

## Identificación no paramétrica de un sistema dinámico mediante la aplicación de un escalón no unitario y la obtención de la respuesta impulsiva del mismo.

Agüero Reyes, Luisa F.,\* Ramírez López, Raúl \*\*

\*Instituto Tecnológico de Querétaro, Querétaro,  
México (correo electrónico: luisa\_aguero\_@hotmail.com)

\*\*Instituto Tecnológico de Querétaro, Querétaro,  
México (correo electrónico: rramirez@mail.itq.edu.mx)

---

**Resumen:** Para poder realizar simulaciones, predicciones o control es necesario identificar el sistema con el que se va a trabajar. Para esto existen distintos métodos de identificación. En este documento se utiliza la identificación no paramétrica, a la cual se le aplica una entrada escalón no unitario, obteniéndose la respuesta impulsiva del sistema, además se compara la precisión del método de identificación con la función de transferencia del sistema identificado, obteniendo un porcentaje de error del método. El sistema que se identificó es un calefactor eléctrico de agua.

Palabras clave: Identificación, no paramétrica, Respuesta impulsiva, Sistemas dinámicos, Convolución.

---

### 1. INTRODUCCIÓN

Un tema importante de investigación científica con un amplio rango de aplicaciones prácticas es la identificación de sistemas a partir de mediciones de entrada-salida. (LJUNG, 1987) (SÖDERSTROM & STOICA, 1989)

La identificación de sistemas es una aproximación experimental para determinar el modelo dinámico de un sistema físico. Estas técnicas de identificación se clasifican como toma de datos y posterior procesamiento (offline), y toma de datos y procesamiento continuo (online). (Bravo-Montenegro, et al., 2013)

Lofti Zadeh definió la identificación en 1962 como la determinación, en base a la entrada y la salida de un sistema, dentro de una clase de sistemas especificada, al cual el sistema probado es equivalente. (Zadeh., 1962)

Existen distintos tipos de identificación de sistemas, entre los cuales se encuentran la identificación mediante redes neuronales, identificación mediante lógica difusa, identificación mediante algoritmos evolutivos, entre otras. (Irizar, 2005)

El trabajo mostrado en este artículo muestra la identificación de un sistema dinámico, consistente de un calefactor eléctrico de agua, utilizando el método de identificación no paramétrica, aplicando un escalón no unitario y obteniendo de la respuesta de éste, la respuesta impulsional del sistema, que posteriormente podría ser utilizada para simulación, predicción y control.

### 2. DESARROLLO

#### 2.1 Procedimiento para identificar el sistema mediante la aplicación de un escalón no unitario.

Para realizar la identificación del sistema mediante la aplicación de un escalón no unitario, es necesario contar con la respuesta del sistema de lazo abierto y almacenarla en una variable llamada  $y(k)$ . Es importante mencionar que hay que filtrar la respuesta del sistema de manera que tenga la menor cantidad de ruido posible.



Fig. 1. Sistema de lazo abierto

Posteriormente se deriva la respuesta del sistema  $y(k)$ , utilizando el método de Euler y se divide entre el valor del escalón no unitario que se aplicó como entrada.

$$\dot{y}(k) = \frac{\text{Euler}(y(k))}{u(k)} \quad (1)$$

Esta derivada de la respuesta  $\dot{y}(k)$  se convoluciona con una entrada cualquiera  $u_1(k)$ , obteniendo como resultado la respuesta del sistema para esa entrada aplicada.

$$y_1(k) = \text{Convolución}(\dot{y}(k), u_1(k)) \quad (2)$$

La señal  $y_1(k)$  es la respuesta al sistema identificado con una entrada cualquiera  $u_1(k)$ , la cual puede ser utilizada para aplicar cualquier algoritmo de control a ese sistema, realizar algún algoritmo de predicción y para simular.

### 2.2 Ejemplos

Para comprobar la efectividad de éste método, se realizaron dos ejemplos aplicando señales de entrada diferentes a un sistema de calefacción de agua eléctrico. Éste sistema consta de una resistencia, a la cual, al aplicar un voltaje de entrada se obtiene como salida el incremento en la temperatura del calefactor.

Para realizar el primer ejemplo, se siguió el procedimiento descrito en la sección 2.1. Se conectó este sistema a lazo abierto, teniendo como entrada del sistema un escalón de voltaje a 60V. La respuesta obtenida fue desplazada hacia abajo para iniciar con un valor 0°C (Fig. 2.).

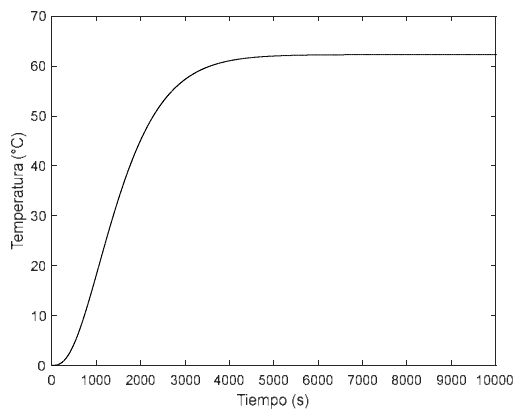


Fig. 2. Respuesta del sistema aplicando una entrada escalón de 60V.

Derivando la señal de salida mostrada por el método de Euler se obtuvo la gráfica mostrada en la Fig. 3.

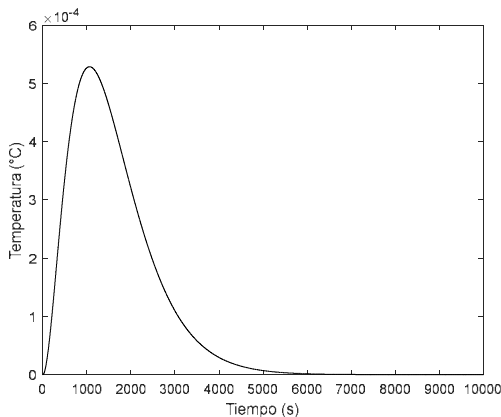


Fig. 3. Derivada de la respuesta del sistema.

La derivada de la respuesta del sistema mostrada en la Fig. 3, se convolucionó con una entrada escalón de 60V y se obtuvo la respuesta mostrada en la Fig. 4.

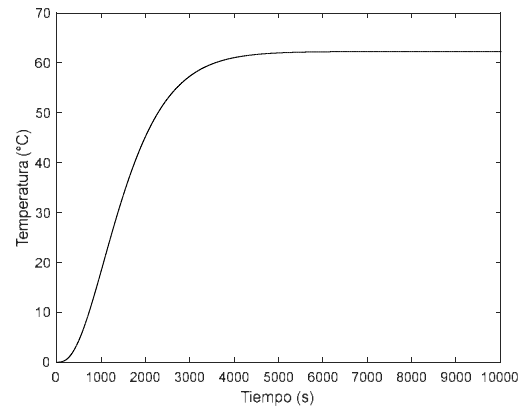


Fig. 4. Convolución de entrada escalón de 60V y derivada mostrada en Fig. 4

Para el segundo ejemplo se utilizó la derivada de la señal de la salida mostrada en la Fig. 3. y se convolucionó con una entrada rampa para obtener la respuesta mostrada en la Fig. 5.

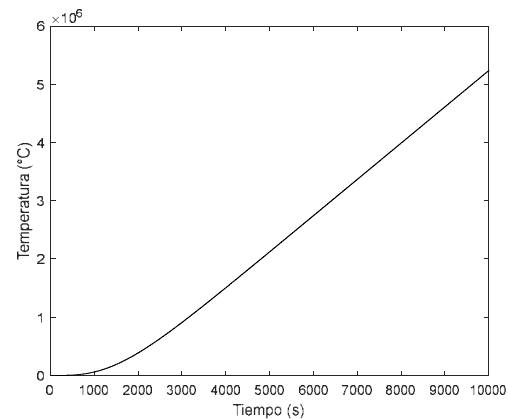


Fig. 5. Convolución de entrada rampa y derivada mostrada en Fig. 2.

### 3. RESULTADOS

Las señales obtenidas de la convolución de la derivada de la señal de salida y las entradas rampa y escalón (Fig. 4. y Fig. 5.) se compararon contra la función de transferencia del calefactor eléctrico que se conocía previamente y se calculó un porcentaje de error de la diferencia entre ambas señales para comprobar la precisión del método de identificación.

El porcentaje de error total que se obtuvo del primer ejemplo fue de 0.284% cuando se aplicó una entrada escalón de 60V al método de identificación y a la función de transferencia. La respuesta de ambas se muestra en la Fig. 6.

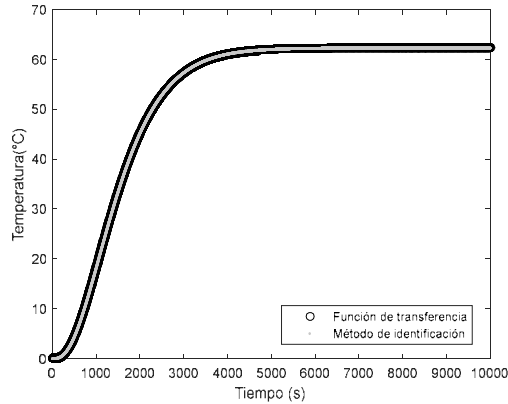


Fig. 6. Comparación entre función de transferencia y método de identificación del primer ejemplo.

El porcentaje de error total que se obtuvo del segundo ejemplo fue de 0.183%, cuando se aplicó una entrada rampa  $.01*t$  a la función de transferencia y al método de investigación. Ambas respuestas se muestran en la Fig. 7.

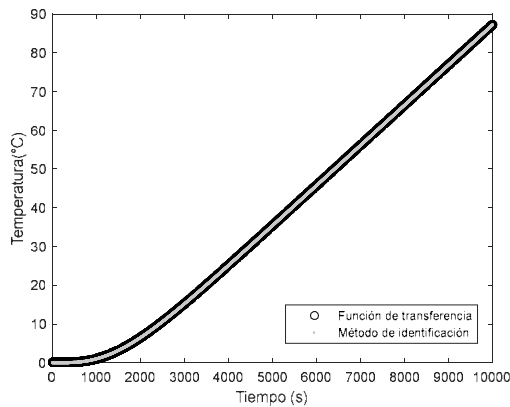


Fig. 7. Comparación entre función de transferencia y método de identificación del segundo ejemplo.

#### 4. CONCLUSIONES

- 1 Se presentó el método de identificación no paramétrica de un sistema de calefacción de agua eléctrico aplicando una entrada escalón no unitaria y se obtuvo la respuesta impulsional del sistema.
- 2 Este método genera una tabla de valores que al ser convolucionados con una entrada cualquiera, se obtiene la respuesta del sistema identificado.
- 3 La tabla obtenida por el método de identificación es útil en predicción, simulación y control. Particularmente, es de utilidad en la identificación online mediante microcontrolador o PLC.
- 4 Los errores obtenidos fueron aceptables.

#### REFERENCIAS

Bravo-Montenegro, D., Rengifo-Rodas, C. & Franco-Mejía, E., 2013. Identificación en lazo cerrado de sistemas dinámicos. *Revista Colombiana de Física*, 45(1), pp. 45-52.

Irizar, M., 2005. La inteligencia computacional en la identificación de sistemas. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, XXVI(1), pp. 35-41.

LJUNG, L., 1987. *System Identification - Theory for the User*. N. J.: Prentice Hall.

SÖDERSTROM, T. & STOICA, P., 1989. *System Identification*. London: Prentice Hall International.

Zadeh., L. A., 1962. From Circuit Theory to System Theory. En: *Facets of Systems Science*. s.l.:IRE (Volume:50 , Issue: 5 ), p. 856-865.