

[ARTÍCULOS]

Implementación de interfaz gráfica y electrónica para el módulo simulador de destilación SPI – 2000/2 DEGEM SYSTEMS

DIRECTOR: ALDEMAR FONSECA



ADRIANA PINZÓN

Estudiante, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, su área de interés son las telecomunicaciones.
adripin@etb.com.co



FRANCISCO ACOSTA

Estudiante, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, su área de interés es la instrumentación y la microelectrónica.
sf_acosta@hotmail.com

RESUMEN

En este documento se presenta una descripción de los procesos y métodos llevados a cabo para la implementación de la interfaz gráfica y electrónica para el módulo simulador de destilación SPI-2000/2 DEGEM SYSTEMS. Éste contribuyó a la recuperación del módulo en cuestión, el cual se encuentra en el Centro de electricidad y electrónica del SENA. Ahora se pondrá de nuevo al servicio de los estudiantes.

Palabras clave

Torre de destilación, simulación de procesos industriales

INTRODUCCIÓN

Un modelo matemático es una aproximación a los procesos reales, los cuales son a menudo muy complejos y a veces parcialmente comprendidos, como en el caso de los procesos químicos. El modelo final deberá proporcionar una descripción razonable del proceso y puede ser utilizado con relativa confianza para mejorar procesos, optimizar plantas, o con carácter didáctico, como en este caso. El proceso de modelamiento sugiere la necesidad de la experimentación para descubrir aspectos del comportamiento del proceso que no están bien comprendidos, así como de la asimilación y el dominio de los conceptos que rigen los fenómenos respectivos.

Algunos aspectos importantes en el desarrollo de un modelo son: formulación de ecuaciones del balance de materia y energía, ecuaciones cinéticas apropiadas para las reacciones químicas, velocidades de transferencia de masa y calor que representan los cambios de las propiedades del sistema, equilibrio de fase y la aplicación del control y las restricciones para la linealización del modelo, entre otros. Ya que la experiencia en teoría de procesos químicos, es limitada por ser tecnólogos en electrónica, se asumió un modelo ya probado. Éste permite visualizar el comportamiento de las variables involucradas en el proceso de la destilación y, a la vez, sirve como base de la implementación final, en la que el objetivo es familiarizar al usuario con la dinámica de este proceso.

PROCESO DE DESTILACIÓN

Este proceso consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor. A continuación, se enfría el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación.

Una columna de destilación está formada habitualmente por una carcasa cilíndrica (columna principal), un condensador y un evaporizador. En el interior de la carcasa se suele disponer un relleno o una serie de platos para que la separación se lleve a cabo de la mejor

manera posible; así aumenta la eficacia. El evaporizador proporciona la energía necesaria para llevar a cabo la separación. El condensador enfría el vapor para condensarlo y mejorar la eficacia de la destilación. Después del condensador está un tanque acumulador que almacena el vapor condensado para introducir una parte de este, de nuevo, en la columna, como reflujo. La alimentación se suele introducir en una de las etapas intermedias. A partir de ahí se divide la columna en una sección de rectificación, o enriquecimiento, y una de agotamiento.

Normalmente es necesario realizar más de una etapa de destilación para alcanzar la pureza requerida en los componentes destilados. El funcionamiento de toda columna de destilación se basa en que existe vapor que asciende por la columna, el cual se encuentra con un líquido que desciende; entonces se produce una transferencia de materia y energía en cada etapa (plato). El vapor aparece como consecuencia del evaporizador situado en la parte inferior de la columna. Se debe tener en cuenta que los únicos aportes de calor a lo largo de la columna provienen del evaporizador y del condensador. El vapor, a medida que se aproxima a la parte superior de la columna, se enriquece con los componentes volátiles de la mezcla, mientras que el líquido que circula en contracorriente arrastra los componentes más pesados. Las corrientes que salen de cada etapa se encuentran en equilibrio, pero las que entran no lo están. Las corrientes de líquido están en sus puntos de burbuja; las corrientes de vapor, en sus puntos de rocío. Por tanto se produce un intercambio calorífico entre ambas corrientes. Además hay que destacar la importancia del reflujo en una columna de destilación, porque resultaría imposible conseguir mayor concentración en el producto de cabeza que en la alimentación. Se tiene un reflujo mínimo, la cantidad mínima necesaria que debe retornar a la columna para que se verifique la separación, y un reflujo máximo o reflujo total, para el cual todo el producto de cabeza se recicla en la columna. Normalmente existe un reflujo óptimo para el que la eficacia es máxima. La mayoría de las columnas están diseñadas para trabajar con una relación entre el reflujo mínimo y el óptimo de 1,1 a 1,5. [3]

Para este proyecto, el proceso considerado es una torre de destilación binaria, la cual separa una mezcla de metanol y etanol. La destilación es una operación unitaria muy común en las industrias químicas, lo que hace importante familiarizarse con su dinámica. La columna particular analizada tiene 27 platos, un evaporador en el plato inferior y un condensador ideal que actúa sobre el flujo superior. La mezcla que alimenta la columna tiene una composición del 50% de metanol y 50% de etanol, y es aplicada en el plato número 14 (contando desde abajo). Esta columna fue originalmente modelada por K. Weischedel y T.J. McAvoy en 1980 con fines didácticos y experimentales.

RESULTADOS DEL PROYECTO

Como resultados del proyecto se obtuvieron el desarrollo de un programa que permite al usuario simular el comportamiento de una torre de destilación binaria y una tarjeta que funciona como interfaz entre el módulo simulador de destilación DEGEM SYSTEMS y la simulación en el PC.

El proceso que se siguió para obtener el programa de simulación se describe a continuación.

El modelo básico fue el resultado del análisis dinámico de la aplicación PCM desarrollada en Matlab, por Robert S. Parker y Francis J. Doyle en su libro *Process Control Modules* [1], la cual se referencia en la figura 1. La aplicación PCM, está basada en el modelo desarrollado por K. Weischedel y T.J. McAvoy, tiene las siguientes características:

Variables de entrada

- *Feed flow rate* (flujo de alimentación), valor nominal 0,025
- *Feed Composition* (Composición de la alimentación), valor nominal 0,5
- *Vapor Flow Rate* (Flujo de vapor), valor nominal 0,033
- *Reflux Ratio* (Reflujo), valor nominal 1,75

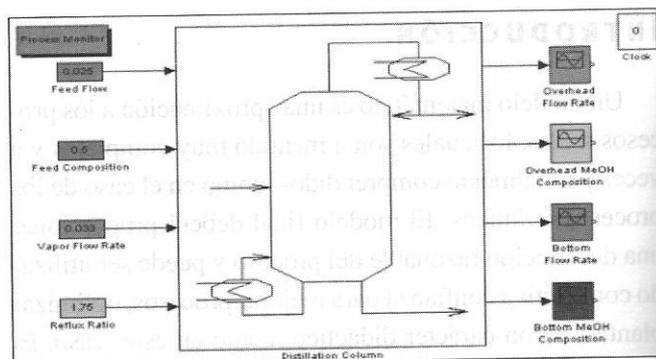


Figura 1. Aplicación PCM.

Variables de salida:

- *Overhead flow rate* (Flujo de salida superior)
- *Overhead composition* (Composición del flujo superior)
- *Bottom flow rate* (Flujo de salida inferior)
- *Bottom composition* (Composición del flujo inferior)

Inicialmente se experimentó generando pequeños cambios en el valor nominal de cada una de las variables de entrada y observando su respuesta; a partir de esto se estableció el rango de las variables implicadas para el cual sería válido el modelo, ya que la mayoría de procesos químicos, incluidas las columnas de destilación, son no lineales y su aproximación lineal es válida para una pequeña región alrededor del punto de operación normal.

Teniendo en cuenta que en los modelos lineales es aplicable el teorema de la superposición, el cual plantea que la respuesta a varias entradas se calcula tratando una entrada después de otra y sumando los resultados [2], se procedió a aplicar estímulos de prueba, de tipo escalón, sobre cada una de las entradas del modelo guía para, mediante el análisis gráfico de las respuestas, determinar la función de transferencia respectiva.

Como ejemplo, en la figura 2 se tiene la respuesta a la composición del flujo superior cuando se realiza un incremento del 10% (0,175) en el valor nominal del reflujo (1,75). El análisis de esta gráfica arrojó los siguientes resultados: una ganancia de 0,135, un $\tau = 2$ s y un retardo de 303 ms; en este punto es apropiado señalar que 1 s en la simulación equivale a 500 s de un proceso real. Los parámetros anteriormente mencionados conducen a una función de transferencia dada por:

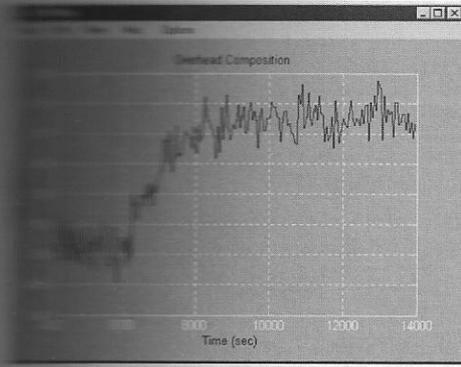


Figura 2. Respuesta de la composición del flujo superior cuando se realizó un incremento del 10%, al valor nominal del reflujo.

$$G(s) = \frac{0.135 * e^{-0.303 s}}{2s + 1} \quad (1)$$

Además de dinámicas de primer orden, el sistema cuenta con respuestas de segundo orden; tal fue el caso de los flujos de salida. Una vez obtenidas las funciones de transferencia, se procede a discretizarlas mediante el siguiente código en Matlab:

```
>> h=tf(0.135,[2 1], 'inputdelay',0.303)
```

Transfer function:

$$\exp(-0.3*s) * \frac{0.135}{2s + 1}$$

```
>> hd=c2d(h,0.05)
```

Transfer function:

$$z^{(-6)} * \frac{0.003136 z + 0.0001976}{z^2 - 0.9753 z}$$

Sampling time: 0.05

Al realizar el despeje correspondiente se obtiene:

$$y(n) = 0.003136 * x(n - 7) + 0.0001976 * x(n - 8) + 0.9753 * y(n - 1) \quad (2)$$

Con este tipo de ecuación es posible implementar la función en Labview mediante registros de desplazamiento y estructuras while, como se muestra en la figura 3.

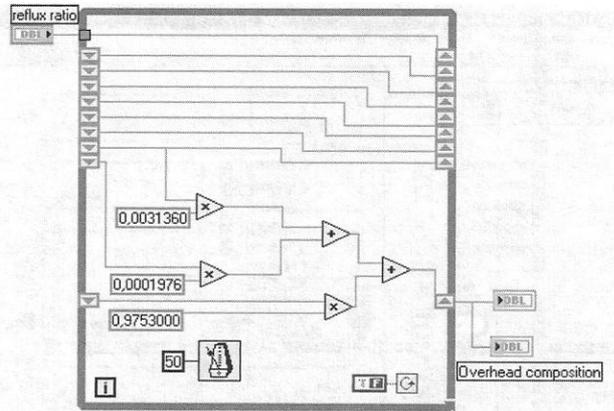


Figura 3. Implementación en Labview.

Donde la respuesta gráfica mostrada en la figura 4 aún mantiene las características dinámicas más relevantes de la figura 2.

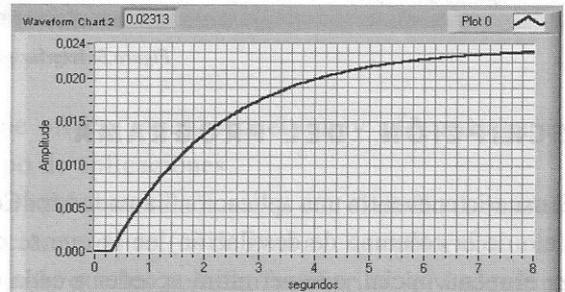


Figura 4. Respuesta en Labview.

Cabe aclarar que la metodología descrita anteriormente no es la única, pero arrojó buenos resultados y es de rápida ejecución. Este procedimiento se realiza con todas las variables. Los bloques resultantes estructuran el modelo básico del proyecto desarrollado, el cual se comporta como el modelo guía.

Al pasar los flujos a través de funciones de primer orden, se obtuvieron las dinámicas del nivel en la columna y el tanque de producto liviano. Teniendo en cuenta los comportamientos de los flujos del modelo guía, los cuales son de segundo orden, se estableció la dinámica adecuada para los flujos de entrada a la torre (alimentación y vapor).

Posteriormente, mediante funciones lineales, se escalazaron los elementos de la presentación del usuario (figura 5), los cuales emulan electroválvulas, de manera que exista una relación directa entre el grado de apertura de éstas y la variable que entra en el modelo básico.

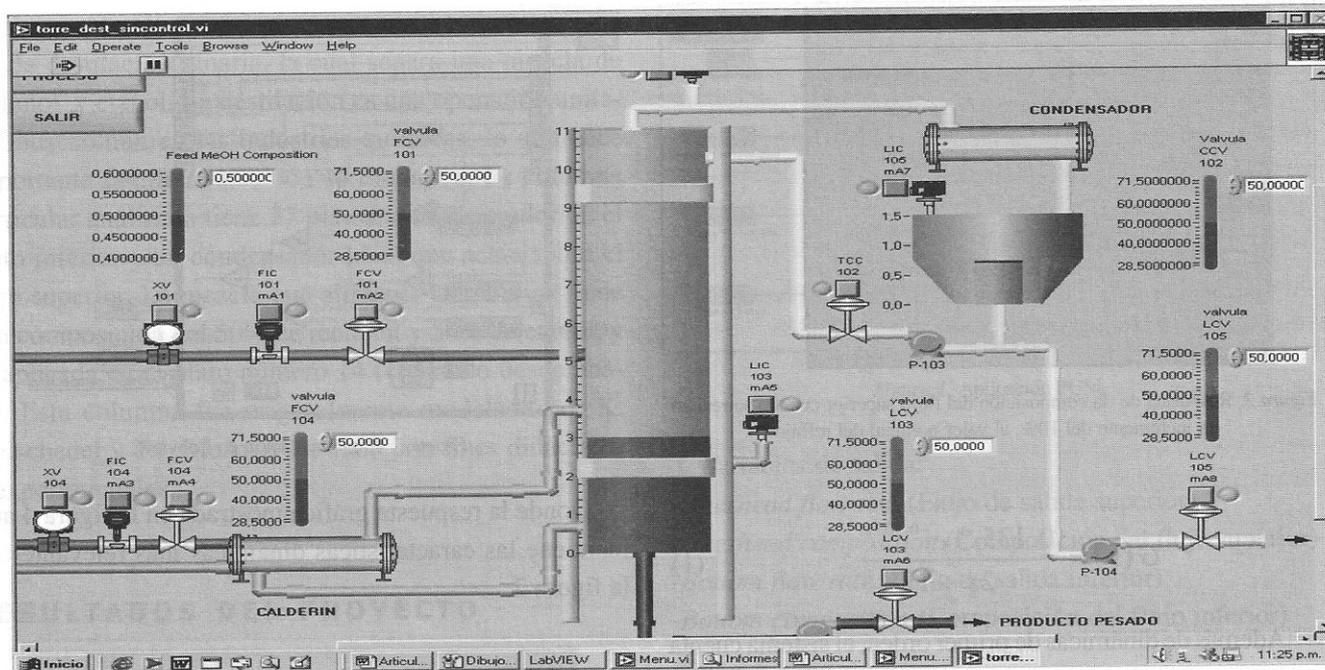


Figura 5. Interfaz gráfica desarrollada en el proyecto.

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

El usuario encuentra una aplicación llamada ModCoID (modelo de la columna de destilación) en la que se despliega el menú inicial, que permitirá acceder a cada uno de los submenús, donde se halla una ventana cuyo objetivo es familiarizar al usuario con el comportamiento de las variables del sistema mediante la manipulación simulada de las electroválvulas dentro del rango válido para el modelo. Este pantallazo cuenta con los gráficos e indicadores correspondientes.

En la segunda aplicación se encuentra el sistema anterior, dotado de los módulos controladores, donde el usuario podrá observar el efecto de éstos sobre el sistema, dependiendo de los parámetros de configuración, por ejemplo las constantes de control. Además, el usuario podrá ver el efecto del controlador cuando se generan pequeñas perturbaciones.

Finalmente, se tiene una aplicación en que pretende mostrar al usuario las propiedades básicas de los sistemas dinámicos de primero y segundo orden, desde el punto de vista de su representación en el dominio de la frecuencia y su respuesta a una señal de prueba escalón unitario.

DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

En la figura 6 se observa el diagrama de bloques de interfaz entre el módulo y el PC. Esta se halla conformada por tres etapas básicas, las cuales se explican a continuación:

- Un microcontrolador PIC 16F628 cuyas funciones principales son recibir y enrutar la información procedente del computador, por la interfaz RS232, acerca del estado de las variables; al mismo tiempo, apoyar el proceso de conversión digital análogo mediante el uso del módulo PWM, que tiene integrado. Adicionalmente se encarga de controlar el multiplexor análogo.
- La conversión digital a análogo se desarrolla de la siguiente forma: una señal digital que viene del PC, controla el ciclo útil de la señal PWM; a ésta se le suma un voltaje *offset* con el fin de acondicionar para el estándar de 4 a 20 mA, y luego es enviada a la entrada de un multiplexor 1 a 8 implementado con *switchs* análogos (4016); cuyas líneas de selección están controladas por el PIC. Las salidas del multiplexor van conectadas a su correspondiente circuito de retención y muestreo, el cual, es básicamente un arreglo RC, funciona también como filtro y extrae el valor medio de la señal, la cual es in-

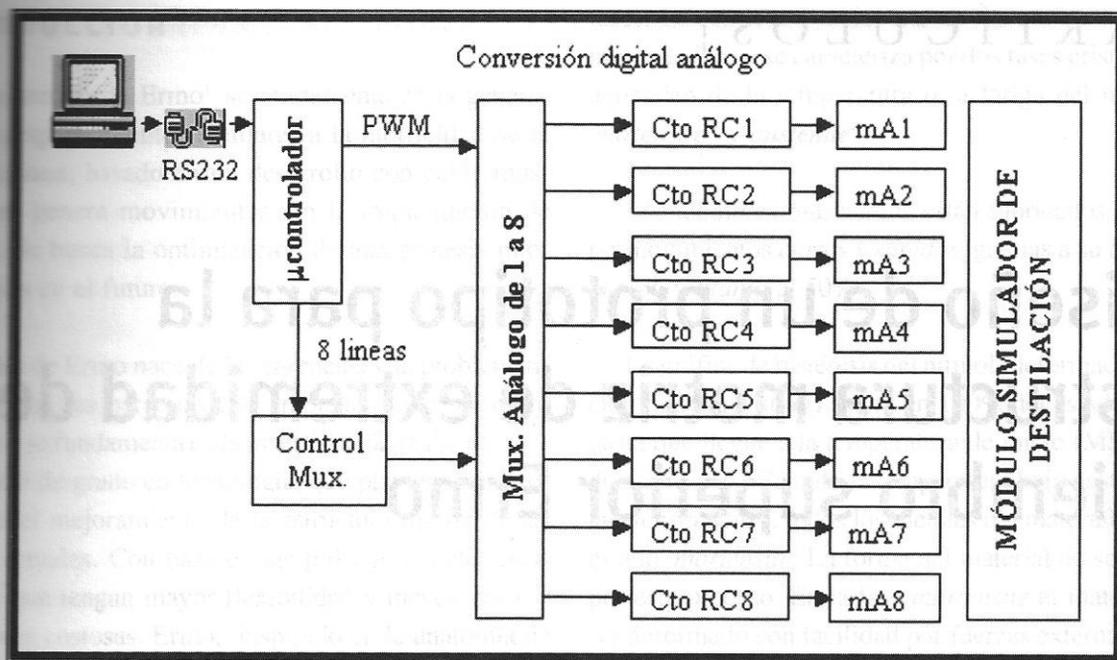


Figura 6. Diagrama de bloques del programa.

yectada a un *buffer* para el acondicionamiento final, y después

- Control del multiplexor. Las 8 líneas son controladas por el PIC, cada una activa un *switch* (4016), pero debido a que éstos están a 12 Vdc mientras que el PIC está a 5 Vdc, es necesario que los voltajes de control estén a 12 Vdc. Esto se logra comparando la señal de 5 Vdc con un pequeño voltaje y alimentando los comparadores a 12 Vdc. Se utilizó el integrado LM339.

CONCLUSIONES

- Se observó que la linealización de modelos para procesos químicos, en general, requiere de una gran experiencia y destreza por parte del diseñador.
- Matlab es una herramienta de gran ayuda para realizar procesos matemáticos y pruebas relacionadas con dinámica de sistemas, por lo cual es recomendable su aprendizaje.
- Gracias a la facilidad que da Labview para programar jerárquicamente, y a las interfaces de usuario

que ofrece, es un paquete muy adecuado para este tipo de aplicaciones.

- Para personas relacionadas con el medio de instrumentación y control, es de gran ayuda contar con una aplicación que les permita familiarizarse y adquirir algo de destreza en cuanto al comportamiento global de un proceso.
- Para el desarrollo de una aplicación de software se requiere establecer un orden que sea de fácil manejo y brinde un ambiente agradable al usuario.

REFERENCIAS

- [1] Doyle, Francis J y Robert S. Parker, Process control modules: a software laboratory for control design, New Jersey, Prentice Hall, 2000.
- [2] Katsuhiko Ogata, Ingeniería de control moderna, Universidad de Miniadota, Prentice may, 1998.
- [3] www.diquima.upm.es, página española consultada el 5 de marzo del 2003.