térmico empezaron a estudiarse desde mediados de la década de los 60's, no fue sino hasta 1985 cuando Kaibel de las industrias BASF, reportó la primera implementación práctica de la columna de destilación Petlyuk. Este largo lapso de tiempo entre los primeros estudios y la implementación práctica, fue debido a que la energía tenía un costo relativamente bajo. Lo interesante de la aportación de Kaibel (1985) fue que la columna Petlyuk se pudo implementar en la práctica mediante una sola coraza y una pared divisoria, con lo cual se dio inicio a lo que hoy se conoce como columnas de pared divisoria (Figura 2). Esta columna de pared divisoria es equivalente a la columna Petlyuk, y de su implementación práctica se han obtenido resultados que indican reducciones importantes tanto en consumo de energía como de material de construcción. Es importante señalar, que en la actualidad se ha reportado la construcción de columnas de pared divisoria de hasta 6m de diámetro y 100m de altura (Olujic y col., 2009); sin embargo, esta información se guarda de manera confidencial por parte de las grandes compañías como lo son BASF y Montz, que se dedican a la construcción e instalación de estas columnas.

Se han reportado nuevas aplicaciones de las columnas de pared divisoria, por ejemplo, Hernández y col. (2009) estudiaron la simulación, control e implementación de una



columna de pared divisoria a nivel de planta piloto para llevar a cabo la reacción de esterificación entre el ácido acético y el etanol catalizada mediante ácido sulfúrico, para producir acetato de etilo y agua. Los resultados muestran que las columnas con pared divisoria pueden tener ahorros de energía de hasta un 30% en comparación con esquemas tradicionales de separación y además los estudios de control realizados indican que la operación práctica se puede lograr sin problemas potenciales de control. Esta columna de pared divisoria y con reacción química, cumple con importantes metas de lo que se ha dado en llamar intensificación de procesos como son poder llevar a cabo más de una operación en un solo equipo, reducir el consumo de energía, minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero, disminución del tamaño del equipo y operación segura. Referente a la implementación industrial de columnas de pared divisoria y reacción química, Kiss y col. (2009) han reportado que se ha logrado el rediseño de una columna para operar en esta forma, con lo cual se han logrado reducciones del 35 y 15% en capital y energía, respectivamente. Esta tecnología pertenece a las industrias Akzo Nobel Chemicals, observándose nuevamente que la tecnología pertenece a las grandes industrias. En este sentido, el propósito de este artículo es dar a conocer el diseño e instalación de una columna de pared divisoria con reacción química, en el departamento de ingeniería química de la Universidad de Guanajuato.

Metodología

La columna de destilación de pared divisoria mostrada en la Figura 2, se diseñó para la reacción de esterificación entre el ácido acético y el etanol catalizada mediante ácido sulfúrico, para producir acetato de etilo y agua. La simulación rigurosa del esquema reactivo se hizo mediante el simulador de procesos AspenONE Aspen Plus. La Tabla 1 muestra los datos de diseño, que permitieron los cálculos de altura de la columna, diámetro de la columna, carga térmica del condensador, carga térmica del rehedidor, áreas de transferencia de calor en el condensador y rehedidor. Los valores anteriores de las variables del proceso permitieron el diseño mecánico de la columna de destilación de pared divisoria; por ejemplo, con la carga térmica del condensador y la diferencia de temperatura entre el vapor del domo de la columna y el agua de enfriamiento, se pudo determinar el área



de intercambio de calor, la cual permitió conocer la longitud del tubing necesaria para implementar el condensador que se indica en la Figura 3. Dado que se requiere establecer un lazo de control de temperatura en el domo, se implementó una válvula de reflujo interno a fin de poder establecer el lazo de control de temperatura del domo.

Tabla 1 Variables de diseño de la columna.

Columna Principal		
Flujos de la alimentación	Etanol	1 mol/min
	Acido acético	1 mol/min
Número de etapas	11	
Etapas de Alimentación	11	
Presión	Domo	12 psi
	Fondo	17 psi
Etapas de Extracción	6	
Diámetro de Columna (m)	0.17	
Etapas Reactiva	11	
Prefracionador (Pared Divisoria)		
Número de etapas	6	
Presión	Domo	12 psi
	Fondo	17 psi
Diámetro de Columna (m)	0.17	

Para el cálculo del rehervidor se aplica un procedimiento semejante al del condensador, solamente que en este caso se considera calentamiento, que lo provee el vapor de agua que se condensa en el rehervidor (Figura 3). Este rehervidor juega un papel muy importante en el control de la temperatura de los fondos de la columna, ya que usualmente se establece un lazo de control entre dicha temperatura y la carga térmica que se suministra.

Parte esencial del funcionamiento de la columna lo constituye la pared divisoria (Figura 3), ya que se ha demostrado que el consumo de energía depende fuertemente de los flujos tanto de líquido como de vapor a ambos lados de la misma. Con el propósito de poder manipular



los flujos de líquido a los lados de la columna, dado que es más difícil manipular los flujos de vapor, se instaló un tanque lateral (Figura 3) con dos válvulas que permiten la distribución del líquido a ambos lados de la pared divisoria. En la Figura 4 se muestra la columna de destilación de pared divisoria, que se construyó en acero 316L y está rellena de empaques de teflón de 2 cm de diámetro interno.

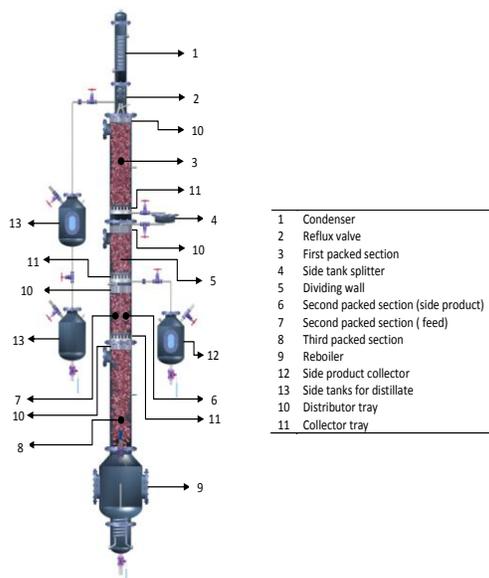


Figura 3 Diseño conceptual de la columna de destilación reactiva de pared divisoria.

Figura 4 Columna instalada.

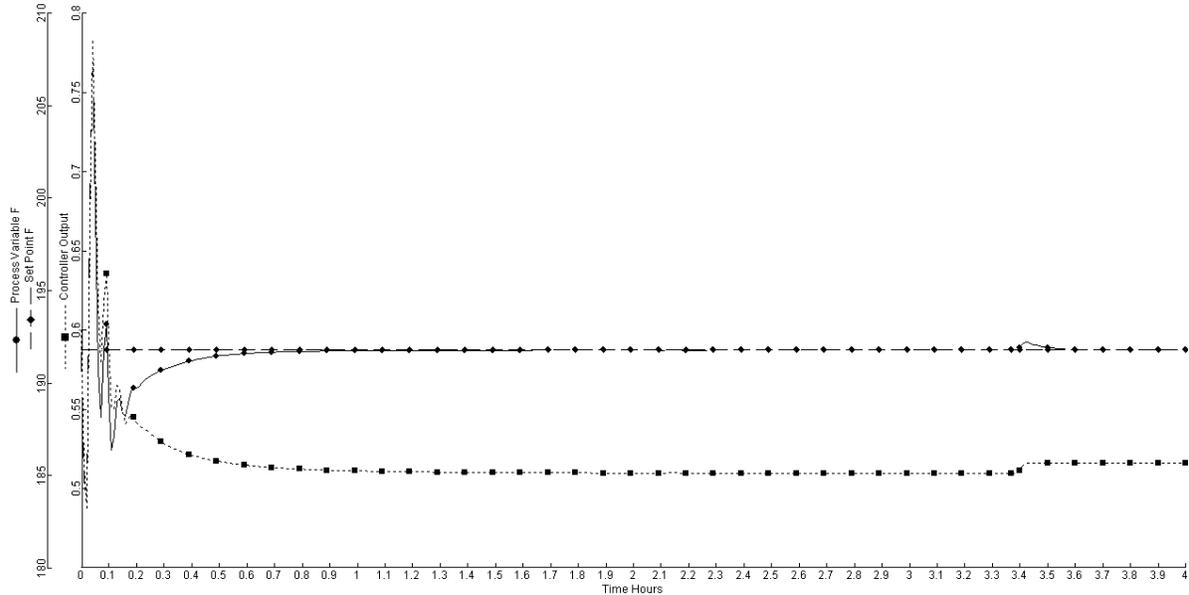
Resultados

El principal resultado lo constituye la columna de pared divisoria (Figura 4) implementada para llevar a cabo reacciones y separaciones. Hasta nuestro conocimiento, es una de las primeras columnas de destilación de pared divisoria con reacción química, que se implementan en el mundo (Kiss y col., 2009).

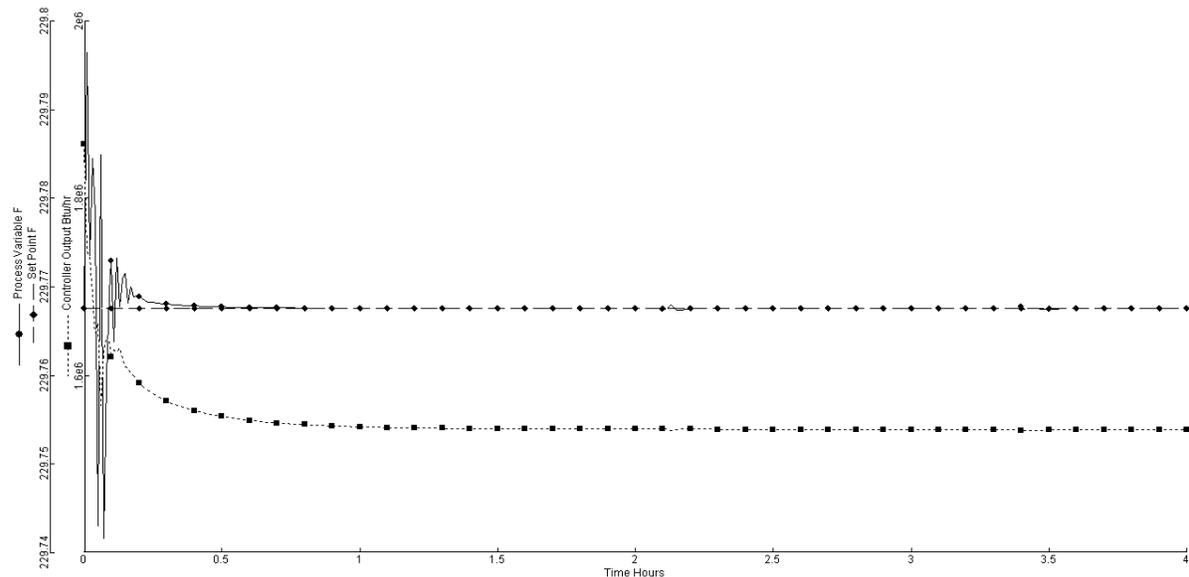
Referente al control, en la Figura 5, se muestra la respuesta dinámica de la columna para un cambio de la temperatura de referencia en el domo, se puede notar como la columna puede alcanzar el estado estacionario en un tiempo relativamente corto. De igual forma, la variable manipulable (Reflujo) no se satura y logra estabilizar a la columna.



En referencia con la eliminación de perturbaciones, se puede notar en la Figura 6 como la columna puede eliminar la perturbación implementada en la composición de la alimentación. Sin embargo, es importante señalar que no todas las perturbaciones se pudieron eliminar, esto debido a las interacciones entre la reacción y la separación.



(a) Primer lazo de control.

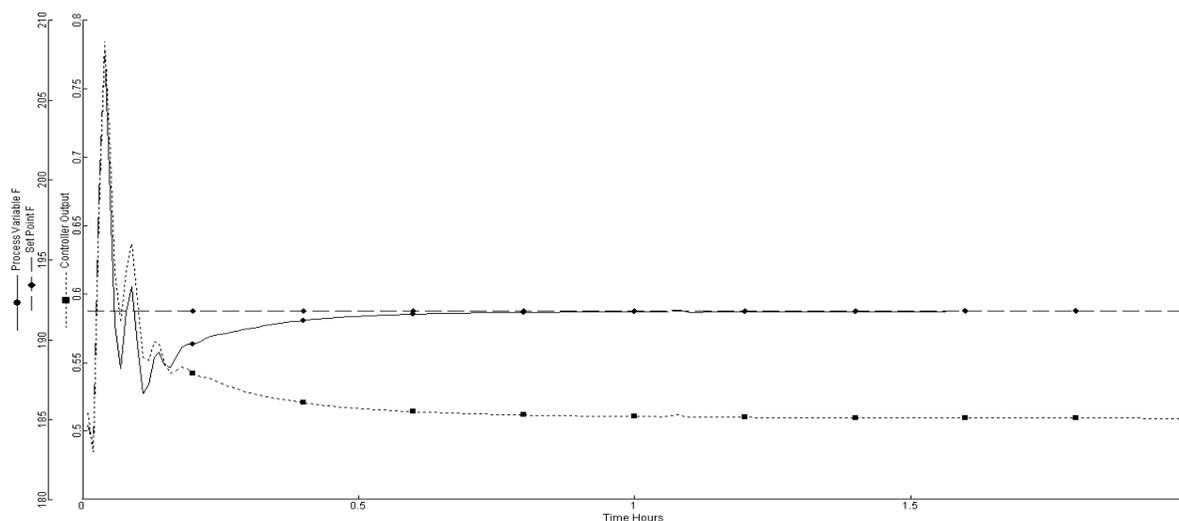


(b) Segundo lazo de control.

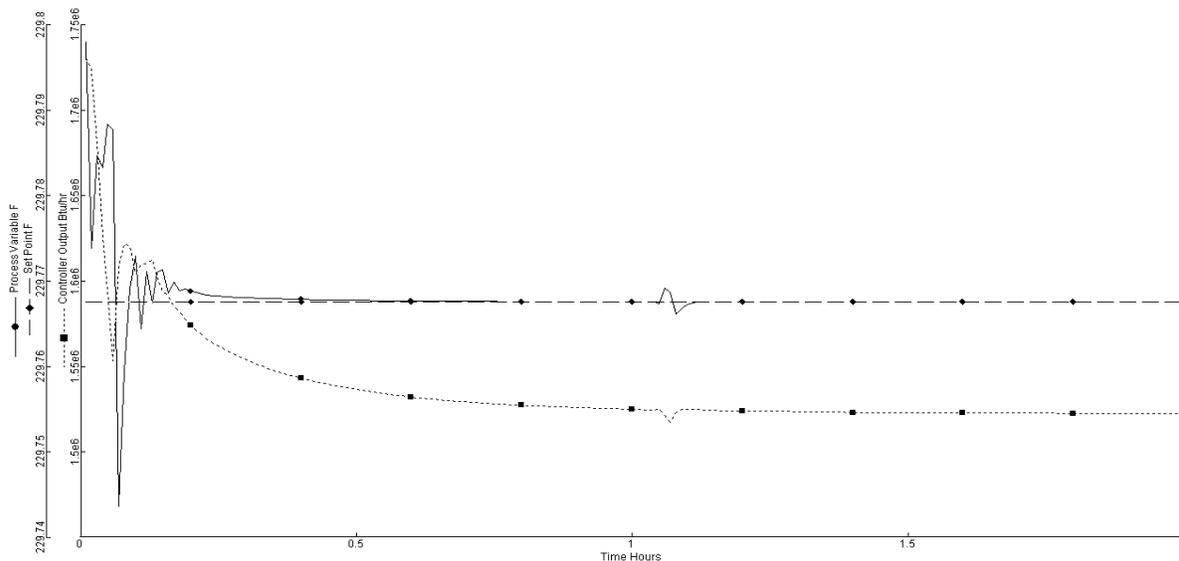
Figura 5 Respuestas dinámicas del control de dos temperaturas en la columna reactiva de pared divisoria.



Respecto a la instrumentación de la columna, se tiene seis termopares que permiten obtener en línea el perfil de temperatura, el cual se registra en una PC. Esta misma PC recibe la lectura de la temperatura de los fondos y la compara con un valor de referencia, dependiendo de esa desviación, envía una señal de control a la válvula de suministro de vapor a la columna, con el propósito de ajustar la temperatura al valor deseado.



(a) Primer lazo de control.



(b) Segundo lazo de control.

Figura 6 Respuestas dinámicas en las temperaturas para una perturbación en la composición de la alimentación.



Conclusiones

Usando herramientas de simulación de procesos, se logró el diseño e implementación de una de las primeras columnas de destilación reactiva de pared divisoria. El diseño se simuló usando controladores de temperatura, logrando los cambios de punto de referencia de las temperaturas de dos puntos de la columna. Igualmente, fue posible eliminar el efecto de la mayoría de las perturbaciones en la composición de la alimentación. Finalmente, se instrumentó e implementó el lazo de control de temperatura de fondos, usando como variable manipulable el suministro de vapor de calentamiento. Esto permitirá la operación de la columna desde una PC que se ha acoplado en línea.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo económico de CONACyT, CONCyTEG y la Universidad de Guanajuato para el desarrollo de este proyecto.

Referencias

- Petlyuk, F. B., Platonov, V. M. and Slavinskii, D. M. (1965). Thermodynamically Optimal Method for Separating Multicomponent Mixtures. *Int. Chem. Eng.* 5:555-561.
- Tedder, D. and Rudd, D. (1978) Parametric Studies in Industrial Distillation: Part I. Design Comparisons. *AIChE J.* 24:303-315.
- Olujić, Z., Jödecke, M., Shilkin, A., Schuch, G. and Kaibel, B. (2009). Equipment improvement trends in distillation. *Chem. Eng. Process.* 48:1089-1104.
- Hernández, S. Sandoval-Vergara, R. Barroso-Muñoz, F.O. Murrieta-Dueñas, R. Hernández-Escoto, H. Segovia-Hernández, J.G. and Rico-Ramírez, V. (2009). Reactive dividing wall distillation columns: Simulation and implementation in a pilot plant. *Chem. Eng. Process.* 48:250-258.
- Kiss, A. A. Pragt, J. J. and Van Strien, C. J. G. (2009). Reactive dividing-wall columns- How to get more with less resources. *Chem. Eng. Commun.* 196:1366-1374.