

## Módulo de control de dos variables de proceso

## Module for the control of two process variables

Edwin Marcelo Flores Sandoval<sup>1</sup> , Johnatan Israel Corrales Bonilla<sup>2</sup> , Francisco Saúl Alcocer Salazar<sup>2</sup> , Paco Jovanni Vásquez Carrera<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui, Pichincha – Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná – Ecuador

Correo de correspondencia: edwin.flores@ister.edu.ec, johnatan.corrales5518@utc.edu.ec, francisco.alcocer6797@utc.edu.ec, paco.vasquez@utc.edu.ec

### Información del artículo

**Tipo de artículo:**  
Artículo original

**Recibido:**  
08/03/2022

**Aceptado:**  
15/05/2022

**Publicado:**  
15/06/2022

**Revista:**  
DATEH



### Resumen

El control y automatización de los procesos industriales permiten que las industrias mejoren su producción y exista mayor rentabilidad, el módulo didáctico de control de dos variables, permitirá reforzar los conocimientos teóricos - prácticos en los estudiantes de la carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná a través del control y la interacción con las variables caudal y presión, el estudiante podrá realizar prácticas diseñadas para el uso del módulo y de esta forma llegar a ser más competitivos en el sector industrial. El módulo didáctico implementado cuenta con elementos industriales como: PLC, variador, bomba, transmisor de presión, válvula de control proporcional, además de un panel táctil que permite la interacción entre el usuario y las variables para realizar controles Manuales y Automáticos. En modo manual se configura los parámetros de frecuencia en el variador y posición en la válvula de control, en modo automático se realiza el control de las dos variables usando dos tipos de control como son PID y On-Off.

**Palabras clave:** Automatización, control, presión, caudal.

### Abstract

The control and automation of industrial processes allow industries to improve their production and there is greater profitability, the didactic module of control of two variables, will reinforce the theoretical and practical knowledge in the students of the Electromechanical career of the Technical University of Cotopaxi, La Maná extension through the control and interaction with the variables flow and pressure, the student can perform practices designed for the use of the module and thus become more competitive in the industrial sector. The didactic module implemented has industrial elements such as: PLC, variator, pump, pressure transmitter, proportional control valve, in addition to a touch panel that allows the interaction between the user and the variables to perform Manual and Automatic controls. In manual mode the parameters of frequency in the inverter and position in the control valve are configured, in automatic mode the control of the two variables is performed using two types of control such as PID and On-Off.

**Keywords:** Automation, control, pressure, flow

**Forma sugerida de citar (APA):** López-Rodríguez, C. E., Sotelo-Muñoz, J. K., Muñoz-Venegas, I. J. y López-Aguas, N. F. (2024). Análisis de la multidimensionalidad del brand equity para el sector bancario: un estudio en la generación Z. Retos Revista de Ciencias de la Administración y Economía, 14(27), 9-20. <https://doi.org/10.17163/ret.n27.2024.01>.

### INTRODUCCIÓN

Los procesos de soldadura han evolucionado de manera Para poder diseñar el módulo didáctico se tiene una fundamentación científico técnica, para lo cual se hará mención a todos los dispositivos que forman parte del lazo de control del módulo didáctico como son: sensor de presión, sensor de caudal, PLC, variador de frecuencia, electroválvula, Touch Panel, bomba centrífuga, diseño mecánico, estrategias de control. La fundamentación generada es el pilar fundamental de la investigación y

conocer los principios de funcionamiento de cada equipo a utilizar en el diseño del módulo y la correcta selección de los equipos. Según Harper (2013), los procesos industriales varían su naturaleza, pero tienen algo en común, que se requiere de control de algunas magnitudes físicas como son temperatura, presión, flujo entre otras. El sistema de control compara el valor de una variable a controlar con un valor deseado y cuando existe desviación del proceso existe una acción controladora sin que exista una intervención de una persona (Roca, 2014). El sistema

de control elemental consta de la unidad de medida, indicador, registrador, elemento final de control y el proceso a controlar (Gutiérrez & Iturralde, 2017). En su forma básica un lazo o bucle de control se lo puede tomar como un sistema compuesto por el elemento de medición, controlador, elemento de control final y el propio proceso, el propósito es mantener el proceso estable, independientemente de desajustes y perturbaciones que puedan existir (Kuphaldt, 2016).

El sistema de control a lazo abierto no dispone de una retroalimentación dada por un sensor, la salida se ajusta de forma manual con ayuda de un operador, en su defecto, el sistema de control lazo cerrado se apoya de sensores para toma de muestras de la variable (Ardila, 2017), este valor es comparado con la señal de ajuste y un controlador toma una acción para que el sistema se mantenga cerca de la señal deseada (Harper, 2013). Según Moya (2018), la importancia del comportamiento dinámico de los procesos que influye mediante una variable física o química, la cual debe ser medida o controlada, las variables más usadas en control de procesos son: temperatura, presiones, caudales, velocidad, nivel, peso, humedad, conductividad, densidad, concentración de un reactivo entre otras, las cuales son de naturaleza dinámica, por lo que siempre ocurren variaciones y si no se toman acciones oportunas, la calidad del producto y los índices de producción, no cumplirán con las condiciones de diseño (Mesa et al., 2020).

Hay dos variables físicas que en fluidos son las más usadas y controladas, estas son Presión y Caudal. Se puede definir el caudal como la cantidad de fluido que circula a través de una sección por unidad de tiempo, esta definición es válida para cualquier tipo de fluido (Mott, 2006). Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo (PCE Instruments Chile SA, 2011). La presión es definida como la fuerza ejercida por unidad de área, siendo directamente proporcional a la fuerza adquirida (Cotos, 2019).

### Estrategias de control de procesos

La operación automática de un sistema de control permite el encendido, apagado, modulación, arranque secuencial de equipos mecánicos y eléctricos para cumplir con el enfriamiento, calefacción, ventilación del espacio, flujo de líquidos, niveles de tanques entre otros, que a través de los controladores cumplen con los requerimientos del usuario final en los procesos industriales (Ibarra et al., 2018).

Los controladores On-Off conocidos como no progresivos, son los controles que sólo puede tomar dos posiciones: un encendido o un apagado por ellos también se los denomina controladores de todo o nada. Una desventaja del modo de encendido-apagado es el Start y Stop habituales o repetitivas alrededor del valor del punto de Setpoint (Peralta & Vargas, 2020). El control On-Off con histéresis, incorpora un retardo en el cambio de la

señal para disminuir la cantidad de conmutaciones, prolongando la vida útil de los componentes, pero se tendrá una menor precisión en torno a la referencia (DSI, 2016).

El control proporcional tiene como finalidad amplificar la señal del error antes de ejecutarla al proceso, con este tipo de control al aumentar la ganancia proporcional aumenta su velocidad y hace que disminuya el error (Tecnología de Control, 2015). El control integral tiene como función principal disminuir y tender a eliminar el error en estado estable generado debido al modo proporcional, pero se generan oscilaciones en el sistema que provocan que el sistema se ralentice (Thorsen et al., 2019).

El control derivado aproxima el error a cero y lo corrige agregando amortiguamiento al sistema a una tasa igual a la tasa a la que ocurre el error (MA'ARIF et al., 2021).

El control PID, no es más que la suma de las acciones Proporcional, Integral y Derivativo, su uso en la industria es muy frecuente, al aplicar este tipo de control aumenta la velocidad de respuesta, la estabilidad y presión del sistema, siendo considerado como un control de ajuste con predicción automática (Borase et al., 2020).

La Tabla 1, basada en (Ang et al., 2005), identifica los efectos, las ventajas y desventajas de la aplicación de cada una de las estrategias de control antes mencionados.

Control	Efectos	Ventajas	Desventajas
Control ON-OFF	Gran cantidad de conmutaciones puede provocar: <ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución de la vida útil de los componentes</li> </ul>	Tipo de control sencillo, económico con fácil instalación y poco mantenimiento.	Actuadores con mucho deterioro y no tienen mucha fidelidad.
Control Proporcional	Al aumentar la ganancia proporcional $K_p$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>Mejora la velocidad de respuesta del sistema</li> <li>Reduce el error del sistema en régimen permanente.</li> <li>Aumenta la inestabilidad del sistema</li> </ul>	Responde rápido y proporciona una buena estabilidad.	Controlador sensible al ruido y puede generar oscilaciones en la salida.
Control Integral	Al aumentar la acción integral $K_i$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>Reduce el error del sistema en régimen permanente.</li> <li>Aumenta la inestabilidad del sistema</li> <li>Aumenta la velocidad del sistema</li> </ul>	Eliminar el error en estado estable.	Muestra una respuesta en ocasiones lenta y oscilatoria
Control Derivativo	Al aumentar la acción derivativa $K_d$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>Se mantiene igual el error del sistema en régimen permanente.</li> <li>Aumenta la estabilidad del sistema controlado.</li> <li>Reduce la velocidad del sistema</li> </ul>	Pronostica el valor del error del estado.	En presencia del ruido es poco útil implementario.

Fuente: Realizado por los autores, en base a (Ang et al., 2005).

**Tabla 1.** Efectos, ventajas y desventajas de la aplicación de las diferentes estrategias de control.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizó un tipo de investigación experimental, se inicia con la investigación de información sobre todos los puntos que intervienen para el desarrollo del módulo didáctico

previo a su implementación, se parte del método deductivo con el cual se analiza la información obtenida.

En cuanto a las técnicas fueron necesarias la observación, el análisis documental y la experimentación, para poder implementar el proyecto, consecutivamente efectuar pruebas y verificar el funcionamiento.

Se emplea la metodología cuantitativa ya que se aplica investigación todo sobre los equipos se pueden utilizar en el diseño del módulo llegando a tener una máxima objetividad en ello y también se obtuvo una metodología cualitativa ya que se requirió ver cuál fue la problemática entorno al laboratorio de electromecánica, observando sus necesidades e identificando que el módulo a implementarse ayudará a mejorar los conocimientos teórico-prácticos.

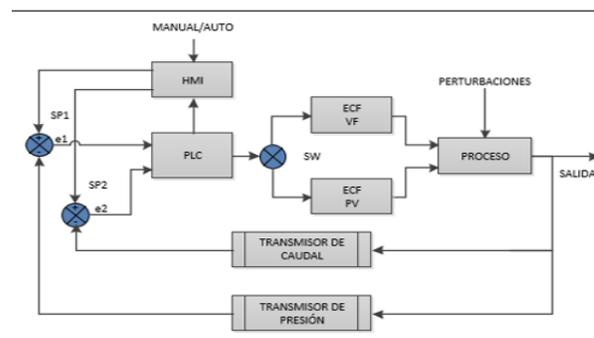
### Descripción del Sistema

El módulo didáctico de control de procesos de las dos variables manual y automático todo controlado desde un HMI programado en la Touch Panel y vinculado por Ethernet al PLC, el módulo controla la variable presión mediante un control PID y un control On/Off y el actuador que entra a funcionamiento es la válvula de control con un flujo de caudal constante al máximo de la bomba, para el control de la variable caudal se lo realiza mediante un control PID sintonizado y el actuador que entra a funcionamiento es el variador de frecuencia y la válvula de control debe estar abierta al máximo, todo esto es controlado desde la pantalla Touch Panel.

Mecánicamente fue diseñado sobre una estructura metálica para sujeción del tanque, bomba y demás elementos de la tubería, consta con la instrumentación adecuada para las variables de proceso de presión y caudal como es un transmisor de Presión de 4 a 20mA y un sensor de pulsos para el paso del caudal. Los actuadores son una bomba centrífuga controlada por un variador de frecuencia y una válvula proporcional para dejar o no pasar el flujo de agua por la tubería.

### Esquema del Sistema

El módulo didáctico viene representado en el diagrama de bloques de la imagen 1 en donde se indica las dos variables que se encuentran inmersa en el mismo y los modos de control manual y automático.



Fuente: Realizado por los autores

Figura 1. Diagrama de bloques del módulo didáctico.

En donde la nomenclatura del diagrama es la siguiente:

**PROCESO:** Proceso de caudal y presión en la tubería representado por la bomba centrífuga, el tanque de almacenamiento, válvulas, accesorios y la conexión de la tubería (1/2) que va desde el tanque a la bomba y desde la bomba hacia el tanque.

**PLC:** Representa la Unidad de Control Lógica Programable (Siemens S7-1200 CPU 1214C y módulo SM 1234 AI/AQ), dispositivo que se encarga de adquisición de datos, control de las variables, gestionar las comunicaciones con el HMI y la PC.

**HMI:** Representa la Interfaz Humano Máquina (KTP600 Basic), mediante la cual el operador puede interactuar con los procesos, seleccionar el tipo de control e ingresar el valor de Set Point que se desea en modo automático.

**ECF VF:** Elemento de control final (Variador de Frecuencia), dispositivo que regula la velocidad de la bomba de acuerdo a una señal de control, tiene como función variar el caudal de agua que circula por la tubería.

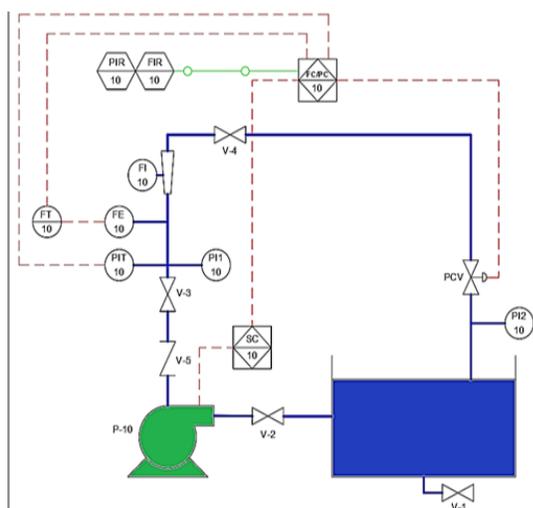
**ECF PV:** Elemento de control final (Válvula de control electroválvula), dispositivo que regula el caudal de la tubería acuerdo a una señal de control, tiene como función variar la presión que circula por la tubería.

**Transmisor de Presión:** Transmisor encargado de sensar la variable presión (Pressure Transmitter), transmite mediante una señal estándar de corriente de 4 a 20 mA al PLC.

**Transmisor de Caudal:** Representado por un caudalímetro que entrega un tren de pulsos y esta frecuencia es transformada por un convertor F-V, transmite mediante una señal estándar de corriente de 0 a 10V al PLC.

### Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID)

El diagrama P&ID del sistema se lo muestra en la Figura 2.



Fuente: Los autores

**Figura 2.** Diagrama P&ID del módulo didáctico.

La nomenclatura utilizada en el diagrama P&ID del módulo didáctico es la siguiente y se toma como lazo del proceso al valor de 10 para seguir la nomenclatura del diagrama:

- **Bomba (P-10):** Bomba trifásica de 1HP, con la cual se da el proceso de impulsión y succión del agua que circula por la tubería desde y hacia el tanque.
- **Válvulas de paso (V-1, V-2, V-3, V-4):** Son válvulas de bola que se encuentran instaladas en la tubería, V-1 ayuda a desfogar el agua dentro del tanque de almacenamiento cuando se desea vaciarlo, V-2 impide el paso del agua a la bomba y puede ayudar en un mantenimiento de la bomba conjuntamente con la válvula V3 y V-4 puede ser utilizada como una perturbación del sistema.
- **Válvulas check (V-5):** Válvula check instalada para protección y que el flujo no retorne a la bomba
- **Elemento primario de flujo (FE-10):** Caudalímetro utilizado como sensor de flujo de rueda de paletas, ubicado en campo.
- **Transmisor de flujo (FT-10):** Transmisor de flujo montado en el panel, instrumento que convierte la señal dada por el sensor de flujo en frecuencia a una señal estándar de 0 a 10V.
- **Indicador de flujo (FI-10):** Rotámetro instalado en la tubería para indicación del caudal que está pasando por la tubería.
- **Indicador de presión (PI1-10 / PI2-10):** Indicador de presión manométrica ubicado en campo para la medición de la variable física de presión.
- **Transmisor indicador de presión (PIT 10):** Transmisor de presión ubicado en el campo, instrumento que envía una señal estándar de 4 a 20 mA.

- **Controlador de velocidad (SC-10):** Variador de frecuencia Sinamics G110 ubicado en el panel, su función es controlar la velocidad de la bomba acorde a una señal de control variando de esta forma el caudal de agua que transita por la tubería.
- **Válvula de Control de Presión (PCV-10):** Válvula de control de presión que recibe una señal del control de 0V a 10V para apertura proporcional de la misma.
- **Controlador de flujo y presión (FC/PC-10):** PLC SIEMENS S7-1200 ubicado en el panel, encargado de controlar los procesos de presión y caudal, el cual debe comunicarse con la Touch Panel.
- **Registrador indicador de presión (PIR-10):** Touch Panel.KTP600 ubicado en el panel, es un interfaz humano máquina con la finalidad de indicar los parámetros de presión y selección del tipo de control manual-automático.
- **Registrador indicador de flujo (FIR-10):** Touch Panel.KTP600 ubicado en el panel, es un interfaz humano máquina con la finalidad de indicar los parámetros de flujo y selección del tipo de control manual-automático.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A manera de comprobar el funcionamiento de los lazos, se realizaron varias pruebas, para comprobar el funcionamiento del proceso controlado por el PID, variando las constantes entregadas por el Auto-tuning PID Control, diferenciando los tipos de control P, PI, PID para comparar las respuestas en estado estable e incluso con perturbaciones.

### Prueba de control Proporcional

En el control proporcional se obtuvieron los siguientes resultados ingresando los datos  $K_p=1000$ ,  $T_i=0$  y  $T_d=0$ , como se indica en la Figura 3.



**Figura 3.** Parámetros control P.

El set point ingresado es de 2 bar, el valor proceso que se estabilizo fue de 1,85 bar teniendo un error de estado estable de 0.15 bar, alejados del SP, como se puede observar en la Figura 4.

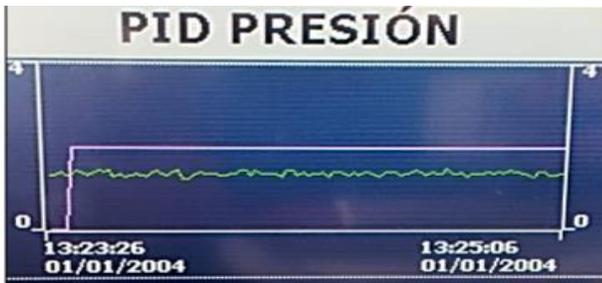


Figura 4. Gráfica de tendencia de control P

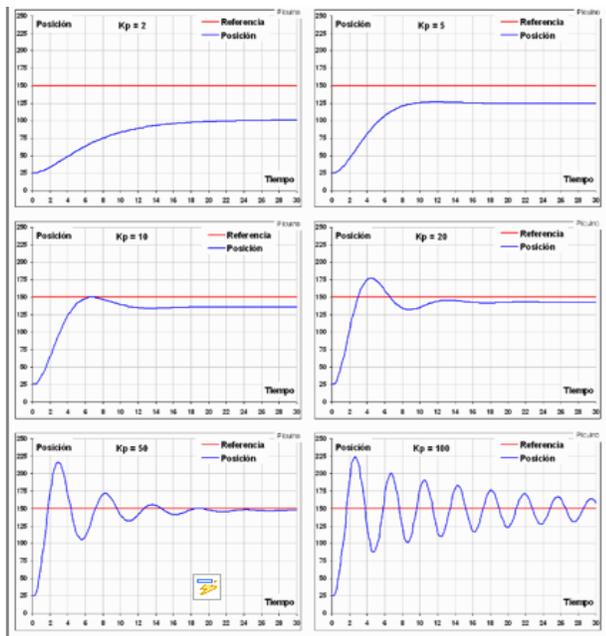


Figura 5. Resposta de control P.

El resultado del error comparado con la Figura 5, muestra que el nivel proporcional seleccionado es intermedio, no presenta muchas perturbaciones, pero su exactitud no es alta.

### Prueba de control Proporcional Integral (PI)

En el control proporcional integral se obtuvieron los siguientes resultados ingresando los datos  $K_p=50$ ,  $T_i=0,1$  y  $T_d=0$ , como se indica en la Figura 6.

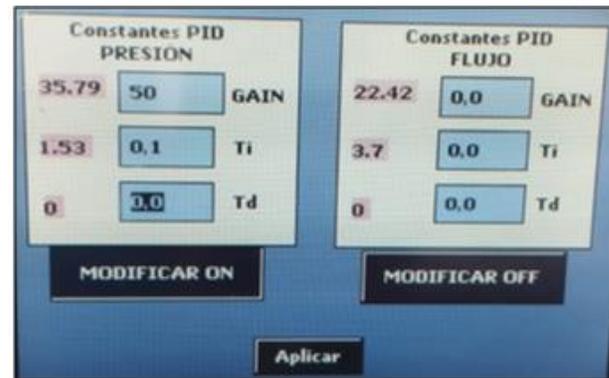


Figura 6. Parámetros de control PI.

Al ingresar estos valores, se puede observar el comportamiento teórico de la variable  $T_i$ , mientras más alta es el error va disminuyendo, esto sumado con la acción proporcional  $K_p=50$ , se acerca rápidamente al SP con menos error en el estado estable, existe aumento en la inestabilidad del sistema, pero el sistema responde de manera rápida y exacta, como muestra la tendencia de la Figura 7.

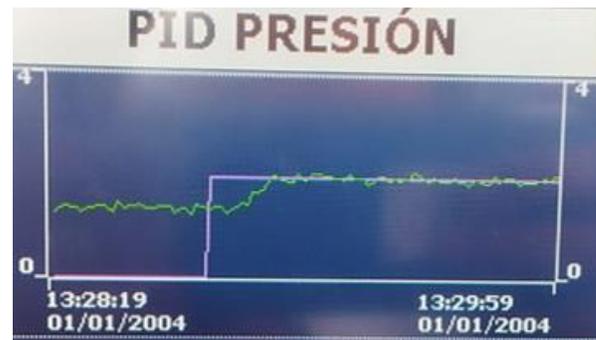


Figura 7. Gráfica de tendencia de control PI.

El resultado del error comparado con la Figura 8, muestra que el nivel integral seleccionado es medio, no presenta muchas perturbaciones, y mejora la exactitud sumada a la acción proporcional.

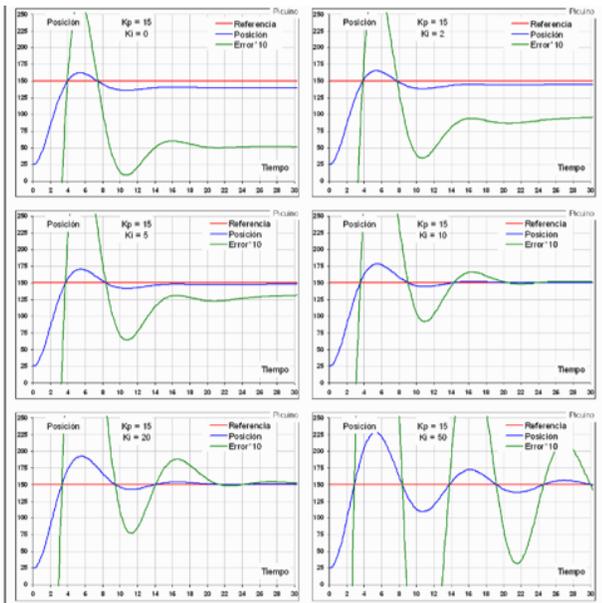


Figura 8. Respuesta de control PI.

### Prueba de control PID

Para poder realizar el control PID primero se ingresaron los parámetros de ganancia proporcional, tiempo integral y tiempo derivativo, para que el controlador comienza a interactuar con el proceso, como se indica en la imagen 9. Con los parámetros ingresados el controlador llega al set point un poco más lento que el control PI como se indica en la Figura 9, su precisión es alta, al existir ruido en el sistema, el uso de la acción derivativa hace que aumente las perturbaciones del sistema y lo haga inestable.

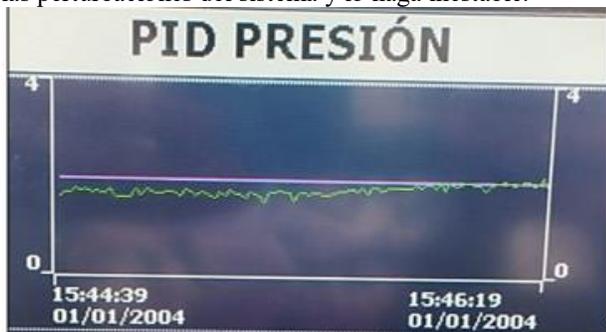


Figura 9. Tendencia del proceso de control PID de presión.

### Prueba de control PID con perturbaciones

Para poder realizar una perturbación en el módulo se procede a cerrar la válvula V4 unos 45 grados aproximadamente como se indica en la Figura 10.



Figura 10. Posición de válvula V4 para perturbación.

Con la perturbación generada se obtendrá la gráfica de la Figura 11 en donde se puede apreciar que el valor del process value se altera por el cierre del que detecta una perturbación y el control PID tiende a corregir y estabilizarse después de un determinado tiempo al valor del set point.



Figura 11. Tendencia del proceso frente a una perturbación.

El tiempo de respuesta es rápido, con una acción proporcional alta, con bajo error. El sistema se estabiliza luego de 3s de iniciada la perturbación, haciendo de esta variable controlada con las tres constantes colocadas.

### Prueba de control On-Off

El control On-Off prende y apaga a la bomba cuando se aproxima al valor del set point y el resultado se puede observar en la Figura 12.

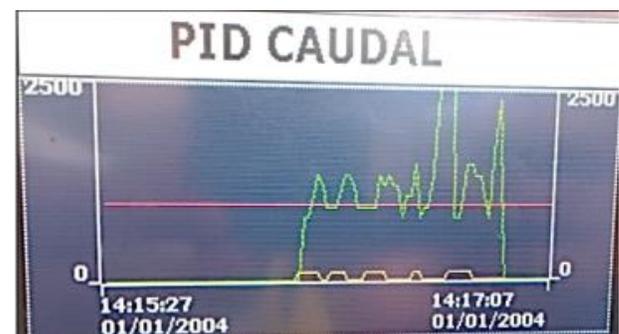


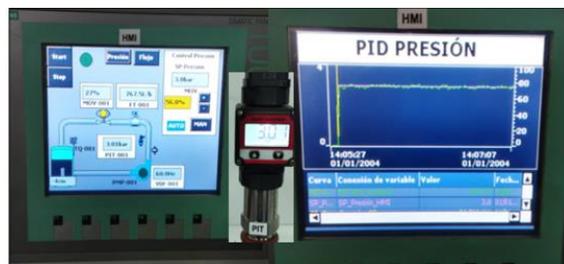
Figura 12. Posición de válvula V4 para perturbación.

Control Seleccionado.

Debido a la presencia de mucho ruido en el sistema, hace ineficiente el uso de la constante derivativa para el PID, porque provoca inestabilidad en respuestas a perturbaciones y en estado estacionario. Para poder realizar el control PI primero se ingresan los parámetros de ganancia proporcional, tiempo integral y tiempo derivativo, para que el controlador comienza a interactuar con el proceso, para lo cual y usando el Auto-tuning PID Control propio de Siemens, se obtuvieron los siguientes valores de las constantes PI para la variable de proceso "Presión":

- GAIN: 23
- Ti: 3.1
- Td: 0

Una vez ingresados los parámetros del controlador se procede a probar el funcionamiento para ello se ingresa un valor de set point deseado, inmediatamente el controlador empieza a actuar sobre el actuador para poder llegar al valor que se desea y se lo puede observar en la siguiente Imagen, tanto en la Pantalla de tendencias, la pantalla del P&ID y en el transmisor se observa el valor que se ingresó en el set point, como se indica en la Figura 13, haciendo de esta variable de procesos controlada por el módulo.



Fuente: Realizado por los autores

**Figura 13.** Tendencia de proceso de control de presión

## CONCLUSIONES

En el módulo didáctico se puede comprobar de forma práctica todos los conceptos de instrumentación y control de dos variables que se investigaron y a su vez todos los equipos y componentes que se utilizaron bajo los requerimientos técnicos que existen a nivel industrial y del laboratorio. El módulo didáctico diseñado en planos y con especificaciones técnicas cumple con todos los requerimientos para el manejo de las variables de presión y caudal en la tubería.

El módulo didáctico fue construido para el área de Instrumentación Industrial con equipos industriales como son: PLC Siemens, Variador Siemens, Bomba, Touch Panel Siemens y transmisor de Presión, es una alternativa de bajo costo con prestaciones necesarias para que los estudiantes puedan realizar diferentes prácticas en el área de control e instrumentación.

Después de realizar las pruebas del controlador PID con todas sus variantes como son controlador P, controlador PI y controlador PD, el controlador PI es el que mejor desempeño cumple con la variable de Presión para lo cual se ingresaron las constantes de  $K_p=23$ ,  $T_i=3.1$  y  $T_d=0$  y con ello el valor de la variable del proceso llega al set point deseado sin tener oscilaciones ni sobre impulsos y un tiempo de establecimiento menor a los segundos a 3 segundos, con una respuesta rápida y estable.

Al implementar las estrategias de control, el control On-Off para este tipo de procesos rápidos no fue muy eficiente ya que los elementos de control final se prenden y apagan con muchas interacciones lo que puede conllevar a que los equipos se puedan quemar más rápido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ang, K. H., Chong, G., & Li, Y. (2005). PID control system analysis, design, and technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13(4).  
<https://doi.org/10.1109/TCST.2005.847331>
- Ardila, O. P. (2017). Estado actual y futuro de la ingeniería de control. *Puente*, 4(2).
- Borase, R. P., Maghade, D. K., Sondkar, S. Y., & Pawar, S. N. (2020). A review of PID control, tuning methods and applications. In *International Journal of Dynamics and Control*.  
<https://doi.org/10.1007/s40435-020-00665-4>
- Cotos, R. (2019). Mecánica de fluidos. Impulsión de fluidos. In *Mecánica De Fluidos*.
- DSI. (2016). *Introducción a Los Controladores Lógicos Programables*. Departamento de Sistema Informático.
- Gutiérrez, M., & Iturralde, S. (2017). *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control*.
- Harper, E. (2013). *El ABC de la Instrumentación en el control de procesos industriales*. Limusa.
- Ibarra, D. G., Cadavid, A. N., & Rojas, J. G. (2018). MODELADO. In *Estimación de canal MIMO en ondas milimétricas mediante motores de juegos y aceleración por Hardware*.  
<https://doi.org/10.2307/j.ctv1t8c0x.8>
- Kuphaldt, T. R. (2016). "Lessons In Industrial Instrumentation, version 2.33."
- MA'ARIF, A., ISTIARNO, R., & SUNARDI, S. (2021). Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) pada Kecepatan Sudut Motor DC dengan Pemodelan Identifikasi Sistem dan Tuning. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(2).  
<https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.374>
- Mesa, F., Ospina-Ospina, R., & Correa-Velez, G. (2020). Estimación de variables de estado (LA y LC) en sistemas de control. *Revista UIS Ingenierías*,

- 20(1). <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021010>
- Mott, R. L. (2006). Applied fluid mechanics. Prentice Hall.
- Moya, S. (2018). Conceptos Básicos: Sistemas de Control | ISA Sección Central México. Revista InTech México Automatización, 1.
- Pardo, C. (2022). Picuino. <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>
- PCE Instruments Chile SA. (2011). Manómetro. Uso y Funcionamiento, I.
- Tecnología de Control. (2015). SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO Y LAZO CERRADO. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO Y LAZO CERRADO.
- Thorsen, K., Drengstig, T., & Ruoff, P. (2019). The effect of integral control in oscillatory and chaotic reaction kinetic networks. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 393. <https://doi.org/10.1016/j.physd.2019.01.002>