

## **OBTENCIÓN DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA DE LAS TEMPERATURAS DEL TOPE Y FONDO DE UNA DE DESTILACIÓN BINARIA**

Juan Rodríguez

Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre"

Vicerrectorado Barquisimeto. Departamento de Ingeniería Química

[juanrodriguez24@gmail.com](mailto:juanrodriguez24@gmail.com)

**RESUMEN.** Para la obtención de las funciones de transferencia de las temperaturas del tope y fondo por medio de identificación dinámica, y control de dichas temperaturas en la columna de destilación de la UNEXPO VR Barquisimeto; fue necesario plantearse una serie de objetivos que comenzaron con el diagnóstico operacional de la columna, evidenciándose que la columna estaba 100% operacional. Posteriormente para la obtención de las funciones de transferencia que rige el comportamiento dinámico, se realizó un estudio del tiempo de muestreo de los datos en los experimentos de identificación, resultando que el tiempo debe ser cada 5 minutos para la toma de datos. Por otro lado, para las arquitecturas de los modelos se tomaron ciertos criterios entre ellos que las funciones de transferencias deben ser propias, y de los tipos ARX y OE. Obteniéndose cuatro funciones de transferencia que identifican el sistema, dos para las variaciones de las temperaturas y dos para los cambios de flujo en el rehervidor y condensador.

**Palabras Claves:** Columna de destilación binaria, Identificación de Sistema, Funciones de Transferencia, Válvula de control.

---

## **TO OBTAIN THE TRANSFER FUNCTIONS OF THE TOP AND BOTTOM TEMPERATURES THROUGH DYNAMIC IDENTIFICATION, AND CONTROL OF THESE TEMPERATURES IN BINARY DISTILLATION COLUMN**

**ABSTRACT.** To obtain the transfer functions of the top and bottom temperatures through dynamic identification, and control of these temperatures in the distillation column of the VR UNEXPO Barquisimeto. It was necessary to consider a number of goals that started with the operational diagnosis of the column, showing that the column was 100% operational. Subsequently to obtain transfer functions governing the dynamic behavior, a time study sampling data identification experiments was performed and found that the time should be every 5 minutes for data collection. Moreover, to the architectures of the models certain criteria including that the transfer functions themselves should be taken, and the ARX and OE types. Obtaining four transfer functions that identify the system, two for temperature variations and two flow changes in the reboiler and condenser.

**Keywords:** Binary distillation column, System Identification, Transfer Functions, valve control

## INTRODUCCIÓN

La destilación es un proceso natural que consiste en variar la temperatura para separar de un líquido uno o más componentes que se encuentran juntos. La destilación se utiliza mucho en las industrias que refinan petróleo, para desalinizar agua, para producir licor, cerveza o vino, y producir muchos productos químicos que se utilizan en los hogares y fábricas.

El proceso de destilación binaria (etanol-agua) a escala piloto que se lleva a cabo en el laboratorio de operaciones unitarias de la UNEXPO-VR Barquisimeto, el cual no posee ningún sistema de control en funcionamiento. En esta torre se evidencia un problema en su modo de operabilidad asociado al control, particularmente a la manipulación de los flujos de vapor y de agua que ingresan al rehervidor y condensador respectivamente, ya que en ambos se realizan de modo manual a través del manejo de un bypass aplicado en las válvulas del equipo. Esto acarrea inconvenientes en la seguridad del personal y en el modo de operación segura de la torre.

En este trabajo, se contemplan varias actividades que comprenden desde un diagnóstico operacional de la columna de destilación, para luego seguir con la identificación de la planta, considerando que el sistema en estudio se maneja con dos variables de entradas y dos variables de salida, por lo tanto, se clasifica bajo el esquema de los sistemas MIMO. Todo lo anterior, tiene como objetivo principal lograr obtener las funciones de transferencia de las temperaturas del tope y fondo de una de destilación binaria Etanol-Agua del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UNEXPO, Vicerrectorado Barquisimeto.

## ANTECEDENTES

Los trabajos que se puede señalar son los siguientes: Burgos [2]. Sistema de control PID de flujo y composición de tope de una columna de destilación binaria de una mezcla de Agua-Etanol a presión atmosférica. En este trabajo, se diseñó un sistema de control PID de flujo y composición de tope de una columna de destilación binaria de una mezcla de agua-etanol a presión atmosférica, se analizó el modelo dinámico del proceso multivariable y se obtuvo un modelo dinámico de primer orden más tiempo muerto para cada perturbación a la que fue sometida el proceso para cada variable de interés, construyéndose así una matriz de

transferencia de las variables de porcentaje de apertura de la válvula de flujo de destilado, de flujo de vapor hacia el flujo de destilado y la composición de destilado. A través del método de Ziegler y Nichols se obtuvo un conjunto de parámetros de entonamiento para controladores PI apropiados para la columna. Por otro lado, Maldonado [5]. En su trabajo Control Difuso de temperatura en la unidad de recuperación de solvente para una planta piloto de extracción sólido-líquido por lotes. Este estudio, se enmarcó dentro de la modalidad de proyecto factible, cuyo fin es solucionar un problema real. El objetivo del trabajo de Maldonado fue diseñar un sistema de control difuso de la temperatura en la unidad de recuperación del solvente para una planta piloto de extracción sólido-líquido en un proceso por lotes. Para ello se obtuvo el modelo matemático del proceso usando datos experimentales obtenidos de las prácticas realizadas en el laboratorio de procesos químicos, usando el ToolboxIdent de Matlab.

## **MATERIALES Y MÉTODOS:**

### **ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1. El diagnóstico**

La principal fase que se debe seguir en el diagnóstico, se basa en la recopilación bibliográfica e información, que permite preparar, orientar y planteamiento de todo lo relacionado con el tema en estudio, basados en investigaciones y proyectos previos.

#### **2. Técnicas de recolección e instrumentos para almacenar información**

Para la ejecución de este trabajo, se siguieron las siguientes técnicas de recolección de datos:

- Registro visual de lo ocurre en una situacional real, clasificando y consignando los acontecimientos pertinentes de acuerdo con algún esquema previsto y según el problema que se estudia.
- Método de recolección de datos, debe ser planificado cuidadosamente para que reúna los requisitos de validez y confiabilidad. Se le debe conducir de manera hábil y sistemática y tener destreza en el registro

de datos, diferenciando los aspectos significativos de la situación y los que no tienen importancia.

- Por otro lado, los instrumentos para almacenar la información son del tipo electrónico, como computadora personal (laptop), memorias USB.

## **FASE DE DISEÑO**

### **1.1. Diseño de experimentos para la obtención de datos de entrada-salida:**

Se realizaron estudios previos para identificar la cantidad mínima o el tamaño de experimentos a realizar para obtener el modelo, para ello se aplica la prueba del escalón  $u(t)$ , como señal de excitación, que en este caso es el porcentaje de apertura de la válvula que permite el flujo de vapor al sistema.

### **1.2. Tratamiento previo de los datos registrados:**

Corresponde al acto de corrección o eliminación de datos erróneos o ruidos indeseados de una base de datos. Después de la limpieza, la base de datos puede ser usada para la identificación del modelo.

### **1.3. Elección de la estructura del modelo:**

En este punto, se desea obtener un modelo cuyo primer paso es determinar la estructura deseada, para ello se hace la consulta en diferentes fuentes de información como por ejemplo, revistas arbitradas, libros, expertos en la materia, e inclusive la propia observación del proceso. Según, Bolton [1]. Los sistemas térmicos tienden a obedecer un modelo de primer orden, y generan respuestas crecientes y sin oscilaciones.

### **1.4. Obtención de los parámetros del modelo:**

En este punto se procede a estimar los parámetros de la estructura que mejor se acople a la respuesta del modelo, haciendo uso del programa System Identification Toolbox de Matlab.

### **1.5. Validación del modelo:**

Una de las tareas más importantes y difíciles en la simulación es la verificación y validación del modelo. Las salidas del modelo se van a utilizar para obtener conclusiones del sistema real.

Al comparar los resultados entre el modelo real y el modelo propuesto, se determina el grado de exactitud y precisión requerido. Si en los resultados, resalta que el modelo no es válido, se deben revisar el conjunto de datos entrada-salida, la estructura seleccionada o inclusive el criterio de ajuste de parámetros, para posteriormente, reiniciar el proceso de identificación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Diagnóstico y caracterización de la torre de destilación

De acuerdo al procedimiento de observación directa, la torre de destilación se encuentra completamente instalada y operativa. Las características principales del diseño se denotan en la tabla 1.

**TABLA 1.** Características de diseño de la columna

Parámetro	Valor
Platos	11
Hervidor	1
Condensador	1
Bomba de recirculación	1

### 2. Modelo matemático de la torre a través de identificación dinámica

#### 2.1. Determinación del Tiempo de Muestreo (T)

La señal de excitación utilizada en este trabajo, es la función escalón, dado a que es la más ampliamente usada en las prácticas de control, obteniéndose a partir de ella, modelos simples lo suficientemente exactos Corripio [3]. Por otra parte, para los ensayos realizados, se partió de la premisa que en los sistemas que involucre una constante de tiempo grande, estos se muestrean lentamente y de forma periódica; además si el sistema es sobreamortiguado y no presenta oscilaciones, el criterio para escoger el tiempo de muestreo parte de la respuesta al escalón. Como regla general se acepta que T debe ser de 8 a 10 veces menor que el tiempo de subida del sistema ante un escalón en lazo abierto. Este tiempo de subida se puede calcular como el tiempo que tarda el sistema en subir desde un 10% hasta un 90%

del valor final, y si el sistema es subamortiguado desde 0% a 100% del valor final, como lo establece Ogata [6]. Realizando los cálculos, se determinó como periodo de muestreo cada 5 minutos.

## 2.2. Utilización del IdentToolbox de Matlab

Según Ljung [4], el procedimiento para determinar un modelo de un sistema dinámico a partir de la observación de los datos de entrada-salida consta de tres pasos básicos:

- i. Los datos de entrada-salida
- ii. Un conjunto de modelos candidatos (el modelo de estructura)
- iii. Un criterio para seleccionar un modelo en particular en el conjunto, basado en la información de los datos (el método de identificación)

## 2.3. Criterios de selección para los modelos candidatos en la obtención de la estructura del modelo

A partir de los datos recopilados, así como también conociendo el comportamiento dinámico del proceso, se tomaron los siguientes criterios para la selección de los modelos para la identificación de la planta:

- El orden polinomial de los coeficientes en la arquitectura de los modelos ( $n_a$ ,  $n_b$ ,  $n_c$  o  $n_k$ ) deben ser menor o igual a cuatro (4).
- Tienen que generar funciones de transferencias propias, es decir, el orden del numerador debe ser menor al denominador.
- Se tomaron arquitecturas del tipo: ARX y OE para PolynomialModels;
- 

## 2.4. Matriz experimental de variables manipuladas vs variables controladas

Para los experimentos realizados, se construyó una matriz de variables manipuladas y variables controladas, como se muestra a continuación: 1) Presión de vapor al rehervidor y la Temperatura en el fondo de la torre. 2) Presión de vapor al rehervidor y la Temperatura en el tope de la torre. 3) Caudal de agua al

condensador y la Temperatura en el fondo de la torre. 4) Caudal de agua al condensador y la Temperatura en el tope de la torre.

Del conjunto de las arquitecturas obtenidas en el paso anterior, se seleccionaron aquellas que por su condición cumpla dos parámetros, estos son, el mejor % de precisión para cada caso y a su vez que sean estables a lo largo del tiempo al aplicar la prueba del escalón unitario, esto con el objetivo de obtener las funciones de transferencia para cada par de variables manipuladas y controladas descritas en los casos anteriormente estipulados, a continuación se muestran dichos resultados:

#### **Caso 1: Presión de vapor al rehervidor y la Temperatura en el fondo de la torre**

La arquitectura seleccionada es la procedente del Transfer FunctionModels, cuya función de transferencia se muestra a continuación:

$$\frac{13,79s + 1,689}{s^2 + 4,718s + 0,5629} \quad (1)$$

#### **Caso 2: Presión de vapor al rehervidor y la Temperatura en el tope de la torre**

La arquitectura seleccionada es la procedente del Transfer FunctionModels, cuya función de transferencia es la que se muestra:

$$\frac{14,43s^2 + 1,002s + 0,01177}{s^3 + 2,956s^2 + 0,2012s + 0,002354} \quad (2)$$

#### **Caso 3: Caudal de agua al condensador y la Temperatura en el fondo de la torre**

La arquitectura seleccionada es la procedente del Transfer FunctionModels, cuya función de transferencia es la siguiente:

$$\frac{-0,05281s - 0,001374}{s^2 + 2,667s + 0,06868} \quad (3)$$

#### **Caso 4: Caudal de agua al condensador y la Temperatura en el tope de la torre**

La arquitectura seleccionada es la procedente del Transfer FunctionModels, cuya función de transferencia es la que se describe a continuación

$$\frac{-0,2023s^2 - 0,057715 - 4,768 \cdot 10^{-5}}{s^3 + 2,814s^2 + 0,7216s + 0,000596} \quad (4)$$

De esa manera, se encuentran las funciones de transferencia, para luego diseñar el controlador apropiado al sistema.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se diagnosticó el estado actual de la torre de destilación binaria del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UNEXPO.
- Se determinó que el tiempo de muestreo para los experimentos fue de 5 minutos.
- Los criterios tomados para escoger la arquitectura de modelos fueron:
  - i. El orden polinomial de los coeficientes deben ser menor o igual a cuatro (4).
  - ii. Tienen que generar funciones de transferencias propias.
  - iii. Se tomaron arquitecturas del tipo: ARX y OE.
- Se logró obtener el modelo matemático de las funciones de transferencia torre de destilación a través de identificación dinámica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [ 1.] Bolton, W. (2001). Ingeniería de Control. 2º Edición. Editorial Alfaomega. México.
- [ 2.] Burgos, B. (2011). Sistema de control PID de flujo y composición de tope de una columna de destilación binaria de una mezcla de agua-etanol a presión atmosférica. Trabajo de grado de Maestría en Ingeniería de Control de Procesos. UNEXPO-VR Barquisimeto, Venezuela.
- [ 3.] Corripio, A. (2007). Control Automático de Procesos. Editorial Limusa. México.
- [ 4.] Ljung, L. (2011). System Identification Toolbox. Getting Started Guide. TheMathWorks, Inc. New York. USA.
- [ 5.] Maldonado Leal, Y. (2007). Control Difuso de temperatura en la Unidad de Recuperación del Solvente para una planta piloto de extracción sólido-líquido por lotes. Trabajo de grado de Maestría en Ingeniería de Control de Procesos. UNEXPO-VR Barquisimeto, Venezuela.
- [ 6.] Ogata, K. (1996). Sistema de Control en tiempo discreto. 2º Edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. México.