

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL RETROALIMENTADO PARA ESQUEMAS DE DESTILACIÓN REACTIVA

Ornelas Martínez, Semeí (1), Cabrera Ruiz, Julián (2)

<sup>1</sup> [Licenciatura en Ingeniería Química] | [ s.ornelasmartinez@ugto.mx ]

<sup>2</sup> [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [ j.cabreraruiz@ugto.mx ]

## Resumen

Se realizó un estudio de control de la columna de destilación reactiva para la formación de acetato de metilo a partir de ácido acético y metanol. El sistema fue estudiado para poder comparar los lazos de control retroalimentado para la temperatura de una etapa en contraposición de los controladores en función de la composición. Este sistema ha sido revisado y ampliamente estudiado previamente, pero en este estudio se trata de relajar la variable de la selección de plato de control para determinar si la selección a través de la descomposición en valores singulares (DVS) o la selección de la etapa en función solamente del  $\Delta$ Temperatura son más adecuados que los establecidos por las investigaciones previas.

## Abstract

In this work has been done a study about the control of the methyl acetate reactive distillation from acetic acid and methanol. This system has been selected to be able to compare the temperature stage feedback controllers instead of the composition feedback controller. In order to know which stage is the most appropriated for the selection of the feedback controller. Typically, is used the singular value decomposition (SVD) technique for determinates the stage to be controlled, even for some study cases only the  $\Delta$ Temperature is used to determinate this stage. In this work, the comparison between several options is achieved.

## Palabras Clave

Destilación Reactiva, Lazo Cerrado, Controlador PI, Control de temperatura de la etapa

## INTRODUCCIÓN

Se han propuesto a lo largo de los años para las columnas de destilación reactiva bastantes estructuras de control, el control apropiado depende de su diagrama de flujo y del tipo de reacción que ocurre dentro de la columna. En este trabajo se estudia uno de los tipos de sistema químico y de diagrama de flujo más comunes que se han investigado, el cual es un sistema en el que ocurre una reacción con dos reactantes y dos productos. sin embargo, en principio este tipo de columnas resultan más complicadas de controlar, además de la complejidad de una columna convencional el lidiar con el problema reactivo dentro del equilibrio térmico enfatiza la importancia de los tiempos de residencia y los flujos internos variables que afectan muy directamente a la parte reactiva como a la parte de control. Como el cualquier proceso de separación es necesario poder mantener un determinado nivel de pureza, debido a esto se requiere algún tipo de controlador que analice la composición, pero esto puede resultar muy caro, por lo que se ha optado por trabajar con la información de la temperatura para inferir con suficiente precisión la composición de los productos para que la medición de está no sea necesaria para la operación [1].

La columna estudiada utiliza controladores tipo por ser uno de los controladores más comunes encontrados a nivel industrial. Para asegurarnos que en este sistema sea deseable los lazos de control retroalimentado deben seguir los siguientes criterios; tiene que ser estable el sistema, las perturbaciones sean minimizadas, obtención de respuestas rápidas y suaves de los puntos de ajuste, sea eliminado el error de estado estacionario, evasión de una acción de control excesiva y la robustez del sistema que las condiciones de cambios de procesos y las imprecisiones del modelo no se vean afectadas.

En las aplicaciones típicas no es posible llegar a esas metas simultáneamente porque se ven involucradas en conflictos inherentes y compensaciones. Un sistema de control exhibe un gran rendimiento si estos proporcionan respuestas rápidas y suaves, por lo que es necesario saber diseñarlos. por ejemplo, si el sistema es robusto proporciona gran rendimiento para una alta gama de procesos, se puede lograr conservando una configuración del controlador, típicamente usando valores pequeños de  $K$  y valores grandes de  $\tau$ . [2]

Existen diferentes formas de diseñar controladores, por ejemplo; el método de síntesis directa, el método de modelo interno, estos métodos se pueden usar para especificar las configuraciones de los controladores después que el sistema de control ha sido instalado por lo que es necesario diseñar el controlador para un lazo de control de temperatura que sea regulado por el rehervidor de la columna. En este trabajo la sintonización de los parámetros se realizó mediante la técnica de minimización del IAE [3], el cual garantiza el menor error del controlador ante las perturbaciones realizadas.

En este trabajo se busca diseñar y sintonizar un controlador PI para una columna de destilación reactiva en la que se desea tener un mayor control en la pureza de los productos seleccionando diferentes lazos a los que la literatura indica, para poder determinar si existe una apropiada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se determinan los mejores lazos de control retroalimentado para una destilación reactiva de la producción de acetato de metilo a partir de metanol y ácido acético. La estructura de diseño de la columna se toma de Taylor y Krishna [4], de acuerdo a los parámetros de diseño mostrados en la figura 1. Se diseñó el esquema en estado estacionario en Aspen Plus®, donde se llevó a cabo la hidráulica para poder exportar la simulación a Aspen Dinamycs® para poder realizar la optimización de los parámetros de sintonización de los controladores PI para

los diferentes casos de estudio. Las salidas de las columnas fueron especificadas a 0.99 las salidas de la columna. Para la sintonización de los controladores se realizaron cambios de set-point positivos y negativos del 0.5%. La sintonización de los lazos de control corresponden a los resultados de la SVD (figura 2) y al cambio de temperatura por etapa (figura 3) de acuerdo a su variable de control (reflujo o carga térmica). La sintonización (optimización) de los controladores se hizo mediante la técnica de minimización del IAE y esto se logra a partir de realizar un mapeo de las variables de la ganancia (K) y la constante de tiempo ( $\tau$ ) hasta encontrar el valor del mínimo IAE. Se obtiene también la respuesta dinámica del controlador al cambio de set point para conocer las propiedades de la propia respuesta (rapidez y suavidad de la curva).

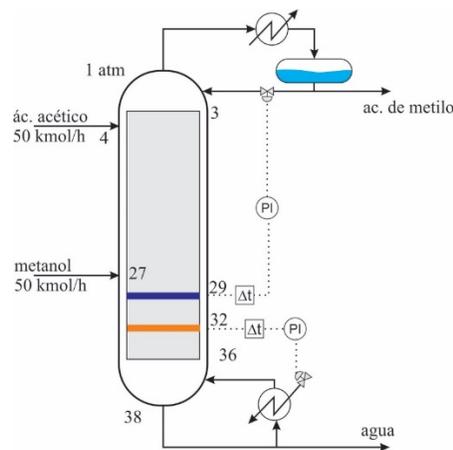


Figura 1 Esquema

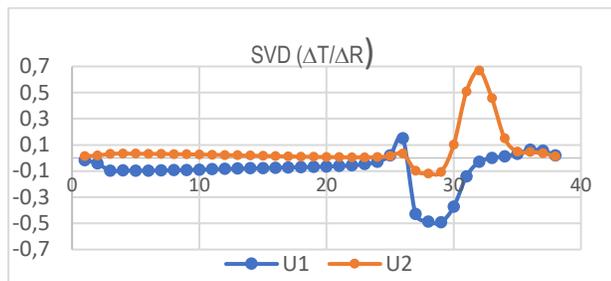


Figura 2. SVD para la selección del lazo de control de etapa

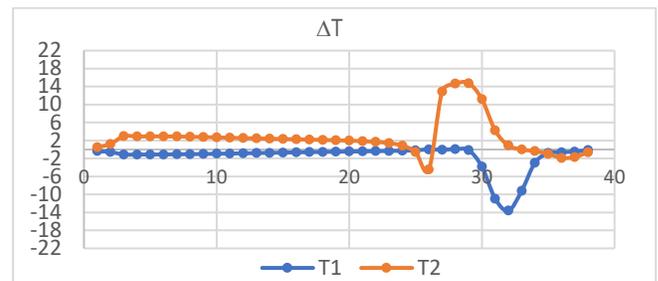


Figura 3. para  $\Delta T$  de temperatura selección de etapa de control

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los resultados de la optimización de la sintonización del controlador PI para cada tipo de lazo, en la columna de etapa se indica el número de plato y la variable de control relacionada, así como el tipo de perturbación positiva o negativa, seguida por las columnas para los valores de sintonización  $k$  y  $\tau$  óptimos del controlador PI y finalmente la columna con el valor del IAE.

Se observa que las etapas con menos error son las etapas que el SVD marco como ideales, pero solo para perturbaciones positivas.

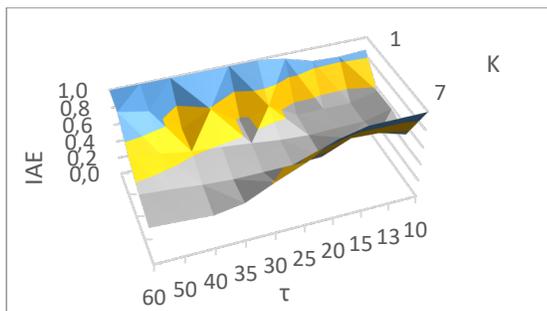


Figura 4. Curva de optimización de la etapa 29-Q +0.5%

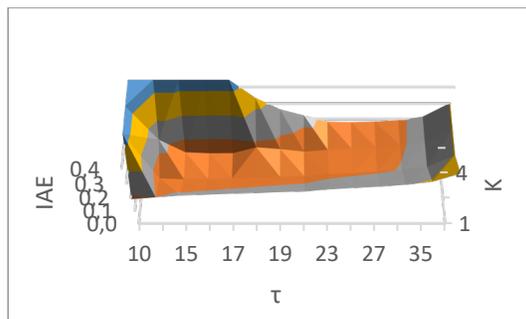


Figura 5. Curva de optimización de la etapa 32-R +0.5%

**Tabla 1: Resultados óptimos de la optimización de las etapas. R y Q es el tipo de lazo de control que se utilizó en las etapas, que son de Reflujo (R) y Calor (Q) respectivamente.**

| ETAPA      | k  | TAU | IAE    |
|------------|----|-----|--------|
| 27-R +0.5% | 10 | 65  | 0.8077 |
| 27-R -0.5% | 2  | 10  | 0.8745 |
| 28-R +0.5% | 4  | 36  | 0.9125 |
| 28-R -0.5% | 10 | 4.8 | 0.7914 |
| 29-Q +0.5% | 10 | 40  | 0.4044 |
| 29-Q -0.5% | 9  | 20  | 0.5094 |
| 30-R +0.5% | 8  | 50  | 0.4837 |
| 30-R -0.5% | 3  | 13  | 0.9457 |
| 32-R +0.5% | 4  | 16  | 0.1242 |
| 32-R -0.5% | 4  | 13  | 1.2074 |
| 33-Q +0.5% | 1  | 29  | 0.1967 |
| 33-Q -0.5% | 1  | 25  | 0.1581 |
|            |    |     |        |

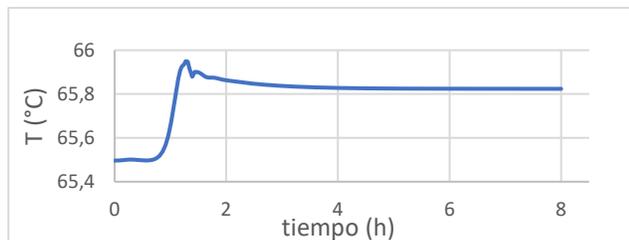


Figura 6. Respuesta del controlador sintonizado de la etapa 29-Q +0.5%

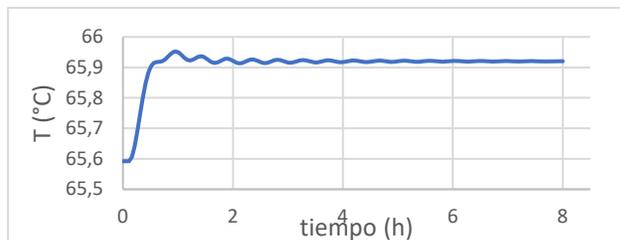


Figura 7. Respuesta del controlador sintonizado de la etapa 32-R +0.5

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de la optimización de las etapas estudiadas de la columna reactiva estudiada si se puede utilizar un controlador PI para un enlace de control sin embargo al momento de simular se tiene que cuidar los límites de operación para el reflujo y la carga térmica ya que la sensibilidad de ambas variables ante el sistema reactivo tiende a ser muy alta haciendo que se pierda fácilmente llevando el sistema a la inestabilidad. Para las etapas 29 y 32 que se consideró el lazo que corresponde a considera solo el cambio de temperatura al contrario de usar el lazo que se determina por la descomposición en valores singulares tienen valores más pequeños de error pero tiene mayores fluctuaciones entre valores positivos y negativos, a diferencia de las etapas “relajadas” de la SVD mostraron errores más grandes pero menores fluctuaciones entre los cambios positivos y negativos.

## REFERENCIAS

- [1]Alcantara-Ávila, J., Cabrera-Ruiz, J., Segovia-Hernandez, J., Hernandez, S., & Rong, B.-G. (2008). Controllability analysis of thermodynamically equivalent thermally coupled arrangements for quaternary distillation. *Chem. Eng. Res. Des.* 86, 23-37.
- [2]Luyben, W. L. (2006). *Distillation Design and Control Using Aspen Simulation*. Bethlem: John Wiley & Sons Inc.
- [3]Luyben, W. L., & Cheng-Ching, Y. (2008). *Reactive Distillation Design and Control*. John Wiley & Sons.
- [4]Taylor, R., & Krishna, R. (2000). Modelling Reactive Distillation. *Chemical Engineering Science*, 5183-5229.