

DISEÑO DE UN SIMULADOR DE CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES DE TEMPERATURA APLICANDO UN CONTROLADOR PID

Juan José Guevara Vásquez

Técnico en Ingeniería Electrónica, Docente Investigador de Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central Santa Tecla. Correo electrónico: juan.guevara@itca.edu.sv

Juan José Cáceres Chiquillo

Ingeniero en Electrónica, Docente Coinvestigador de Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central Santa Tecla. Correo electrónico: jcaceres@itca.edu.sv

Recibido: 02/02/2021 - Aceptado: 16/08/2021

Resumen

La Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, desarrolló el proyecto del diseño de un simulador de procesos industriales de temperatura aplicando un Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID). Este artículo describe el procedimiento de análisis de las características físicas y modelado matemático de un “Entrenador de Control de Procesos de Fluidos para Temperatura”, que fue realizado con la finalidad de crear un software simulador, el cual permite predecir su comportamiento a partir de parámetros físicos como volumen, flujo volumétrico, temperatura ambiente y además, aplicar un control PID para ajustar y mantener constante la temperatura del fluido. Como resultado, se dispone de una herramienta para que docentes y estudiantes de la asignatura de “Control de Procesos” puedan utilizarla para realizar simulaciones y ajustes en un ambiente controlado, con la seguridad que los resultados obtenidos puedan ser aplicados en un entrenador real con resultados satisfactorios.

Palabras clave

Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID), control de procesos industriales, control de temperatura, ecuaciones diferenciales, método de Euler.

DESIGN OF A SIMULATOR FOR THE CONTROL OF INDUSTRIAL TEMPERATURE PROCESSES APPLYING A PID CONTROLLER

Abstract

The Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica of the Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, has developed the project for the design of a simulator of industrial temperature processes applying a Proportional-Integral-Derivative (PID) controller. This article describes the analysis procedure for the physical characteristics and mathematical modeling of a “Fluid Process Control Trainer for Temperature”, which was carried out in order to create a simulator software that allows to predict its behavior from physical parameters such as volume, volumetric flow, ambient temperature and in addition, apply a PID control to adjust and keep constant the fluid temperature. As a result, a tool is made available for the teachers and students of the “Process Control” subject can use it to carry out simulations and adjustments in a controlled environment, with the certainty that the results obtained can be successfully applied in a real trainer.

Keyword

Proportional-Integral-Derivative (PID) controller, industrial process control, temperature control, differential equations, Euler method.

Introducción

Los simuladores son ampliamente utilizados en entornos científicos y educativos para poner a prueba sistemas, circuitos y maquinaria dentro de ambientes controlados, permitiendo reducir riesgos y daños en ellos y proporcionando, además, un mecanismo rápido y eficaz para hacer ajustes en el menor tiempo posible. En el estudio de los sistemas de control de procesos, los simuladores permiten a investigadores, docentes y estudiantes, evaluar un sistema a partir de los parámetros de control y predecir su comportamiento a fin de reducir el tiempo de ajuste en sistemas reales [1]. Durante el desarrollo de este proyecto, se analizó el funcionamiento teórico de un entrenador de control de procesos de fluidos para temperatura a partir de sus características, con lo cual se obtuvo un modelo matemático que permitió predecir su comportamiento bajo diversas técnicas de control. Con base en los resultados obtenidos, se diseñó un simulador del entrenador con un controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID), con el cual se puede experimentar y simular el comportamiento y funcionamiento del entrenador desde hogares, oficinas u otros espacios, de manera que se pueda comprender de una forma más sencilla su funcionamiento, reduciendo el tiempo de ajustes en las prácticas presenciales de laboratorio.

Metodología de la Investigación

Parte del proceso de investigación involucró la aplicación de principios teóricos físico-matemáticos y experimentación continua, por lo que se puede determinar que se efectuó una investigación aplicada de tipo científico y experimental [2], la cual se desarrolló secuencialmente en las siguientes etapas:

A. Obtención del Modelo Matemático de la Planta

En la Fig. 1 se muestran los componentes del entrenador de control de procesos de temperatura, en cual pueden apreciarse el sentido del flujo del fluido (H₂O) y las válvulas del control de paso.

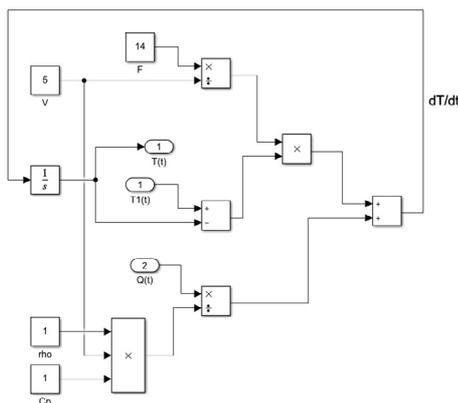


Fig. 1. Diagrama de bloques del Entrenador de Control de Procesos de Temperatura.

Cuando el fluido se dirige desde el tanque 1 hacia el tanque 2, se requiere de una bomba, ya que existe una diferencia de altura entre ambos; mientras que, cuando el fluido pasa del tanque 2 al tanque 1, el flujo se realiza gracias a la fuerza de la gravedad. Para efectos prácticos, se ajusta el flujo de la bomba para que coincida con el que se produce por gravedad. En el tanque 2, un calefactor industrial de 600 W tiene como función elevar la temperatura del fluido hasta un valor establecido en el set point.

Para la obtención del modelo matemático de la planta o entrenador, se utilizaron los parámetros de prueba que se muestran en la tabla 1, a partir de los cuales se obtuvo la fórmula (1), que corresponde a una ecuación diferencial ordinaria [3].

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F}{V} (T_1 - T) + \frac{Q}{\rho V C_p} \quad (1)$$

Tabla 1. Parámetros de prueba del entrenador.

Símbolo	Parámetro
F	Flujo volumétrico
V	Volumen del fluido
T ₁	Temperatura ambiente
ρ	Densidad de H ₂ O
C _p	Calor específico de H ₂ O
Q	Flujo de calor
T	Temperatura deseada

Una vez obtenida la ecuación diferencial, resultó indispensable determinar el comportamiento del sistema, a partir de los parámetros de prueba establecidos en la tabla 1 y posteriormente con otros elegidos al azar.

Para comprobar la estabilidad del modelo de la planta descrito por la ecuación (1), se utilizó el método numérico de Euler [4], ya que puede ser fácilmente implementado en una computadora [5] y con el que se obtuvo el resultado de la gráfica de la Fig. 2, en la cual puede apreciarse que el sistema se estabiliza exactamente a 35 °C; queda comprobada su estabilidad.

B. Simulación del Modelo de la Planta

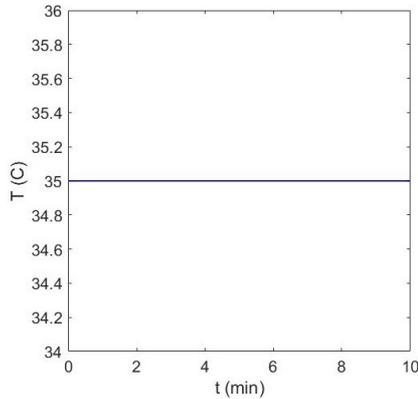


Fig. 2. La gráfica resultado de la ecuación diferencial muestra como el sistema se estabiliza a 35 °C.

Para una simulación dinámica del sistema, se crearon con ayuda del software Simulink dos modelos: un modelo diferencial que se muestra en la Fig. 3, que constituye una representación fiel de la ecuación (1) y otro basado en su función de transferencia.

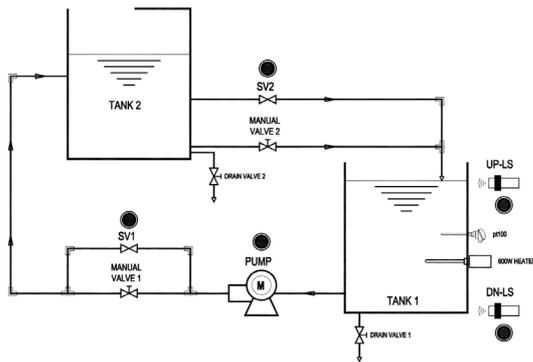


Fig. 3. Modelo diferencial de la ecuación (1).

En la Fig. 4, se muestra la función de transferencia para T_1 que representa la temperatura ambiente del fluido y por lo tanto inicial. En caso de que esta temperatura no se establezca, el sistema toma como temperatura inicial 0°C. Por otra parte, Q_s representa el flujo de calor que es proporcional a la energía que se aplica al calentador de 600 W y que se regula de acuerdo con la temperatura medida por el sensor PT100 y los parámetros de sintonización definidos en el controlador PID.

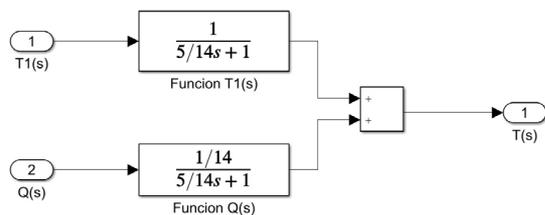


Fig. 4. Modelo de la función de transferencia de la ecuación (1).

El controlador Proporcional Integral Derivativo (PID) es una de las técnicas de control más utilizadas en la industria, sobre todo por la relativa sencillez de su sintonización, dado que existen diversas técnicas y métodos para lograr dicho propósito [6]. El entrenador a partir del cual se diseñó este simulador cuenta con un controlador PID, por lo que fue necesario dotar a los modelos anteriormente creados de un controlador PID para evaluar su comportamiento ante diversos parámetros de entrada y perturbaciones. En la fórmula (2), se muestra la ecuación del controlador PID y los parámetros de sintonización en la tabla 2.

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}} \quad (2)$$

Tabla 2
Parámetros de sintonización del controlador PID

Símbolo	Parámetro	Valor
P	Proporcional	5
I	Integral	12.5
D	Derivativo	0.1
N	Coefficiente de compensación	100

Los valores de la tabla 2 se obtuvieron mediante la implementación de la regla Ziegler-Nichols para la sintonía de controladores PID y se implementaron en Matlab y Simulink [7] [8]. En la Fig. 5, se muestra el modelo completo.

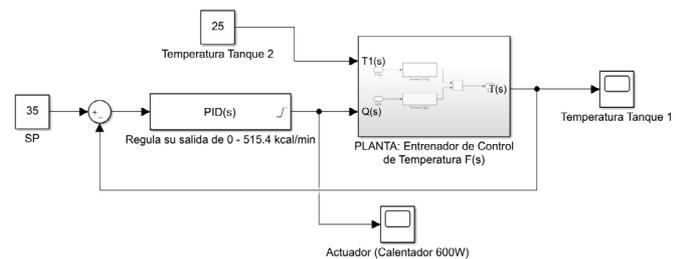


Fig. 5. Modelo completo de la planta y controlador en Simulink.

Resultados

A. Elaboración del Simulador

Finalizada la etapa de modelado y de evaluación del comportamiento, se procedió a la elaboración del simulador utilizando el software demostrativo LabView 2020, el cual

permite al diseñador abstraerse en gran medida del proceso de programación, enfocándose principalmente en un modelo funcional por medio de su entorno de programación G.

El principal objetivo fue diseñar una interface de usuario similar al presentado por el entrenador real que puede apreciarse en la Fig. 6. El simulador cuenta con gráficos que permiten observar el comportamiento de la planta, bajo diversos parámetros de sintonización y de temperatura, también permite la modificación en tiempo real de cada uno de ellos.

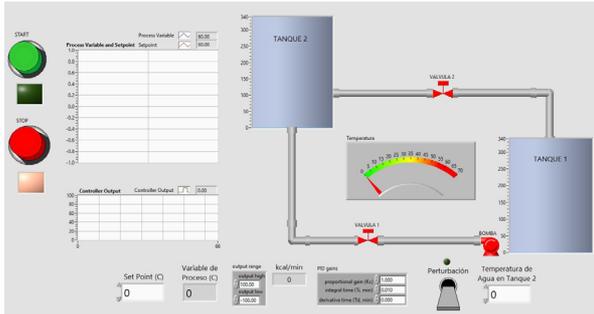


Fig. 6. Interface de usuario del simulador creado.

B. Análisis de los resultados

En primera instancia, fue evaluado el comportamiento de la función de transferencia de la planta junto al controlador PID, mediante un proceso de simulación que incluyó variaciones en los tiempos de simulación y parámetros de sintonización, obteniendo para todos los casos de ajuste óptimo, una gráfica típica del controlador PID correctamente sintonizado, la cual se muestra en la Fig. 7.

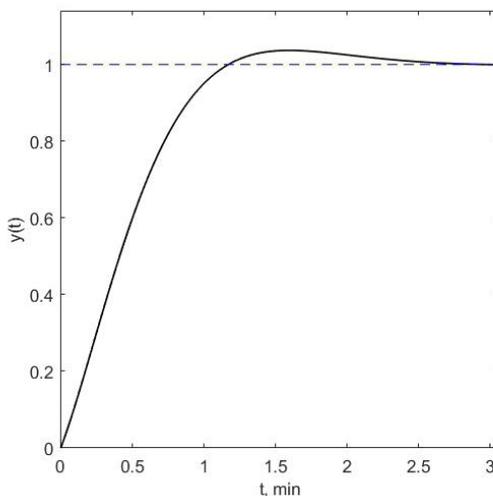


Fig. 7. Gráfica del comportamiento de la función de transferencia de la planta con el controlador PID activado.

Posteriormente, se evaluó el comportamiento del modelo completo de la planta junto al controlador PID mostrado en la Fig. 5, sintonizado con los valores indicados en la tabla 2, obteniendo el comportamiento mostrado en la gráfica de la Fig. 8.

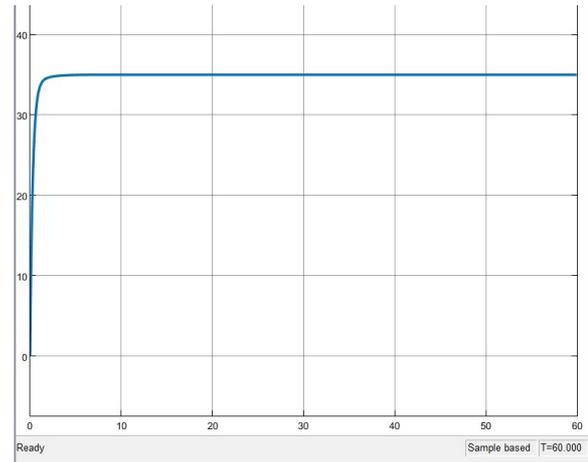


Fig. 8. Gráfica del comportamiento del modelo de la planta con un controlador PID sintonizado correctamente.

Finalmente, en la gráfica de la Fig. 9, se observa el comportamiento del simulador desarrollado; puede apreciarse que el sistema realiza el proceso de ajuste automático ante las perturbaciones producidas.

Como los resultados obtenidos fueron los esperados, se dio por finalizado el proceso de diseño del simulador.

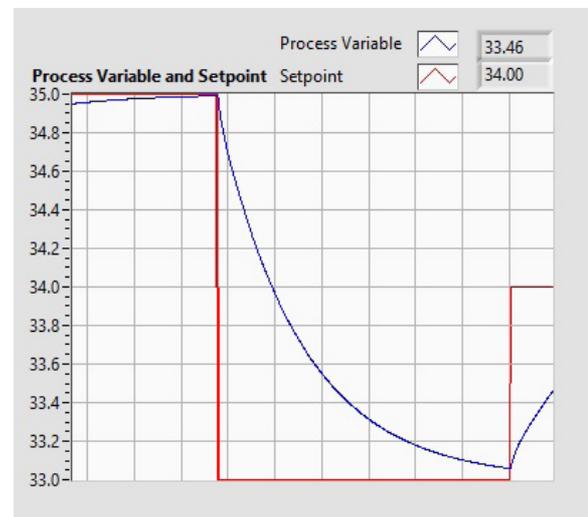


Fig. 9. Gráfica del comportamiento del simulador con un controlador PID correctamente sintonizado.

Conclusiones

1. Es posible modelar matemáticamente un proceso industrial para predecir su comportamiento y sobre la base de este modelo, crear un controlador proporcional, integral y derivativo que lo mantenga controlado a pesar de las variaciones a las que estaría sujeto en la realidad.
2. Se pueden desarrollar simuladores por software que permitan a docentes, estudiantes e investigadores evaluar el comportamiento de un sistema controlado, efectuar ajustes y corregir errores sin necesidad de arriesgar un equipo de alto costo y reducir tiempos de desarrollo de soluciones.
3. Se pueden utilizar los simuladores de control de procesos industriales de temperatura en la enseñanza aprendizaje de estudiantes, y desarrollar guías de práctica para niveles de carreras técnicas y de ingeniería.
4. Mediante el uso de simuladores como el desarrollado e implementado durante esta investigación, se mejora el aprendizaje de los estudiantes en el área de control de procesos y control automático, ya que pueden realizar cálculos y experimentar con la seguridad que los resultados obtenidos serán similares a los producidos en los entrenadores reales.
5. El simulador facilita la realización de pruebas y ajustes por parte de estudiantes y docentes, sin embargo, será necesario acceder al entrenador real para comprobar los parámetros de control.
6. Es importante el reacondicionamiento y diseño de los entrenadores para que éstos puedan ser utilizados por estudiantes y docentes de forma remota.

Referencias

- [1] J. L. A. Bedoya y J. A. Giraldo, "Los simuladores: estrategia didáctica en la inclusión de los conceptos matemáticos en la Física", *Rev. Científica*, pp. 110–120, feb. 2019.
- [2] Z. R. Vargas-Cordero, "La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica", *Rev. Educ.*, vol. 33, núm. 1, p. 155, jul. 2009, doi: 10.15517/revedu.v33i1.538
- [3] D. G. ZILL, *Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado*. 9a ed., vol. 1. México, D.F.: Brooks & Cole /Cengage Learning, 2009.
- [4] M. R. Spiegel, *Ecuaciones diferenciales aplicadas*, 3a ed. Mexico, D.F. : Prentice Hall, 1983.
- [5] "Euler Method" [Online]. Available: <https://la.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/72522-euler-method>. Accessed: Ene 25, 2021
- [6] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*, 5a ed. Madrid: Pearson Educación, 2010.
- [7] "Create PID controller in parallel form, convert to parallel-form PID controller - MATLAB pid - MathWorks América Latina" [Online]. Available: <https://la.mathworks.com/help/control/ref/pid.html>. Accessed: Mar 12, 2021
- [8] "Continuous-time or discrete-time PID controller - Simulink - MathWorks América Latina" [Online]. Available: <https://la.mathworks.com/help/simulink/sref/pidcontroller.html>. Accessed: Mar 12, 2021

Recomendaciones

1. Como todo programa, el simulador diseñado está sujeto a mejoras con el objetivo de corregir errores y mejorar la experiencia del usuario.
2. Utilizar el simulador en los módulos relacionados con el control de procesos y documentar las observaciones de docentes y estudiantes con el fin de mejorar el programa.
3. En la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica se cuenta con dos entrenadores adicionales para el control de procesos industriales, los cuales deben ser también simulados a través de un programa informático.
4. Es importante que las instituciones educativas de educación superior cuenten con herramientas informáticas avanzadas para desarrollar e implementar simuladores.