

CONTROL NO LINEAL CON COMPENSACION "FEEDFORWARD" EMPLEANDO REDES NEURONALES

M. S. BASUALDO, R. A. CALVO Y H. A. CECCATTO*

INSTITUTO DE FÍSICA ROSARIO. CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS Y UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO. BV. 27 DE FEBRERO 210 BIS, 2000 ROSARIO, ARGENTINA
e-mail: ceccatto@ifir.edu.ar

En este trabajo se presenta una aplicación de redes neuronales al control de un sistema con distinto grado de no linealidad dependiendo del punto de operación en que se encuentra. Se utiliza una red neuronal del tipo "feedforward", entrenada para reconocer la correlación entre la variable manipulada y la controlada. El banco de datos necesario para el entrenamiento de la red se obtiene a partir de la simulación dinámica rigurosa del comportamiento del sistema. La generación, vía redes neuronales, de un modelo aproximado de la inversa del mismo permite la implementación de un compensador "feedforward" de no-linealidades. Este esquema de control, asociado a estructuras "feedback" convencionales, proporciona importantes ventajas en la performance de las respuestas dinámicas bajo control. El trabajo concluye con un ejemplo de aplicación en el cual se hace un estudio comparativo de los diversos tipos de controladores "feedback" convencionales que pueden asociarse al compensador "feedforward". Los resultados se obtienen por medio de la simulación digital dinámica del sistema conjunto planta-controlador.

The ability of neural networks to model arbitrary nonlinear functions and their inverses is exploited for the adaptive control of nonlinear systems. Neural networks which model the plant inverse is directly incorporated within the feedforward control structure combined with a conventional feedback scheme. In addition, a test is made with the open loop control using only the neural inverse model of the plant. The combined structure with controllers (P, PD, PI) was implemented in order to improve the performance of the controlled system. The potential of the proposed method is demonstrated using the control of the top of a continuous Benzene-Toluene distillation column as an example. The dynamic behavior of the column is obtained by using a complex software simulation of the system.

Introducción

La destilación es un método para separar líquidos. En este trabajo se considerará la separación de benceno y tolueno. Los requisitos para realizar una destilación son: i) que los líquidos tengan diferentes puntos de ebullición y diferentes calores latentes de evaporación, y ii) que sus puntos de ebullición caigan dentro de los rangos de temperaturas operables. El proceso físico involucrado es altamente no lineal e implica la evaporación y subsecuente condensación del líquido más volátil, el benceno en este caso. El objetivo del control es lograr que esta separación se lleve a cabo respetando la

especificación de calidad de producto deseada, para un rango determinado de condiciones de operabilidad. Durante la destilación, una fracción del producto es reingresada a la columna para mejorar la separación de los componentes. Esta fracción, llamada reflujo, es la variable a manipular a fin de lograr que la composición del producto (variable controlada) alcance valores deseados.

En este trabajo se presenta la implementación de estructuras de control del proceso arriba descrito utilizando redes neuronales. Las redes neuronales han demostrado ser eficientes en el modelado de sistemas complejos como los involucrados en

* Autor a quién debe dirigirse la correspondencia.

procesos químicos. Los modelos así obtenidos forman parte de estructuras de control especialmente adecuadas para sistemas no lineales. En particular, se utilizarán redes del tipo "feedforward" multicapa. La identificación del proceso se realiza con datos simulados. Aspectos teóricos y detalles pueden encontrarse en [1-3].

Estudio del modelo de una columna de destilación

Se estudia la respuesta dinámica de la composición de tope (XD) de una columna binaria benceno-tolueno frente a cambios en la variable reflujo (R). Por simplicidad se aborda el análisis considerando un sistema de simple entrada-simple salida, si bien la extensión al caso multivariable es directa. En la Figura 1 se presenta un esquema de la columna considerada.

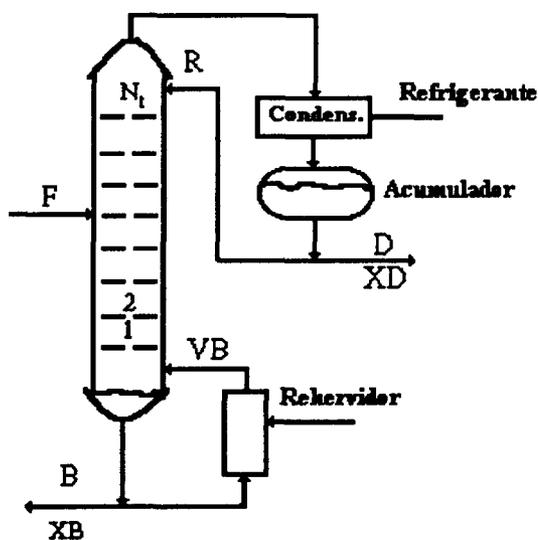


Figura 1: Esquema de la columna de destilación

El modelo matemático del sistema se desarrolló fijando cierto número de hipótesis simplificadoras tales como: a) la retención molar del vapor en los platos se considera despreciable frente a la del líquido; b) la eficiencia se considera constante e igual al 100%; c) las retenciones molares de líquido en el acumulador y en la base de la columna (MD y MB , respectivamente) permanecen constantes. Esto supone la existencia de buenos controladores de nivel; d) la columna opera en forma adiabática;

e) en cada plato existe una mezcla perfecta, así como en el acumulador de reflujo y en el rehervidor; f) tanto las entalpías como la composición de equilibrio líquido-vapor se calculan considerando que el sistema multicomponente obedece al comportamiento ideal (cumple con la ley de Dalton de los gases y de Raoult para líquidos); g) el flujo de líquido que pasa de un plato a otro se calcula con la fórmula de Francis[4]; f) la caída de presión por plato y el contenido entálpico de cada uno son constantes.

El sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (SEDO) que describe este modelo se configura a través de balances de masa total y por componente en todos los platos, en el condensador total, y en el rehervidor. Detalles al respecto pueden hallarse en [5].

Discusión de los resultados

En primer término se utilizó el modelo inverso obtenido via redes neuronales como un controlador de lazo abierto (Fig. 2a). Posteriormente se evaluó la combinación de dicho modelo inverso -implementado como compensador feedforward de no linealidades- con controladores feedback convencionales (Fig. 2b).

La estructura de lazo abierto da buenos resultados gracias a las bondades del modelo obtenido via redes neuronales (ver Tabla 1). No obstante, éstos pueden ser mejorados adicionando las propiedades específicas de los controladores convencionales. Por ejemplo, observando el comportamiento dinámico que produce la estructura de lazo abierto se puede pensar en acelerar la respuesta sumando una acción proporcional (P) o una proporcional-derivativa (PD). La figura 3 muestra la respuesta dinámica para la composición del tope de la columna de destilación con lazo abierto combinada con la acción de un esquema PD. La superioridad en este último caso es evidente y puede cuantificarse por el error cuadrático integral (ISE) de la Tabla 1. Para este ejemplo el escalón en la variable de referencia es prácticamente reproducido por la variable controlada.

Análogamente, si se considera una acción P ésta provoca una respuesta más oscilatoria, como se puede ver en la figura 4. A pesar de que se logra

una mejor performance, el ISE de la Tabla 1 tiene un valor apenas menor al caso de lazo abierto.

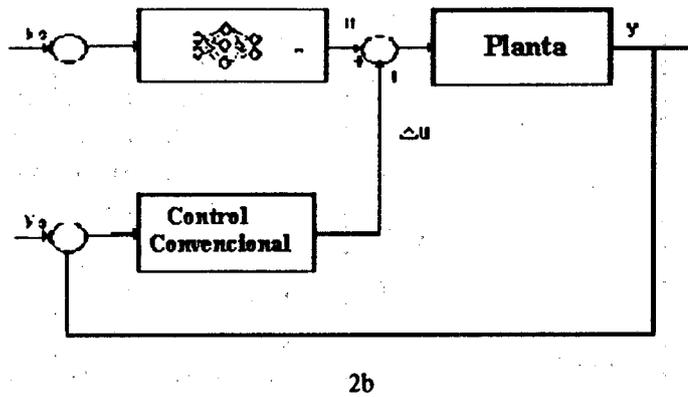
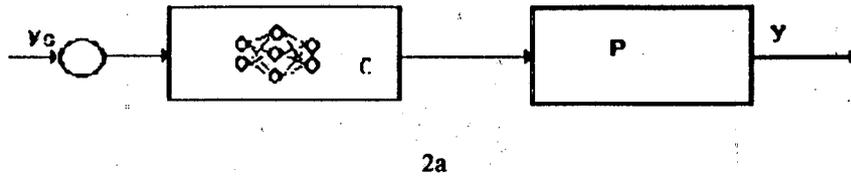


Figura 2: a) Esquema de control a lazo abierto. b) Esquema combinado de estructuras "feedback" convencional y compensación "feedforward" de no-linealidades.

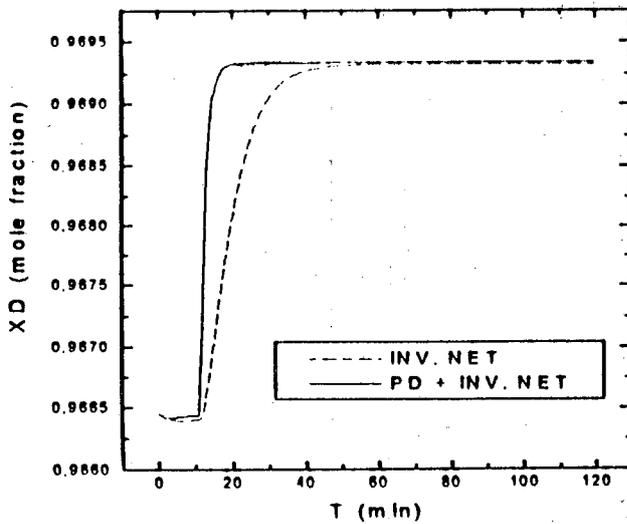


Figura 3: Comparación entre la composición de tope y el escalón del valor de referencia.

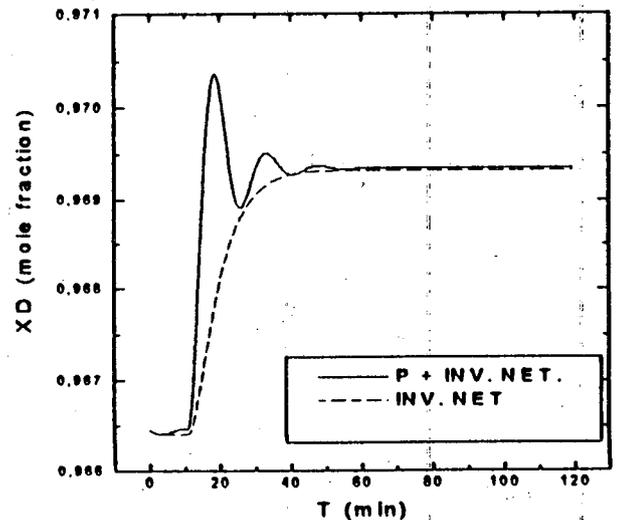


Figura 4: Comparación entre respuestas dinámicas de la composición de tope a un cambio escalón en el valor de referencia

Finalmente, si se utiliza un controlador proporcional-integral (PI) combinado con el modelo inverso los resultados son mucho mejores que cuando se considera un control PI convencional (ver Figura 5 y Tabla 1). Este hecho se debe a las no-linealidades del sistema, que deterioran la performance del control PI convencional cuando se aleja significativamente de su punto de diseño.

estado estacionario (con acción integral). Tanto el agregado de un control convencional a la estructura a lazo abierto, como la inclusión del modelo inverso a estructuras convencionales, producen mejoras substanciales en la performance del controlador resultante. En el primer caso el valor del ISE se reduce a la tercera parte (primeras dos filas en Tabla 1) y en el último caso a menos de la mitad (dos últimas filas de Tabla 1).

La conclusión más importante que surge de este trabajo es que resulta muy ventajoso el empleo del modelo inverso como una forma directa de manejar la no linealidad de la planta, combinado con un controlador convencional para aprovechar sus propiedades específicas. Para el sistema aquí estudiado los modos PD y PI combinados con la red inversa produjeron los mejores resultados.

Referencias

- 1- Psaltis D., Sideris A. y Yamamura A., IEEE Control Systems Magazine, pp. 17-21 (1988).
- 2- Bhat N. y McAvoy T.J., Computers Chem. Engng, 14 4/5, pp 573-583 (1990).
- 3- Hunt K.J., Sbarbaro D., Zbikowski R. y Gawthrop P.J., Automatica, 28, 6, pp 1083-1112 (1992).
- 4- Hengstebeck R.J., "Distillation Principles and Design Procedure" (Mc Graw-Hill, 1961).
- 5- Basualdo M., "Dinámica y Control de Columnas de Destilación". Tesis Doctoral FIQ. U.N.L. (INTEC-CONICET) (1990).

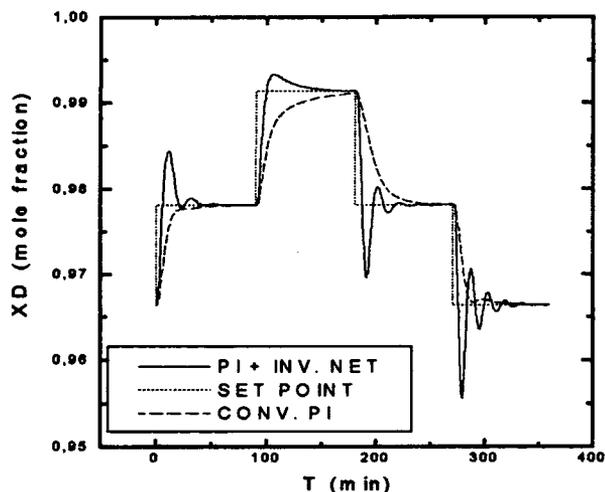


Figure 5: Comparación entre las respuestas dinámicas de la composición de tope para distintos saltos escalón en el valor de referencia.

Tabla 1

Método	ISE
Lazo abierto con modelo inverso	6.00 E-5
PD y modelo inverso de la planta	1.73 E-5
P y modelo inverso de la planta	5.20 E-5
control PI convencional	5.13 E-3
PI y modelo inverso de la planta	2.36 E-3

Conclusiones

En este trabajo se han mostrado las posibilidades que brinda el uso de modelos neuronales de la inversa dinámica del proceso combinado en estructuras de control de sistemas no lineales. En particular, sumando controladores convencionales P, PD, PI a la acción del modelo inverso se mejora la respuesta en el transiente (con acción derivativa) o en el