

ANALISIS DE FACTIBILIDAD DE COLUMNAS DE DESTILACION CON SALIDA LATERAL

FEASIBILITY ANALYSIS OF SIDE-STREAM DISTILLATION COLUMNS

M. S. Guala ¹ y E. A. Campanella ^{2,*}

¹ Universidad Nacional del Litoral (UNL). Facultad de Ingeniería Química. Santiago del Estero 2850. 3000 - Santa Fe, Argentina. (Email: mguala@fiquis.unl.edu.ar)

² INTEC (CONICET-UNL). Güemes 3450. 3000 - Santa Fe, Argentina. (Email: tquique@ceride.gov.ar)

* Autor a quien dirigir la correspondencia

RESUMEN

En este trabajo se presentan tres casos de destilación ternaria donde columnas de destilación con salida lateral son alternativas factibles frente a secuencias de columnas de destilación simple. Las comparaciones son realizadas en base a resultados de simulaciones rigurosas. En dos casos, destilación de mezclas ternarias ideales y de mezclas no ideales, la columna con salida lateral se consigue aplicando heurísticos disponibles en la literatura. En el caso de destilación extractiva se siguió un procedimiento que permitió obtener una columna con salida lateral factible. El procedimiento se resume en un heurístico.

ABSTRACT

This work presents three cases of ternary distillation where side-stream distillation columns are feasible alternatives to sequences of simple distillation columns. Alternatives are compared using results from computer simulation. In two cases, distillation of ideal and non ideal ternary mixtures, side-stream column follows literature heuristic recommendation. In the extractive distillation case, a procedure allows to define a feasible side-stream column. The procedure is summarized in one heuristic.

Palabras claves: *destilación ternaria, columna con salida lateral, simulación, heurísticos, destilación extractiva.*

Keywords: *ternary distillation, side-stream column, simulation, heuristics, extractive distillation.*

INTRODUCCION

Las columnas con salida lateral pueden visualizarse como una alternativa a una secuencia de columnas de dos productos. Han sido estudiadas en la literatura tanto desde el punto de vista de su diseño como de generar criterios para su utilización. Para el cálculo de reflujo mínimo de columnas con salidas laterales que separan mezclas ideales se pueden encontrar varias técnicas, todas ellas modificaciones del método de Underwood. Métodos de diseño para columnas de destilación con salida lateral para separar mezclas ideales (caracterizadas por una volatilidad constante) fueron desarrollados para columnas con una alimentación (Glinos y Malone, 1985) y dos alimentaciones (Nikolaides y Malone, 1987). Estos métodos de diseño se desarrollaron para separaciones donde los productos principales están libres de al menos uno de los componentes de la alimentación (sharp splits). Criterios para el uso de columnas de destilación con salidas laterales en secuencias de separación de mezclas ideales fueron desarrollados por Tedder y Rudd (1978). Esos autores analizaron varias configuraciones de columnas, que incluían columnas con salidas laterales, y desarrollaron criterios basados en un índice (ESI – ease of separation index). Entre los criterios de Tedder y Rudd se pueden mencionar: a extraer como vapor la salida lateral si la salida está debajo de la alimentación y a extraer como líquido la salida lateral si la salida está arriba de la alimentación. Tedder y Rudd (1978) analizaron, también, zonas de

óptimo para varios diseños ya que los diseños son dependientes de la composición de la alimentación y de las especificaciones del problema. Como el requerimiento de vapor de la columna disminuye al disminuir las especificaciones de los productos, la zona de óptimo para las configuraciones con salida lateral aumenta, lográndose para algunas alimentaciones un considerable ahorro cuando se utilizan columnas con salidas laterales. También Glinos y Malone (1988) han reexaminado las zonas de óptimo de varias configuraciones usando los métodos de diseño ya señalados (Glinos y Malone, 1985; Nikolaides y Malone, 1985) y utilizando como criterio para evaluar las configuraciones el caudal mínimo de vapor. Sólo recientemente Rooks et al. (1996) han discutido una metodología de diseño de columnas con salida lateral para mezclas altamente no ideales permitiendo inclusive la existencia de azeótropos. En este trabajo se presentan resultados del análisis de factibilidad de las columnas con salidas laterales como alternativa a las secuencias de columnas simples. Tres casos son discutidos: separación de una mezcla ideal, separación de una mezcla no ideal y destilación extractiva.

DESCRIPCION CASOS

Para mostrar cuando las columnas de destilación son factibles frente a otras alternativas se presentan tres casos de separación de mezclas ternarias. El primero trata un caso de separación de soluciones ideales como lo es la mezcla de pentano, hexano, heptano. El

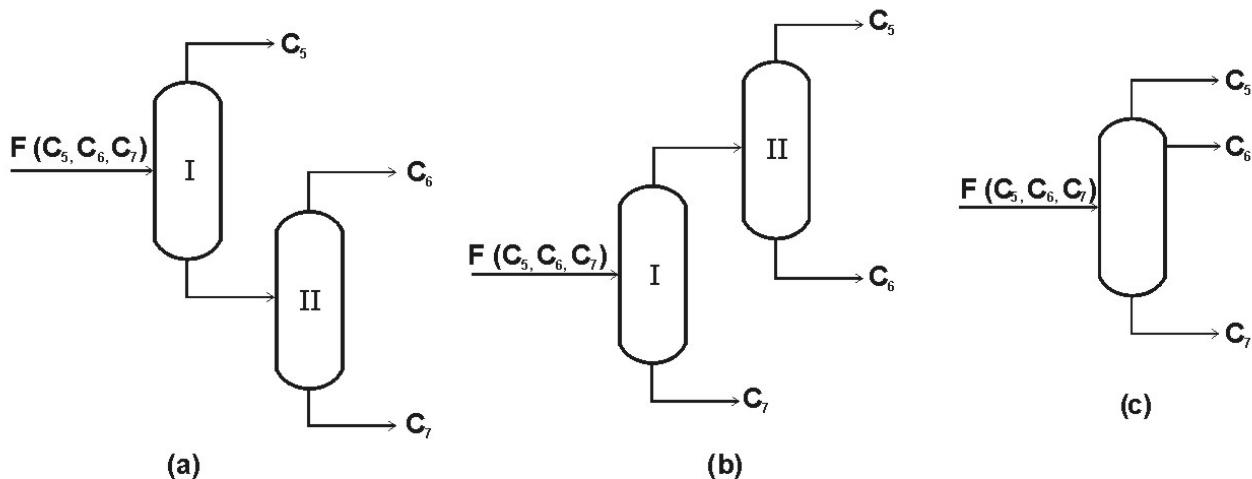


Fig. 1. Alternativas para separar una mezcla de pentano+hexano+heptano. a) secuencia de separación directa, b) secuencia de separación indirecta, c) columna con salida lateral.

segundo discute la utilización de la columna de salida lateral en la separación de una solución no ideal. Finalmente, el tercer caso discute la factibilidad de reemplazar el esquema de destilación extractiva de agua-ethanol con etilenglicol por una columna de salida lateral.

Caso ideal

Para el caso de separación de soluciones ideales los heurísticos presentados por Tedder y Rudd (1978) y más tarde revisados por Glinos y Malone (1988) constituyen una guía segura para elegir una buena alternativa. En este trabajo se ha estudiado una mezcla de pentano (5%), hexano (65%), heptano (30%). Teniendo presente los heurísticos mencionados una columna con salida lateral de líquido arriba de la alimentación es una columna factible para la separación. La figura 1 esquematiza las secuencias convencionales de separación directa e indirecta y la columna con salida lateral.

Caso no ideal

En la literatura (Rooks et al., 1996) se menciona que una situación que favorecería la utilización de una columna con salida lateral es que la misma pueda ser extraída con requerimientos de pureza flexible. En este trabajo se comparan una secuencia de dos columnas con una columna con salida lateral para separar la mezcla no ideal de metanol (33%), etanol (33%), agua (34%). La figura 2 esquematiza las dos alternativas comparadas.

Caso destilación extractiva

La destilación extractiva es un método para separar azeótropos de bajo punto de ebullición con el empleo de un “arrastrador” que es el componente más pesado de la mezcla y no forma azeótropos ni otra fase líquida con los otros componentes. Un ejemplo típico de destilación extractiva es la separación de agua-ethanol con la ayuda de etilenglicol. Las mezclas ternarias descriptas tienen una curva de residuo característica donde el azeótropo es el nodo inestable, el arrastrador el nodo estable y los otros componentes son nodos inestables o monturas. Por ello el esquema para separar los componentes que forman el azeótropo consiste de dos columnas. En la primera, con dos alimentaciones, se separa por cabeza uno de los componentes del azeótropo y por fondo una mezcla de arrastrador con el otro componente. En la segunda columna se separan el arrastrador, que se recicla a la primera columna, y el otro componente. En este estudio se compara la secuencia de dos columnas con una única columna con una salida lateral. La figura 3 esquematiza las dos alternativas comparadas.

DESCRIPCION METODOS Y MODELOS

Las alternativas de separación en los tres casos fueron simuladas con HYSYS. Para el caso no ideal y el caso de destilación extractiva también se utilizó DISTIL. El equilibrio líquido-vapor se calculó con la ecuación de estado de Peng-Robinson para el caso ideal, y con la combinación gas Ideal-UNIQUAC para

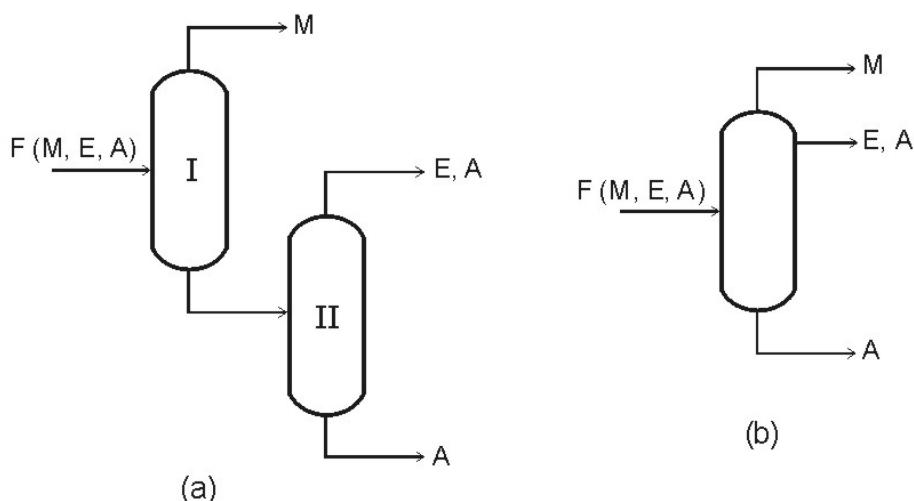


Fig. 2: Alternativas para separar una mezcla de metanol+etanol+agua. a) secuencia de dos columnas, b) columna con salida lateral.

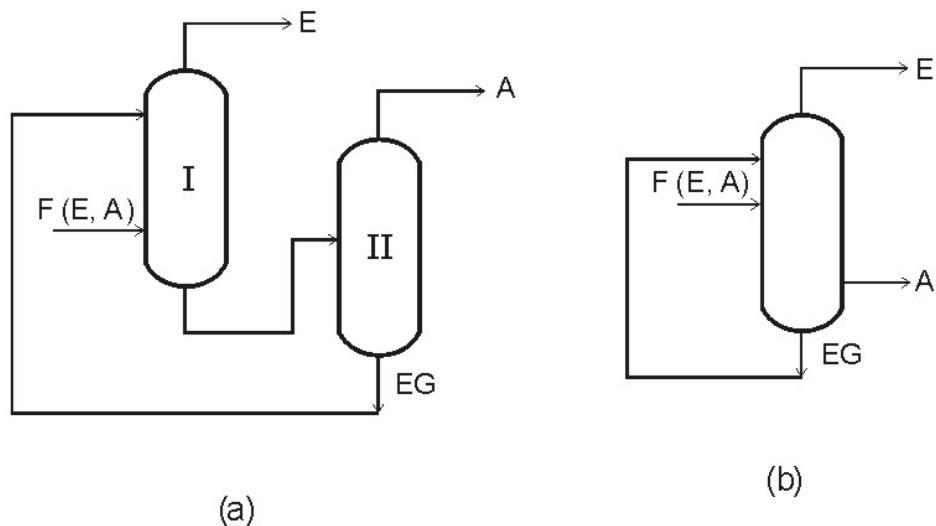


Fig. 3: Alternativas para la destilación extractiva de etanol-agua con etilenglicol. a) secuencia tradicional, b) columna con salida lateral.

para los otros dos casos. Se utilizaron los parámetros de la base de datos de HYSYS/ DISTIL previa verificación de que la representación del equilibrio con los modelos se ajustaba a los datos experimentales.

Para el diseño de las columnas de destilación de los casos ideales y no ideales se fijaron flujos de los destilados y las corrientes laterales. Luego con la ayuda de los métodos short-cut de HYSYS y de DISTIL se calculó el reflujo mínimo y el número de platos. El reflujo para las simulaciones rigurosas se estableció en 1.3 del reflujo mínimo.

Para el caso de la destilación extractiva se siguió un procedimiento para obtener condiciones en donde la columna con salida lateral sea factible. El procedimiento para analizar la factibilidad de reemplazar el esquema de dos columnas por una única columna con salida lateral consiste de los siguientes pasos:

- 1) Aplicar análisis de factibilidad (Fidkowski et al., 1993) a cada columna del esquema de dos columnas sin reciclo.
- 2) Elegir en base al análisis de 1) las condiciones en las cuales la columna con salida lateral es factible.
- 3) Comparar con DISTIL el desempeño de las dos alternativas examinando gastos en equipamiento y caudales de vapor.
- 4) Verificar los resultados de 3) con simulaciones rigurosas (HYSYS).

Para comparar la performance de las alternativas en todos los casos presentados se utilizaron los siguientes parámetros que reflejan

los costos de equipamiento y de operación de las columnas de destilación: número total de etapas (N_t), número de carcasas de columnas, número de intercambiadores, tarea calorífica del condensador y del hervidor (Q_c , Q_h), cociente del mayor valor del caudal de vapor de una columna por caudal de mezcla alimentada (V/F).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra los resultados de las simulaciones para el caso ideal. El caso compara las alternativas convencionales (secuencia directa y secuencia indirecta) para separar una mezcla ternaria de comportamiento ideal con la alternativa de utilizar una columna con salida lateral. Siguiendo la recomendación de los heurísticos para las características de la mezcla, la salida lateral es una corriente líquida ubicada arriba de la alimentación. Los resultados obtenidos confirman el heurístico: la columna con salida lateral es una alternativa factible ya que involucra una sola carcasa de columna frente a dos carcchas de las otras dos alternativas. También solo requiere dos intercambiadores frente a los cuatro que necesitan las alternativas tradicionales. Si bien la alternativa con salida lateral requiere un 13.6% más de platos con un diámetro de columna mayor, por otro lado necesita un 21.5% menos de agua de enfriamiento y un 17.6% menos de vapor que la mejor de las alternativas convencionales (secuencia indirecta).

La situación global de costo de inversión y

Tabla 1: Resultados para el caso ideal.

	Columna	R_m	N_t	Q_c , KJ/h	Q_h , KJ/h	V , Kmol/h	ΣN_t	$\Sigma V/F$
Figura 1.a	I	13.24	29	2.051 e+6	3.024 e+6	86.35	67	2.76
	II	1.47	38	5.027 e+6	5.099 e+6	190.00		
Figura 1.b	I	1.36	37	5.153 e+6	6.177 e+6	193.80	66	2.64
	II	11.29	29	1.677 e+6	1.697 e+6	70.61		
Figura 1.c		44.00	75	5.359 e+6	6.400 e+6	225.60	75	2.26

Tabla 2: Resultados para el caso no ideal.

	Columna	R_m	N_t	Q_c , KJ/h	Q_h , KJ/h	V , Kmol/h	ΣN_t	$\Sigma V/F$
Figura 2.a	I	5.6	54	9.643 e+6	9.647 e+6	273.20	70	3.45
	II	0.5	16	2.933 e+6	2.959 e+6	72.25		
Figura 2.b			70	1.129 e+7	1.310 e+7	320.00	70	3.20

Tabla 3: Resultados para el caso destilación extractiva.

	Columna	R_m	N_t	Q_c , KJ/h	Q_h , KJ/h	V , Kmol/h	ΣN_t	$\Sigma V/F$
Figura 3.a	I	1.60	38	1.016 e+7	1.133 e+7	290.50	44	3.08
	II	0.16	6	7.136 e+5	1.917 e+6	17.30		
Figura 3.b		1.52	39	9.842 e+6	1.280 e+7	256.00	39	2.56

gastos de operación de las alternativas queda bien ilustrado por el índice $\Sigma V/F$ que para la columna con salida lateral es 14.4% menor que para la secuencia indirecta. Si se hubiese considerado la alternativa de una salida lateral gaseosa debajo del plato de alimentación (caso no recomendado por los heurísticos) el número de platos, el caudal de vapor, los calores de condensación y de ebullición y por ende el índice $\Sigma V/F$ hubiesen incrementado notablemente.

La Tabla 2 muestra los resultados de las simulaciones para el caso no ideal. El caso compara una secuencia de dos columnas donde se separa una mezcla ternaria azeotrópica con la alternativa de utilizar una columna con salida lateral. En este caso el heurístico utilizado se refiere a la composición de uno de los productos. La mezcla agua- etanol es difícil de separar por la presencia de un azeotropo, requiriendo de un esquema de

separación especial como es la destilación extractiva. Por lo tanto el producto agua+ etanol con composición cercana al azeotropo es un producto de composición flexible, para el caso presentado en la Tabla 2 hemos fijado la composición en $x_{\text{Etanol}}=0.73$.

La columna con salida lateral es una alternativa factible ya que involucra una sola carcaza de columna frente a las dos carcazas que necesita la otra alternativa. Además, solo requiere dos intercambiadores comparado a los cuatro intercambiadores que utiliza el esquema de dos columnas. La alternativa con salida lateral requiere el mismo número de platos de un diámetro mayor, pero requiere un 10.2% menos de energía en el condensador y 3.9% más de energía en el hervidor. Como en el caso ideal, si se mira el índice $\Sigma V/F$ éste tiene un valor de 3.20 para la columna con salida lateral comparado con el valor 3.45 para la secuencia de dos columnas indicando la

conveniencia de la alternativa de una columna cuando se considera los costos de inversión y los gastos de operación.

La Tabla 3 muestra los resultados de las simulaciones para el caso destilación extractiva. El caso compara la alternativa tradicional que utiliza etilenglicol como solvente con la alternativa generada siguiendo el procedimiento detallado en el ítem Descripción. La alternativa con salida lateral utiliza la mitad de las carcasas y de intercambiadores que la secuencia de destilación extractiva. Por otro lado la columna con salida lateral necesita un 11.4% menos de etapas, un 9.5% menos de energía en el condensador, un 3.4% menos de energía en el hervidor y el índice $\Sigma V/F$ es 16.7% inferior que para la secuencia de dos columnas. Se puede decir que la columna con salida lateral es una alternativa factible, pero se debe notar que para lograr la condición de factibilidad hemos permitido que la corriente lateral de la torre tenga una composición flexible en la pureza del agua de desecho.

CONCLUSIONES

Las columnas con salida lateral pueden ser una buena alternativa en el diseño de esquemas de separación por destilación. En este trabajo se presentaron tres casos en donde las columnas con salida lateral son una alternativa factible. Para el caso ideal y el caso no ideal se aplicaron heurísticos. Para el caso de destilación extractiva se presentó un procedimiento de análisis de factibilidad de columnas con salida lateral. El procedimiento se aplicó al caso particular de separación agua- etanol con la ayuda de etilenglicol. La columna con salida lateral es factible cuando se permite flexibilidad en la composición de agua (producto de la salida lateral), coincidiendo con el heurístico utilizado en el caso no ideal.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido apoyado económicoamente por la Universidad Nacional del Litoral y el CONICET.

NOMENCLATURA

N_t	número total de platos
Q_c	calor intercambiado en el condensador
Q_h	calor intercambiado en el hervidor
R_m	reflujo mínimo
V	máximo valor del caudal de vapor

V/F caudal de vapor normalizado con el caudal de alimentación

REFERENCIAS

Fidkowski, Z.T., M.F. Doherty y M.F. Malone, "Feasibility of Separations for Distillation of Nonideal Ternary Mixtures", *AIChE J.*: 39 (8), 1303-1321 (1993).

Glinos, K.N. y M.F. Malone, "Design of Side-stream Columns", *Ind.Eng.Chem.Process Des.Dev.*: 24 (3), 822-828 (1985).

Glinos, K.N. y M.F. Malone, "Optimality Regions for Complex Column Alternatives in Distillation Systems", *Chem.Eng.Res.Des.*: 66 (3), 229-240 (1988).

Glinos, K.N., I.P. Nikolaides y M.F. Malone, "New Complex Column Arrangements for Ideal Distillation", *Ind.Eng.Chem.Process Des.Dev.*: 25 (3), 694-699 (1986).

Nikolaides, I.P. y M.F. Malone, "Approximate Design of Multiple Feed/Side Draw Distillation Systems", *Ind.Eng.Chem.Res.*: 26 (9), 1839-1845 (1987).

Rooks, R.E., M.F. Malone y M.F. Doherty, "A Geometric Design Method for Side-Stream Distillation Columns", *Ind.Eng.Chem.Res.*: 35 (10), 3653-3664 (1996).

Tedder, D.W. y D.F. Rudd, "Parametric Studies in Industrial Distillation: I. Design Comparisons", *AIChE J.*: 24 (2), 303-315 (1978).