

## Sintonización de un controlador de temperatura a través de un autómata programable

### Tuning of a temperature controller through a programmable automatism

Daniel Cera-Martínez<sup>1</sup>  
Jesús Eduardo Ortiz-Sandoval<sup>2</sup>  
Oscar Eduardo Gualdrón-Guerrero<sup>3</sup>

Recibido: septiembre 26 de 2017  
Aceptado: mayo 28 de 2018

#### Resumen

La implementación de controladores PID en la industria tiene como principal dificultad la programación de los autómatas encargados de los procesos, lo que usualmente se traduce en controladores on-off sin ningún tipo de sintonización. El objetivo de la investigación fue el establecer el rendimiento de algunas técnicas de sintonización de constantes, en un controlador lógico programable comercial, evaluándolas de forma práctica en un sistema temperado. El sistema está compuesto por un recipiente con agua, un controlador PID en el PLC s7-300, haciendo uso del módulo de control de temperatura Siemens FM 355-2C, una resistencia calefactora AC como actuador (controlada por voltaje DC), y termocupla tipo E como sensor de temperatura. El modelo matemático del sistema, así como las constantes del controlador PID, se obtuvieron a través del módulo PID Tuner de Matlab. Las técnicas de identificación estudiadas fueron: la red neuronal MLP, la red auto-regresiva no lineal con entradas exógenas (NARX) y la red neuro-difusa (ANFIS). Los resultados indican que las técnicas anteriores son adecuadas para sintonizar un controlador PID, siendo aplicables en procesos industriales.

**Palabras clave:** control de temperatura, PLC, técnicas de identificación, redes neuronales, controlador PID.

#### Abstract

The implementation of PID controllers in industry has as main difficulty the programming of automatism in charge of processes, which usually is translated into on-off controllers without any kind of tuning. The goal of this research was to establish the behaviour of some techniques of constant tuning, in a commercial programmable logic controller, evaluating them into a temperature system. The system is composed of a container with water, a PID controller in the PLC s7-300, making use of the temperature control module Siemens FM 355-2C, a resistance heater AC as actuator (controlled by DC voltage), and thermocouple type as a temperature sensor. The mathematical model of the system, as well as the constants of the PID controller, were obtained making use of the Matlab PID Tuner computational tool. The identification techniques studied were: MLP neural network, the non-linear auto-regressive network with exogenous inputs (NARX) and the neuro-diffuse network (ANFIS). The results show that the previous techniques are adequate to tune a PID controller, being useful in industrial processes.

**Keywords:** temperature control, PLC, identification techniques, neural networks, PID controller.

1 Ingeniero Mecatrónico, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. E-mail: jose.cera@unipamplona.edu.co

2 Ingeniero Electrónico, Magíster em Controles Industriales, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile. E-mail: jesus.ortiz@sansano.usm.cl

3 Ingeniero Electrónico, Doctor en Ingeniería Electrónica, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. E-mail: oscar.gualdron@unipamplona.edu.co

## 1. Introducción

La temperatura, junto con la presión y la velocidad, es una de las variables que más frecuentemente aparecen en procesos industriales y domésticos (Ruiz-Ayala, Vides-Herrera & Pardo-García, 2018). En este sentido, el control de la temperatura ha sido ampliamente utilizado, pudiéndose encontrar en aplicaciones tan diversas, como: fabricación de muebles, caracterización de asfalto, hornos para el secado de alimentos, en el proceso de cocción de ladrillos, en la producción de fertilizantes y en la manipulación de radioisótopos industriales, por mencionar algunas (Martínez-Mendoza, Sol-Sampedro, Rivas-Tovar & Toledo-toledo, 2015; Moreno-Anselmi, Reyes-Ortíz & Ruíz-Acero, 2016; Criollo, Alvarado, & Numpaqué, 2014; Sánchez-Molina, Gelves-Díaz & Ramírez, 2012; Flórez-Solano, García-León & Sánchez-Ortíz, 2017; Martínez-Ovalle, Reyes-Caballero & González-Puin, 2013).

Las técnicas para controlar parámetros físicos han mutado de lo análogo a lo digital, en la medida en que han ido apareciendo dispositivos electrónicos que permiten ejecutar algoritmos más complejos (Pabón-Fernández, Díaz-Rodríguez & Pardo-García, 2016; Vargas-Guativa, López-Velásquez & Conde-Cárdenas, 2014). Esto último ha permitido pasar del control Proporcional Integral Derivativo, PID, a estrategias de control basadas en redes neuronales, que aprovechan la capacidad de cómputo de los dispositivos programables.

En el caso de la temperatura, el control PID dejó de lado al control on-off, antes tan popular, debido a las grandes ventajas que presenta frente a este último, como: control de alta precisión, pues un control más finamente sintonizado permite la resistencia a las perturbaciones externas y choques de calor, ampliando así la vida útil del calentador; además, el gradiente se puede configurar como se desee, de modo que la salida se puede ajustar de forma más precisa (Lutvica, 2009; Hernández-Arroyo, Díaz-Rodríguez & Pinzón-Ardila, 2014).

Los controladores también han evolucionado, pasando de la lógica cableada a dispositivos electrónicos programables, como los microcontroladores y los Controladores Lógicos programables, PLC por sus siglas en inglés (Cárdenas & Prieto-Ortíz, 2015; Sánchez-Dams, 2013; Niño-Vega, Martínez-Díaz & Fernández-Morales, 2016). Hoy en día el campo de aplicación de los PLC es muy extenso, empleándose en el control de procesos industriales, en señalización y maniobras de máquinas, e incluso en la educación (Velagic, Osmic, Ludvica & Kadik, 2010; Cáceres & Amaya, 2016; Duarte, Reyes-Caballero & Fernández-Morales, 2013). La aplicación de un PLC abarca procesos industriales de diversos tipos y ofrecen conexión a red; esto facilita su comunicación con un computador personal, PC por sus siglas en inglés, y otros dispositivos al mismo tiempo, permitiendo hacer monitoreo, estadísticas y reportes (Santa, 2012; Figueroa-Cuello, Pardo-García & Díaz-Rodríguez, 2017).

Los PLC facilitan enormemente la automatización de procesos industriales, ya que están diseñados para operar bajo condiciones rigurosas, a la vez que proveen herramientas de programación que permiten optimizar los procesos de forma rápida y eficaz (Samin, Jie & Zawawi, 2011). Sin embargo, la implementación de controladores PID en la industria tiene como principal dificultad la programación de los autómatas encargados de los procesos, lo que usualmente se traduce en controladores on-off sin ningún tipo de sintonización. La sintonización es el proceso mediante el cual se identifican las constantes y demás parámetros requeridos por los algoritmos de control, para garantizar que el comportamiento de la variable controlada se aproxime, con la intermediación del controlador, lo más posible a las condiciones deseadas (Duque-Marín, Lopez & Navas, 2017).

El objetivo de la investigación fue el establecer el rendimiento de algunas técnicas de sintonización de constantes, en un controlador lógico programable comercial, evaluándolas de forma

práctica en un sistema temperado. El documento se organiza como sigue: en la siguiente sección se describe el sistema de control, luego se presentan los procesos de identificación y sintonización del controlador PID y, finalmente, en la última sección se muestran los resultados de la implementación en el autómatas programable.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Descripción del sistema de control

La estructura de bloques del sistema de control propuesto se muestra en la figura 1. En este

esquema, el bloque 4 representa el objeto controlado: en realidad es un recipiente con agua, una resistencia calefactora de corriente alterna, AC por sus siglas en inglés, y una termocupla tipo E que opera como sensor de temperatura. El bloque 3 representa el actuador; mientras que el Bloque 2 es el controlador Proporcional Integral derivativo, PID, implementado en el controlador lógico programable, PLC. El bloque 1 representa el sistema de visualización, para la interacción hombre-máquina. El punto de operación y otros parámetros se visualizan y se pueden editar a través del computador personal, PC.

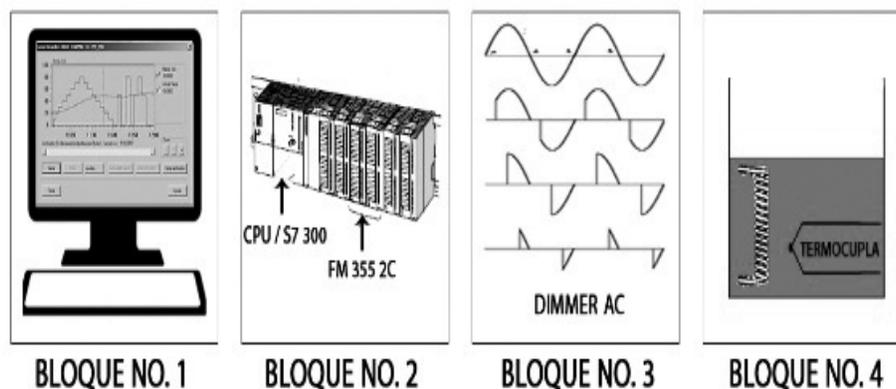


Figura 1. Estructura del sistema de control.

#### Objeto controlado

El agua contenida en un recipiente debe calentarse a una temperatura deseada por medio de una resistencia calefactora alimentada por AC. En este sentido, el objeto controlado se puede describir con una ecuación de primer orden:

$$T_d \cdot \dot{t} + t = K \cdot u \quad (1)$$

Donde:  $t$  es temperatura,  $u$  es la entrada del sistema,  $K$  y  $T_d$  son constantes positivas.

Aplicando la transformada de Laplace a ambos lados de la ecuación 1, se obtiene la función de transferencia del objeto controlado:

$$G(s) = \frac{T}{U} = \frac{K}{T_d \cdot s + 1} \quad (2)$$

Esta función de transferencia representa una aproximación matemática del objeto controlado, en el dominio complejo de Laplace. La constante positiva  $T_d$  tiene una dimensión física de tiempo, mientras que la constante positiva  $K$  es una ganancia adimensional del sistema interior. En este caso,  $T_d$  representa la constante de tiempo de calentamiento para el objeto controlado, y se puede identificar como el tiempo en que la salida del sistema alcanza el 63,21% de su valor final. En la mayoría de los sistemas, el valor de salida final se alcanza en aproximadamente  $5T_d$ . Lógicamente, estos tiempos son diferentes para

el calentamiento y el enfriamiento y deben ser determinados por separado.

### *Controlador y actuador*

Se utilizó como controlador el PLC Siemens S7-300, en conjunto con el módulo de control de temperatura FM 355-2C (Siemens, 2017). Este módulo incluye un software que permite, por medio de una interfaz gráfica para PC, modificar los parámetros del controlador PID, así como el punto de operación y además visualizar el comportamiento de la planta. Además, el módulo de control de temperatura ofrece soporte para termopares tipo B, E, J, K, R y S, al igual que para Pt100, todos parametrizados por software, sin la necesidad de una etapa de amplificación de la señal (Altamirano-Santillán, Vallejo-Vallejo & Cruz-Hurtado, 2017).

Teniendo en cuenta que la resistencia calefactora opera en AC, mientras que la señal de salida del controlador es un nivel de corriente continua, DC por sus siglas en inglés, es necesario realizar la adaptación, lo cual se hizo con un dimmer controlado por voltaje DC. En otras palabras, para escalar la señal analógica de salida del módulo FM 355-2C (0 – 10 V DC), a un rango de 0-110 V AC, se hizo uso del circuito integrado 555 configurado como monoestable, controlado por voltaje y sincronizado con un circuito de cruce por cero, conectando su salida a un opto-triac y consecutivamente a un triac. Este montaje permite controlar la potencia entregada a la resistencia calefactora (Lazaridis, 2010).

El funcionamiento del sistema se puede sintetizar como sigue: utilizando el computador, un operador define la temperatura deseada en el agua, valor de referencia, y los valores de los parámetros del controlador PID. La temperatura real del agua, que es procesada por el módulo FM 355-2C, se muestra en el computador. Basándose en la diferencia entre la temperatura deseada y la

medida, el módulo de control de temperatura FM 355-2C genera una señal de salida de control en el rango de 0-10 V DC. El actuador, dimmer de DC, escala la señal de control a un rango de 0-110 V AC y suministra energía a la resistencia calefactora cuando es necesario. La energía se libera en forma de calor, hasta que, eventualmente, la diferencia entre las temperaturas medida y deseada se reduce a prácticamente cero.

### 2.2 Metodología

La investigación fue de tipo experimental e implicó la construcción de una planta temperada, que consta de: un tanque, una resistencia calefactora y dispositivos de medición y transmisión solo de la temperatura, como se indicó en la sección anterior. También se pusieron a punto los módulos de control de temperatura internos de Siemens, que son muy utilizados por los ingenieros que aplican este tipo de equipamiento (Silva-Díaz, Hernández-López, Vázquez-Peña, Pérez-Acosta & Pérez-Torres, 2017).

Una vez que la planta estuvo funcionando, se tomaron datos reales y se almacenaron para efectuar el modelamiento del sistema con distintas técnicas. Las técnicas de identificación estudiadas fueron: la red neuronal MLP, la red auto-regresiva no lineal con entradas exógenas (NARX) y la red neuro-difusa (ANFIS) (Dávila-Gómez, Peña-Palacio, Ortiz-Valencia & Delgado-Trejos, 2013).

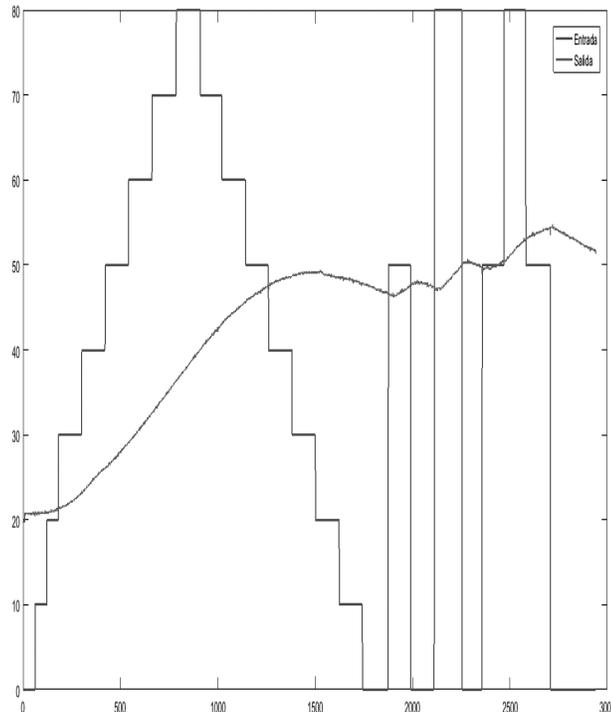
Los datos de la planta, con o sin retardos de información en las entradas del proceso, se modelaron a través de Matlab, herramienta computacional muy empleada en este tipo de aplicaciones (Pérez-Pinto, Rodríguez-Borroto & Fernández-Castañeda, 2015; Vera-Dávila, Delgado-Ariza & Sepúlveda-Mora, 2018). También se implementaron varios controladores, evaluándolos con respecto a su rendimiento, offset, tiempo de respuesta y robustez ante los cambios imprevistos.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Identificación y simulación

Para la identificación del objeto controlado, inicialmente se tomaron los datos de la respuesta

de la planta ante una entrada aleatoria de voltaje, como se muestra en la figura 2; donde la entrada se representa en porcentaje (0 – 100%), y la temperatura en grados Celsius.



**Figura 2.** Comportamiento de la planta ante una entrada aleatoria de voltaje.

La identificación se llevó a cabo utilizando la herramienta PID Tuner de Matlab, donde se ingresaron los datos mencionados anteriormente, aproximando la estimación a una función de transferencia de primer orden, con lo que se

obtuvo buenos resultados, ver figura 3. Luego se exportó la planta para conocer sus parámetros y efectuar la sintonización del controlador (Yu, 2006; Kolaj, Mozarin & Sifere, 2016).

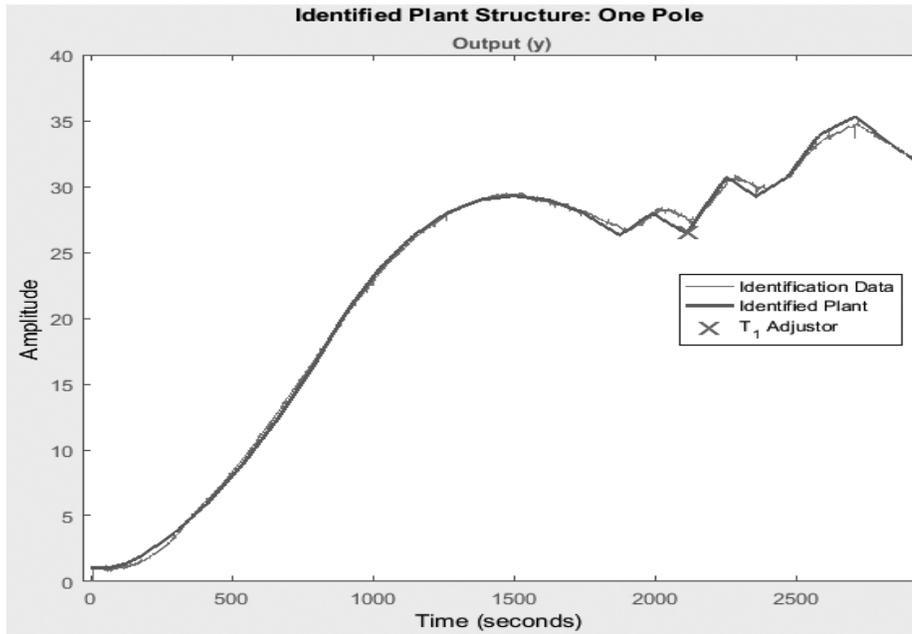


Figura 3. Datos reales vs Datos de identificación.

El proceso de estimación permitió determinar la constante de ganancia del sistema interno y el valor de la constante de tiempo:  $K = 1.1327$  y  $T_d = 1976.4$ , quedando la función de transferencia como se indica en la ecuación 3:

$$G(s) = \frac{T}{U} = \frac{1.1327}{1976.4 \cdot s + 1} \quad (3)$$

Para el entrenamiento de las redes neuronales (MLP, ANFIS y NARX), se usó un retardo en la salida; además se removió el offset (Temperatura inicial) de la salida. En la figura 4 se muestra la respuesta de la función de transferencia identificada, ante la señal de la figura 1.

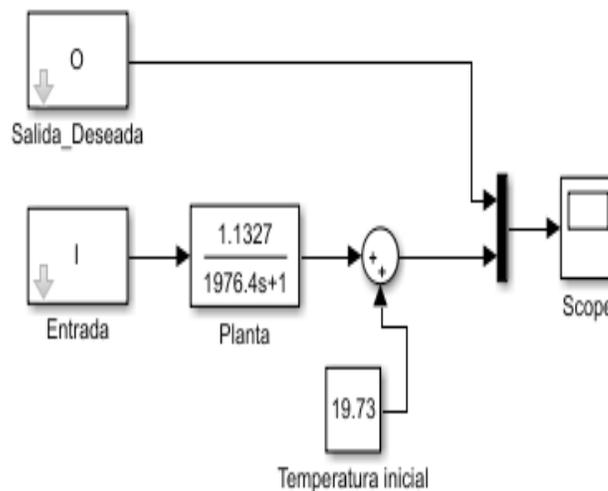


Figura 4. Diagrama de la función de transferencia.

### 3.2 Sintonización del controlador PID

Muchos controladores industriales tienen solo acción Proporcional Integral, PI. Se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden; esto puede demostrarse, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón (Mazzone, 2002).

Tomando como base los resultados de estabilidad en las pruebas realizadas, se pudo determinar que el controlador PI es la técnica más estable para este proceso. La herramienta computacional Matlab permite elegir el tipo de controlador y adecuar parámetros como el tiempo de respuesta, entre otros. En este caso, buscando una respuesta sin sobrepicos excesivos, se llegó a los resultados de la figura 5.

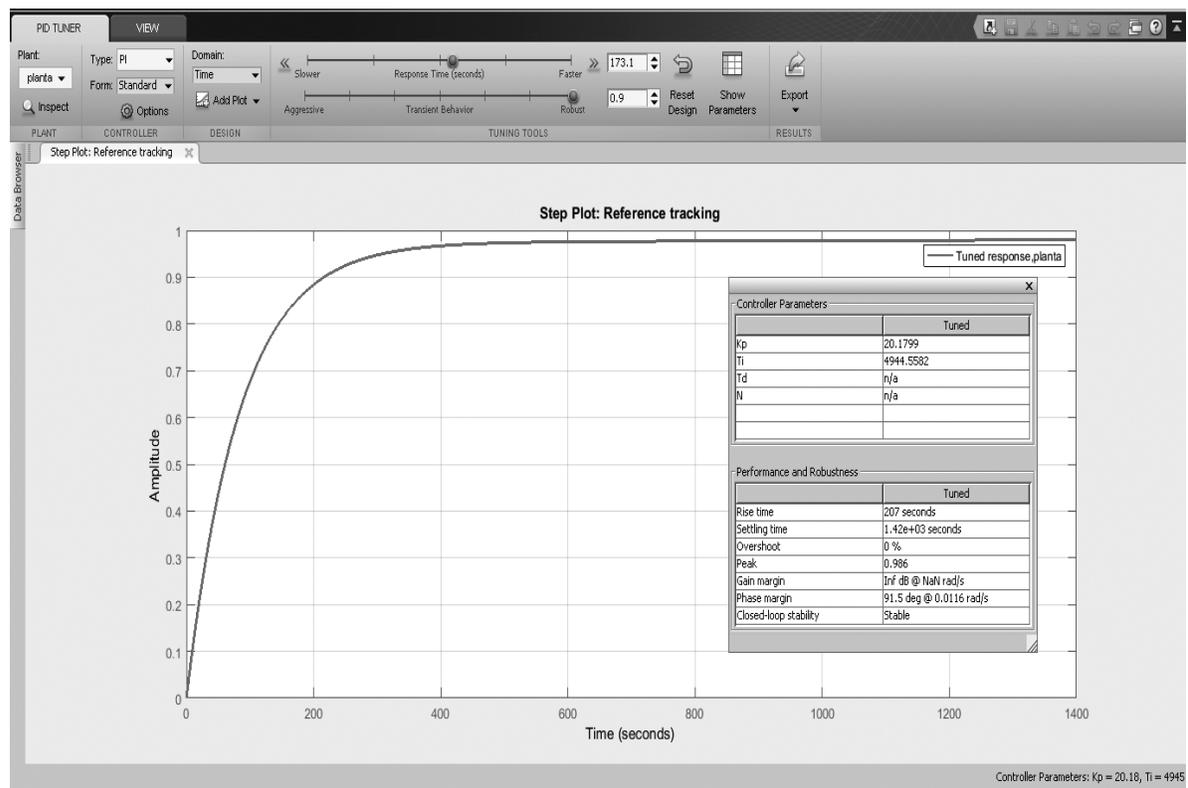


Figura 5. Sintonización del controlador en PID Tuner.

De la Herramienta PID Tuner se obtuvieron los siguientes parámetros:  $K_p= 20$  y  $T_i= 4944$ , los cuales sirvieron como base para la simulación de la planta. Adicionalmente, estos parámetros fueron ingresados en la interfaz gráfica del módulo de control de temperatura FM 355-2C, para realizar la comprobación experimental.

### 3.3 Validación experimental

La figura 6 muestra la respuesta del sistema real a un punto de ajuste arbitrariamente elegido. Es importante anotar que, aunque el comportamiento del sistema modelado fue parecido al real, este no fue idéntico. Esto se debe a que la función de transferencia del objeto controlado se determinó con una precisión del 96%, lo cual explica la diferencia del comportamiento entre las temperaturas real y simulada.

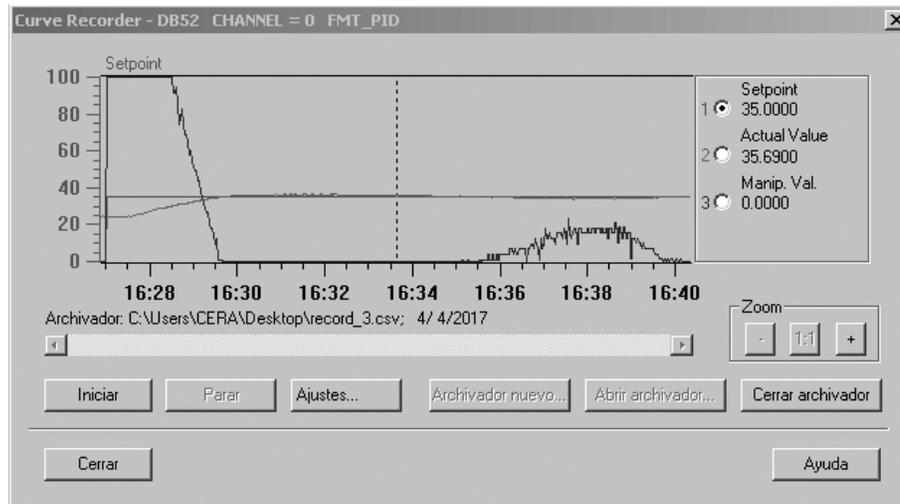


Figura 6. Registro de curvas, interfaz FM 355-2C.

El modelo Simulink del sistema de control, implementado anteriormente, y los resultados de la simulación, se utilizaron como guía para predecir el comportamiento del sistema real. En este sentido, los resultados experimentales ilustran el buen seguimiento de la temperatura con pequeñas oscilaciones y sin sobrepasos significativos. Asimismo, se logran resultados satisfactorios que aproximan el sistema físico real y el modelado.

#### 4. Conclusiones

Esta investigación propuso e implementó una solución de software y hardware para el control de la temperatura de un fluido, agua en este caso, utilizando un controlador basado en PLC y un módulo de control de temperatura. En este contexto, se han realizado la identificación, modelado y simulación del sistema de control. Se obtuvieron tanto resultados de simulación como resultados experimentales del sistema de control PID de temperatura. Basándose en el análisis comparativo de estos resultados, se concluye que se ha logrado un desempeño de control satisfactorio. Además, se consigue una buena coincidencia entre la simulación y los resultados experimentales.

Lo anterior permite establecer la importancia de utilizar técnicas de identificación basadas en redes neuronales, a procesos que requieran la sintonización de los controladores. Esto es especialmente útil cuando se emplean controladores lógicos programables en procesos industriales complejos, ya que una buena identificación de los parámetros de la planta permitirá optimizar el rendimiento de los automatismos.

#### Referencias

- Altamirano-Santillán, E., Vallejo-Vallejo, G., & Cruz-Hurtado, J. (2017). Monitoreo volcánico usando plataformas Arduino y Simulink. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7 (2), 317-329. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n2.2017.6073>
- Cáceres, C. A., & Amaya, D. (2016). Desarrollo e interacción de un laboratorio virtual asistido y controlado por PLC. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 10 (19), 9-15. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-83672016000100002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672016000100002&lng=es&tlng=es).
- Cárdenas, J. A., & Prieto-Ortíz, F. A. (2015). Diseño de un algoritmo de corrección automática de

posición para el proceso de perforado PCB, empleando técnicas de visión artificial. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 5 (2), 107-118. doi: 10.19053/20278306.3720

Criollo, B., Alvarado, J., & Numpaque, H. (2014). Control PID de temperatura y dosificación de ph para la producción de gas metano a partir de la digestión anaeróbica de residuos sólidos orgánicos. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (24), 134-141. doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v24.n24.2014.2339>

Dávila-Gómez, A., Peña-Palacio, A., Ortiz-Valencia, P. A., & Delgado-Trejos, E. (2013). Stochastic or Complex Dynamics with Missing Data: A Review on Control. *Iteckne*, 10 (1), 113-127.

Duarte, J., Reyes-Caballero, F., & Fernández-Morales, F. (2013). La enseñanza de la física en los currículos de ingeniería. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 4 (1), 45-55. doi: <http://dx.doi.org/10.19053/20278306.2606>

Duque-Marín, A., Lopez, J. A., & Navas, A. F. (2017). Sintonización de un controlador PID implementado en un PLC haciendo uso de inteligencia de enjambres. *Prospectiva*, 15 (1), 35-41. doi: <https://dx.doi.org/10.15665/rp.v15i1.679>

Figuroa-Cuello, A., Pardo-García, A., & Díaz-Rodríguez, J. (2017). Sistema control supervisor de clientes con acceso remoto para sistemas solares fotovoltaicos autónomos. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7 (2), 367-378. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n2.2017.6104>

Flórez-Solano, E., García-León, R. A., & Sánchez-Ortiz, E. A. (2017). Diseño de un sistema alimentador para un horno rotatorio en la producción de fosfato en Norte de Santander. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1 (29). doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v29.n29.2017.2489>

Hernández-Arroyo, E., Díaz-Rodríguez, J. L., & Pinzón-Ardila, O. (2014). Estudio del

comportamiento de un Control MPC (Control Predictivo Basado en el Modelo) comparado con un Control PID en una Planta de Temperatura. *Revista Facultad de Ingeniería*, 23 (37), 45-54. doi: <https://doi.org/10.19053/01211129.2789>

Kolaj, W., Mozarin, J., & Sifere, M. (2016). PLC-PIDTuner: Application for PID tuning with SIMATIC S7 PLC controllers. *21st International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, 306-311.

Lazaridis, G. (2010). *Voltage Controlled AC Light Dimmer, PCB Heaven*. Recuperado de: [http://pcbheaven.com/circuitpages/Voltage\\_Controlled\\_AC\\_Light\\_Dimmer/](http://pcbheaven.com/circuitpages/Voltage_Controlled_AC_Light_Dimmer/).

Lutvica, K. (2009). *Temperature control in electric oven* (Tesis de pregrado). Facultad de ingeniería eléctrica, Sarajevo, Bosnia.

Martínez-Mendoza, E., Sol-Sampedro, F. J., Rivas-Tovar, L. A., & Toledo-Toledo, G. (2015). Fabricación de muebles a partir de desechos de papel. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 5 (2), 99-106. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.3144>

Martínez-Ovalle, S., Reyes-Caballero, F., & González-Puin, L. X. (2013). Protección radiológica a trabajadores y público en instalaciones que operan radioisótopos industriales. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 3 (2), 120-124. doi: 10.19053/20278306.2166

Mazzone, V. (2002). *Controladores PID*. Quilmes, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.

Moreno-Anselmi, L. A., Reyes-Ortiz, Ó. J., & Ruíz-Acero, J. C. (2016). Evaluación del comportamiento mecánico de asfalto natural a partir de muestras a temperatura ambiente provenientes de Caquetá, Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 6 (2), 145-154. doi: <http://doi.org/10.19053/20278306.3115>

- Niño-Vega, J. A., Martínez-Díaz, L. Y., & Fernández-Morales, F. H. (2016). Mano robótica como alternativa para la enseñanza de conceptos de programación en Arduino. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (28), 132-139.
- Pabón-Fernández, L., Díaz-Rodríguez, J., & Pardo-García, A. (2016). Simulación del inversor multinivel de fuente común como variador de frecuencia para motores de inducción. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7 (1), 165-180. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n1.2016.5636>
- Velagic, J., Osmic, N., Lutvica, K., & Kadic, N. (2010). Incubator system identification and temperature control with PLC & HMI. *IEEE Proceedings Elmar*, 309-312.
- Pérez-Pinto, L., Rodríguez-Borroto, M. Á., & Fernández-Castañeda, F. (2015). Modelación matemática y simulación del control automático para el quintuple efecto de evaporación del central azucarero "el palmar" en Venezuela. *Centro Azúcar*, 42 (2), 48-60. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612015000200006&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612015000200006&lng=es&tlng=es).
- Ruiz-Ayala, D. C., Vides-Herrera, C. A., & Pardo-García, A. (2018). Monitoreo de variables meteorológicas a través de un sistema inalámbrico de adquisición de datos. *Revista de investigación, Desarrollo e Innovación*, 8 (2), 333-341. doi: [10.19053/20278306.v8.n2.2018.7971](https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7971)
- Samin, R. E., Jie, L. M., & Zawawi, M. (2011). PID implementation of heating tank in mini automation plant using Programmable Logic Controller (PLC). *International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering 2011 (InECCE)*, 515-519.
- Sánchez-Dams, R. D. (2013). Estado del arte del desarrollo de sistemas embebidos desde una perspectiva integrada entre el hardware y software. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (22), 98-105. doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v22.n22.2013.416>
- Sánchez-Molina, J., Gelves-Díaz, J. F., & Ramírez, R. P. (2012). Implementación de un sistema tipo SCADA para mejorar los procesos de secado y cocción de la ladrillera Sigma Ltda., *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (20), 80-85.
- Santa, L. P. (2012). *El PLC y sus aplicaciones en la industria, revoluciones Industriales*. Recuperado de: <http://instruedes.blogspot.com.co/2012/03/el-plc-y-sus-aplicaciones-en-la.html>.
- Siemens (2017). *FM355-2 - PLCs - Siemens*. Recuperado de: <https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/advanced-controller/s7-300/function-modules/fm355-2/pages/default.aspx>
- Silva-Díaz, L. J., Hernández-López, Y., Vázquez-Peña, A., Pérez-Acosta, O. G., & Pérez-Torres, D. (2017). Diseño de un sistema de automatización para la planta de alimento ensilado "Héctor Molina". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26 (4), 109-120. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542017000400010&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542017000400010&lng=es&tlng=es).
- Vargas-Guativa, J. A., López-Velásquez, J. A., & Conde-Cárdenas, L. (2014). Sistema de instrumentación y control para tanques de almacenamiento de agua potable. *Ingeniare*, 10 (17). Recuperado de: <http://www.unilibrebaq.edu.co/ojsinvestigacion/index.php/ingeniare/article/view/416>
- Vera-Dávila, A. G., Delgado-Ariza, J. C., & Sepúlveda-Mora, S. B. (2018). Validación del modelo matemático de un panel solar empleando la herramienta Simulink de Matlab. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 8 (2), 343-356. doi: [10.19053/20278306.v8.n2.2018.7972](https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7972)
- Yu, C.C. (2006). *Autotuning of PID Controllers, a Relay Feedback Approach*. Londres, Inglaterra: Springer-Verlag.