

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE LOS SISTEMAS PRESIÓN Y TEMPERATURA PARA EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA

Almache L. Toapanta L.

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

Abstract—La automatización de procesos y las técnicas de control en la elaboración de productos es un problema creciente en diversas industrias, donde el control de las distintas variables dinámicas son temas fundamentales de desarrollo e innovación para garantizar calidad, productividad y competencia de los productos, es por ello que integrando los recursos humanos, tecnológicos y las competencias intelectuales se ha diseñado e implementado un módulo didáctico para el laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE extensión Latacunga, que sirva como instrumento de aprendizaje para los estudiantes, los mismos que al realizar prácticas destinadas en sus asignaturas reforzaran el conocimiento teórico-práctico adquirido en el aula de clase.

Palabras claves—Módulo didáctico, HMI, PLC, TOUCH PANEL, Accionamiento de triacs.

I. INTRODUCCIÓN

El presente documento indica la implementación del módulo didáctico diseñado e implementado para el laboratorio de control de procesos y redes industriales el cual requiere integrar en un único módulo dos procesos; uno de presión y otro de temperatura, controlados por un PLC (controlador lógico programable), y monitoreado por un HMI que integran a los dos procesos en una unidad local Touch Panel. La operación de cada proceso es independiente por medio de interruptores ubicados en el módulo.

El sistema de presión controla la cantidad de presión existente en un tanque de almacenamiento por medio de un PLC el cual adquiere la señal eléctrica que es proporcionada por un transmisor de presión, este autómata procesa la información obtenida y de acuerdo al modo de control que se encuentre programado envía una señal eléctrica al convertidor de corriente a presión, el mismo que enviara una señal neumática hacia la válvula de control la cual se abrirá o se cerrará de forma proporcional, cambiando la cantidad de aire que

ingresa al tanque de almacenamiento y de esta manera establece el control requerido.

El sistema de temperatura controla la temperatura en el interior de un horno eléctrico a través de un PLC el cual adquiere la señal eléctrica que es suministrada por el transmisor de temperatura, este autómata procesa la información y envía una señal eléctrica de control al convertidor AC/AC para variar la tensión eléctrica en alterna que va hacia a las níquelinas que se encuentran en el interior del horno y de esta forma variar la temperatura de acuerdo al control implementado.

Los sistemas de presión y temperatura son capaces de trabajar al mismo tiempo ya que el autómata o PLC puede realizar hasta 32 lazos de control a la vez, además mediante una TOUCH PANEL se puede seleccionar la visualización de cada proceso y monitorear dichos sistemas.

II. ESTRATEGIAS DE CONTROL DE PROCESOS

A. INTRODUCCIÓN

El aspecto más importante de un sistema es el conocimiento de su dinámica, es decir, cómo se comporta la señal de salida frente a una variación de la señal de entrada. Un conocimiento preciso de la relación entrada/salida permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla. De esta manera, el diseñador, conociendo cuál es la dinámica deseada, ajustará la acción de control para conseguir el objetivo final frente a perturbaciones externas del sistema [1]

B. CONTROL PROPORCIONAL

El control proporcional se basa en establecer una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control [2].

La fórmula del proporcional está dada por:

$$Psal(t) = Kp \cdot e(t) \quad (1.1)$$

Dónde:

Psal(t): salida del control proporcional

Kp: constante proporcional.

e(t): señal de error.

Un ejemplo típico de control proporcional se muestra en la figura 1, donde se observa la conducta de la variable controlada después de un salto en escalón unitario en el punto de consigna. Se observan los siguientes hechos característicos cuando aumenta la ganancia Kp del controlador [3]:

1. El error en estado estacionario disminuye.
2. El proceso responde más rápidamente.
3. La sobreoscilación y las oscilaciones aumentan.

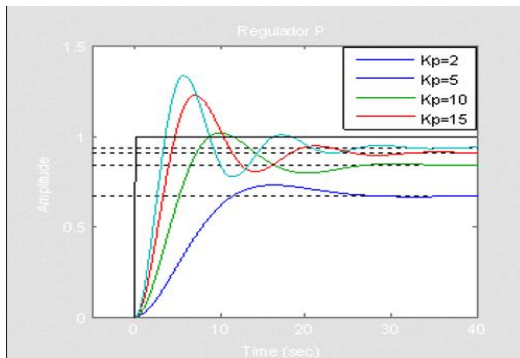


Figura 1: Formas de onda del control proporcional con distinta ganancia (Kp).

C. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL

En realidad no existen controladores que actúen únicamente con acción integral, siempre actúan en combinación con reguladores de una acción proporcional, complementándose los dos tipos de reguladores, primero entra en acción el regulador proporcional (instantáneamente) mientras que el integral actúa durante un intervalo de tiempo. (Ti= tiempo integral) [4].

La fórmula del control PI responde a la ecuación:

$$PIsal(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{1}{Ti} \int e(t) dt \quad (1.2)$$

Dónde:

PIsal(t): salida del control PI

Ti: Tiempo integral.

Kp: constante proporcional.

e(t): señal de error.

Las propiedades de la acción integral se muestran en la figura 2, en la que se puede ver la simulación de un controlador PI. Se observan los siguientes hechos característicos cuando se aumenta el tiempo integral y la constante proporcional se mantiene constante.

1. La sobreoscilación y las oscilaciones disminuye.
2. El error en estado estable tiende a cero.
3. El proceso responde más lento.

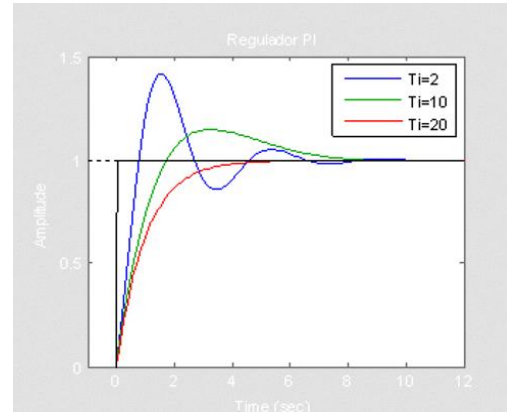


Figura 2: Formas de onda del control integral con distinto tiempo integral (Ti).

D. CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO.

Este control no elimina el off-set producido por el control proporcional, sin embargo puede colocarse en sistemas con cambios rápidos mientras que el off-set sea aceptable. Su representación matemática viene dada por la expresión:

$$PDSal(t) = Kp \cdot e(t) + Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt} \quad (1.3)$$

Dónde:

PDSal(t): salida del control PD

Td: Tiempo derivativo.

Kp: constante proporcional.

e(t): señal de error.

El parámetro Td es el tiempo derivativo y puede interpretarse como un horizonte de predicción. Al basar la acción de control en la salida predicha, es posible mejorar el amortiguamiento de un sistema oscilatorio. Las propiedades de la acción derivativa se muestran en la figura 3, en la que se puede ver la simulación de un controlador PD. Se observan los siguientes hechos característicos cuando se aumenta el tiempo derivativo y la constante proporcional se mantiene constante.

1. La sobreoscilación y las oscilaciones disminuye.
2. El error en estado estable se mantiene.
3. El proceso responde más rápido y la respuesta se va aproximando cada vez más a una exponencial.

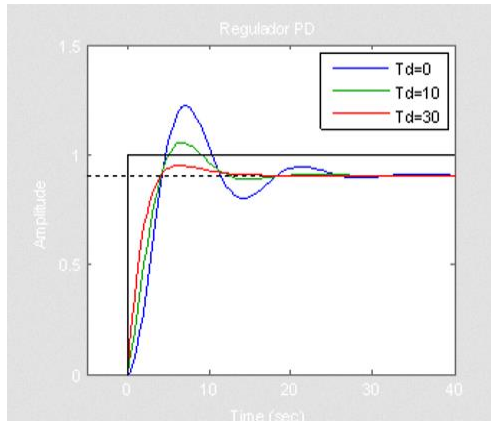


Figura 3: Formas de onda del control Derivativo con distinto tiempo derivativo (Td).

E. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO PID

Un controlador PID (Proporcional Integrativo Derivativo) es un mecanismo de control genérico sobre una realimentación de bucle cerrado, ampliamente usado en la industria para el control de sistemas.

El P.I.D. como su nombre lo indica, realiza un control proporcional + Integral + derivativo, lo cual significa que si bien tiene una acción proporcional al error entre la salida y el valor deseado, también puede corregir el error permanente y mejorar la respuesta en el transitorio [5].

La salida de estos tres términos, el proporcional, el integral, y el derivativo son sumados para calcular la salida del controlador PID. Definiendo $PID_{sal}(t)$ como la salida del controlador, la forma final del algoritmo del PID es:

$$PID_{sal}(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de}{dt} \quad (1.4)$$

Dónde:

$PID_{sal}(t)$: salida del control PID.

K_p : constante proporcional.

$e(t)$: error

T_i : tiempo integral.

T_d : tiempo derivativo.

Cada acción de control tiene una respuesta característica:

- La acción proporcional varía instantáneamente con el error y alcanza un valor estacionario cuando lo alcanza éste.
- La acción integral tiene en cuenta la historia pasada del error y se anula cuando se hace cero.
- La acción derivativa predice los cambios en el error y se anula cuando alcanza un valor estacionario

III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

El objetivo del proyecto es diseñar e implementar un módulo didáctico que realice el monitoreo y control automático de dos sistemas presión y temperatura realizando la programación del PLC S7-1200 y la TOUCH PANEL KTP600 bajo un mismo software TIA PORTAL (Totally Integrated Automation).

La implementación del módulo didáctico requerirá de la instalación, conexión y configuración de dispositivos de control, además de la instrumentación y visualización de los procesos, con la finalidad de integrar dos sistemas en lazo cerrado que sean capaces de controlar de manera autónoma cada uno de los procesos de presión y temperatura respectivamente.

A. Diagrama del panel frontal

La figura 4 muestra el diseño del panel frontal implemento en el módulo, este incluye la ubicación de los elementos utilizados para el control de cada proceso (presión y temperatura) y además proporciona al estudiante una visualización didáctica para la manipulación de los mismos.

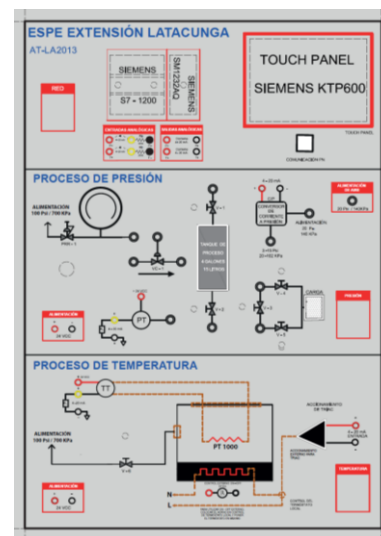


Figura 4: Diagrama del panel frontal.

B. Diagrama de bloques

A continuación se muestra el diagrama de bloques del módulo que integran a los dos procesos a controlar los cuales son la presión de un tanque y la temperatura de un horno funcionando en lazo cerrado.

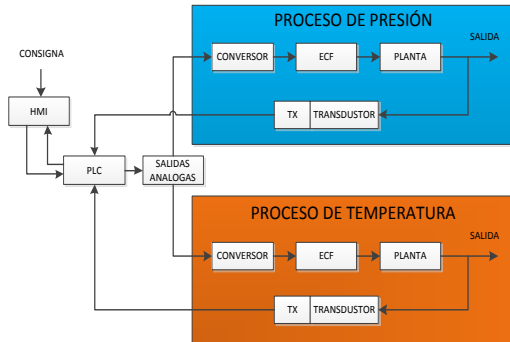


Figura 5: Diagrama de bloques de los sistemas presión y temperatura.

C. Diagrama P&ID del proceso de caudal

En la figura 6 se muestra el plano P&ID del sistema de presión diseñado según las normas ANSI/ISA-S5.1.

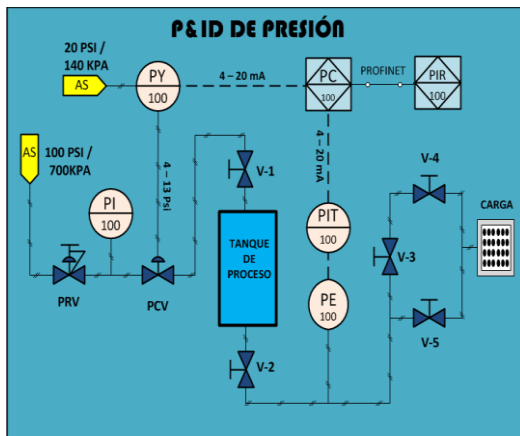


Figura 6: Diagrama P&ID del proceso de presión.

D. Diagrama P&ID del proceso velocidad

En la figura 7 se muestra el plano P&ID del sistema de temperatura diseñado según las normas ANSI/ISA-S5.1.

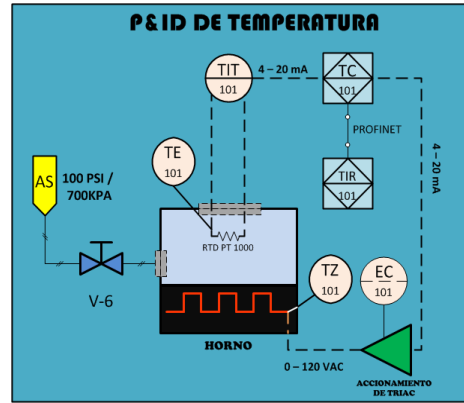


Figura 7: Diagrama P&ID del proceso de temperatura.

E. Diagrama de flujo del sistema presión y temperatura.

A continuación se muestra de manera clara la arquitectura de control usada. En este diagrama de flujo se incluye el funcionamiento y tareas que se ejecutan para que se llegue a obtener el control del sistema de temperatura y de presión.

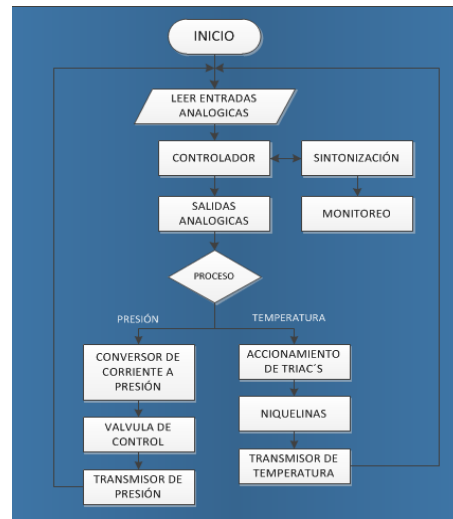


Figura 8: Diagrama de flujo del control los sistemas de presión y temperatura

F. Software TIA PORTAL (Totally Integrated Automation)

TIA portal es un innovador sistema de ingeniería para todas las tareas de automatización el cual es intuitivo, eficiente y permite diseñar una gran gama de procesos de forma óptima desde una sola pantalla de ordenador. Sus módulos permiten la programación de controladores y la visualización de proyectos. La Industria de automatización de Siemens ha integrado la ingeniería de aplicaciones seguras dentro del

entorno de trabajo.

TIA Portal bajo la interfaz de usuario de Step7 V11 "La nueva herramienta de ingeniería avanzada de Step7 que ahora provee las herramientas requeridas de configuración y programación para la creación de un programa con mayor seguridades [6].

G. Programación del PLC S7-1200 y la TOUCH PANEL KTP 600

El software TIA PORTAL (Totally Integrated Automation), es la herramienta con la que se va a configurar, administrar y programar el PLC S7-1200 y la TOUCH PANEL (KTP600 Basic Color PN) con la que se va a realizar el HMI de cada proceso. Todo bajo un mismo entorno de forma rápida y sencilla.

IV. RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

A. Descripción física del sistema

El módulo didáctico implementado consta de dos procesos; presión y temperatura, además de dispositivos e instrumentos como se muestra en la figura 9. En la sección superior se encuentra el dispositivo de control con la Touch screen para el HMI local, seguido está el proceso de presión y en la parte inferior el proceso de temperatura cada uno de ellos permite llevar a cabo las funciones de control tanto del proceso de presión de un tanque y el proceso de temperatura de un horno.

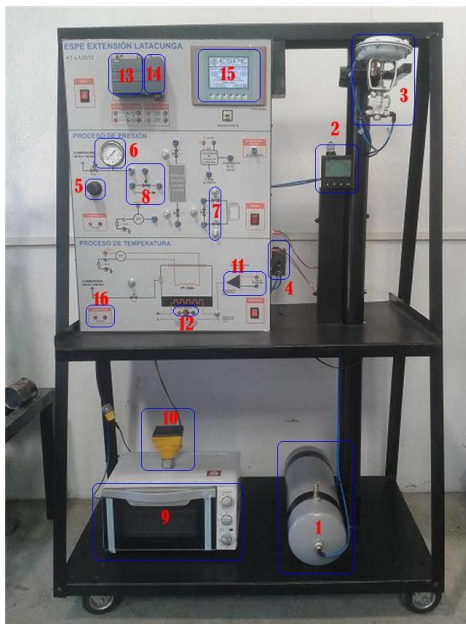


Figura 9: Módulo didáctico de los procesos presión y temperatura

B. Pruebas experimentales

Al finalizar el ensamblado, las conexiones eléctricas, la configuración y la programación de los sistemas de presión y temperatura, se realizan pruebas a los sistemas por secciones con el fin de que se encuentren en un funcionamiento correcto y evitar algún inconveniente.

B.1. Sistema de presión.

Las pruebas a las que se le sometió a la planta para el control de presión son:

- Pruebas del transmisor de presión.
- Pruebas del convertor de corriente a presión.
- Pruebas a la válvula de control proporcional.

En el sistema de presión se debe comprobar la señal de corriente generada por el transmisor para un rango de 10 a 60 Psi con el cual se configuró, además verificar el rango de la señal generada por el convertor I/P (4-13Psi) con el fin de que sea apta para la válvula controladora.

B.2. Sistema de temperatura.

Las pruebas a las que se le sometió a la planta para el control de temperaturas son:

- Pruebas del transmisor de temperatura.
- Pruebas al driver de accionamiento de triac's.

En el sistema de temperatura se debe comprobar las señales del transmisor de temperatura, que se halla configurado para trabajar en un rango de 30°C a 80°C, además verificar el funcionamiento del convertor AC/AC para el control del horno.

Además se debe visualizar los datos en la TOUCH PANEL, así como las señales que adquiere y emite el PLC hacia los dispositivos asociados.

C. Funcionamiento del control PID

Se debe iniciar el usuario "ADMIN" y la contraseña "control" ya que éste es el único que tiene todos los privilegios para realizar las distintas configuraciones y cambios de los procesos.

Para configurar este tipo de control se debe

ingresar oprimiendo el botón de control proporcional integral derivativo (PID), entonces se mostrarán las constantes de ganancia proporcional K_p , tiempo integral T_i y tiempo derivativo T_d como parámetros configurables.

D. Análisis de las curvas del control PID

Para visualizar las curvas de respuesta de cada proceso, primero se debe seleccionar el proceso a controlar, para luego ingresar a menú y oprimir el botón TENDENCIAS, entonces se despliega una pantalla en la cual se puede observar el PV, CV y SP, con la facilidad de modificar el valor de la consigna.

D.1 Proceso de Presión:

Para analizar la respuesta del proceso de caudal con control proporcional integral derivativo PID, se debe ingresar el valor de la ganancia proporcional K_p , el tiempo integral T_i y el tiempo derivativo T_d en la pantalla de TIPOS DE CONTROL seleccionando el botón (PID).

La figura 10 muestra la curva de respuesta del control proporcional integral derivativo, en la cual se observa un tiempo de estabilización de 80 segundos hasta que la variable de proceso llegue al punto de consigna y permanece constante.

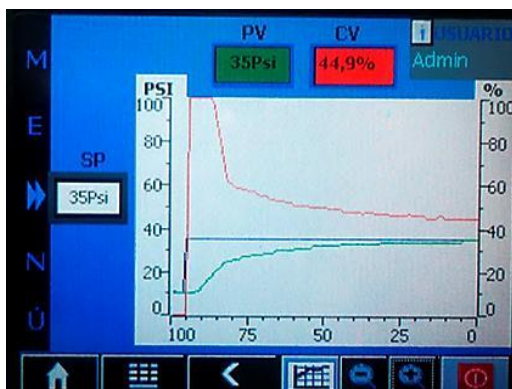


Figura 10: Curva de respuesta para un control PID con $K_p=4,5$, $T_i=33$ y $T_d=0,01$.

Al ejercer una perturbación en el proceso mediante el sistema de tuberías de escape, el controlador corrige el error rápidamente (10 segundos) gracias a la acción derivativa del control, evitando así que el error suceda por mucho tiempo y luego de ello el proceso vuelve a la normalidad como se muestra en la figura 11.

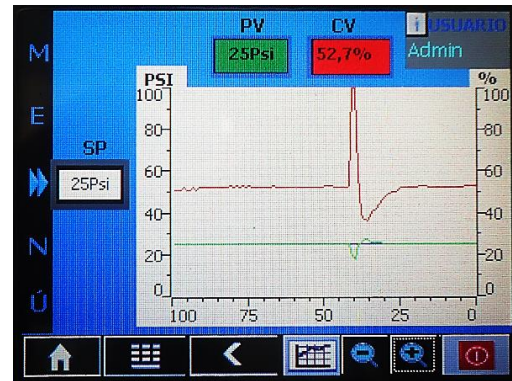


Figura 11: Curva de respuesta de para un control PID ante una perturbación del proceso de presión.

D.2 Proceso de Temperatura

Para analizar la respuesta del proceso de velocidad con control proporcional integral derivativo PID, se debe ingresar el valor de la ganancia proporcional K_p , el tiempo integral T_i y el tiempo derivativo T_d en la pantalla de TIPOS DE CONTROL seleccionando el botón (PID).

La figura 12 muestra la curva de respuesta del control proporcional integral derivativo, en la cual se observa un tiempo de estabilización de 300 segundos hasta que la variable de proceso llegue al punto de consigna y permanece constante.

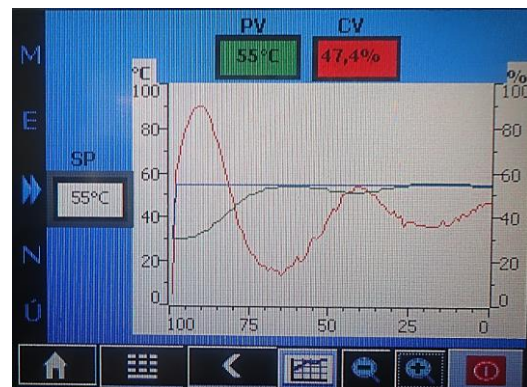


Figura 12: Curva de respuesta para un control PID con $K_p=3,8$, $T_i=95$ y $T_d=10$.

Al abrir completamente la puerta del horno se ejerce una perturbación en el proceso por lo que el control PID realiza una corrección ante la misma, evitando así que el error suceda por mucho tiempo y estabilizándola nuevamente al punto de consigna como se observa en la figura 13.

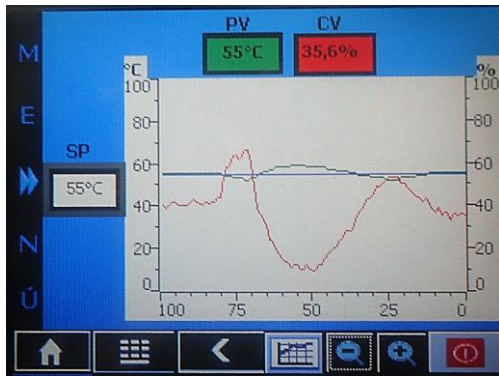


Figura 13: Curva de respuesta del control proporcional integral derivativo ante una perturbación del proceso temperatura

V. CONCLUSIONES

- Se ha implementado un módulo didáctico que consta de dos sistemas, el control de temperatura de un horno y el control de presión de un tanque, como resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la formación académica de la carrera permitiendo tener una visión general de la estructura y etapas de un proceso.
- En el proyecto desarrollado se puede notar que intervienen algunos campos de la ingeniería como son: Control de Procesos, Sistemas SCADA, Instrumentación Industrial y Protocolos e Interfaces de Comunicación.
- Su desarrollo, ensamblado e implementación de un sistema flexible, moderno y escalable, fomentando la mejor formación de profesionales de la carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación, permitiendo realizar el control y monitoreo de los diferentes modos de control a nivel industrial tanto para el proceso de temperatura de un horno y el proceso de presión de un tanque.
- El módulo didáctico representa una valiosa inversión en el desarrollo de conocimiento y equipos, y a la vez genera un gran ahorro, ya que al poseer dos sistemas en un único módulo sus características y condiciones tiene un costo muy elevado en el mercado.
- Se creó el módulo didáctico con el fin de utilizarlo como herramienta didáctica en el laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, ya que al elaborar una guía de prácticas y a través del trabajo dirigido se permitirá proporcionar conocimientos complementarios para el desenvolvimiento de los estudiantes en el campo laboral.
- Se programó el PLC Siemens S7-1200 con la herramienta de software TIA (Totally Integrated Automation) Portal, utilizado para la adquisición de datos, escalar variable y creación de los lazos de control PID que actúa sobre las variables físicas de interés (temperatura y presión).
- El HMI local diseñado es totalmente amigable e integra los sistemas de presión y temperatura desarrollado con el software TIA portal propietario de la marca Siemens, el cual brinda un entorno de desarrollo amigable y eficiente, facilitando la comunicación de la touchscreen con el PLC Siemens S7-1200.
- El PLC Siemens S7-1200 se ajustó perfectamente al proceso controlado ya que se tuvo la posibilidad de configurar y manipular dos lazos de control PID sin que exista ningún inconveniente en la lectura de los datos de los sistemas, debido a que el tiempo de ejecución de las instrucciones son pequeños y no afectan al algoritmo de control.
- El método de sintonización implementado para los dos sistemas de control de presión y temperatura, fue el método de tanteo ya que este presentó mejores resultados, mientras que el método de Ziegler Nichols obtuvo resultados muy inestables por parte del elemento de control final disminuyendo la vida útil del equipo debido a los cambios bruscos que se producen como ese método de sintonización.
- Se configuró el rango dinámico de medición del transmisor de temperatura y presión Georg Fischer 9900 de forma rápida y sencilla a través del teclado de navegación del menú ubicado en la pantalla del transmisor y se comprobó la señal de lazo de corriente mediante la utilización del calibrador Fluke 744.
- Se comprobó que para el proceso de temperatura de un horno implementado en este proyecto se obtiene un control muy satisfactorio aplicando un control Proporcional-Integral-Derivativo, ya que al tratarse de un proceso relativamente lento se requiere de un alto coeficiente integral y

derivativo, pues presenta un error de estado estacionario muy considerable. Además se requiere evitar oscilaciones del sistema y que presente un comportamiento predictivo ante los cambios de la variable de interés disminuyendo el tiempo de estabilización, reduciendo incluso el consumo energético.

- Mediante el uso de estos sistemas, la elaboración de las prácticas propuestas y a través del trabajo dirigido, se permitirá al estudiante la mejor comprensión y entendimiento que necesita para afianzar sus conocimientos en éstas aplicaciones tan importantes en el ámbito industrial.
- La implementación del módulo didáctico presenta un ahorro económico considerable debido a que los módulos didácticos que se comercializan en el mercado tienen un costo aproximado de 25,000 dólares y la inversión que se realizó para el proyecto fue de 11,000 dólares.

REFERENCIAS

[1] CBT College. (2014). Modos de control automatico. Recuperado el 08 de febrero de 2014, de <http://www.cbt.edu/cbt-connect/cbt-forum/7-hvac-forum/827-modos-de-control-automatico>.

[2] Mavinsa. (2009). Instrumentación. Recuperado el 16 de Marzo de 2014, de <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r81666.PDF>

[3] Grupo de Investigación SUPRESS. (2008). El controlador pid básico. Recuperado el 08 de febrero de 2014, de <http://lra.unileon.es/es/book/export/html/268>

[4] Catedu. (2013). Controlador de acción proporcional e integral. Recuperado el 07 de Febrero de 2014, de http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//4750/4926/html/13_controlador_de_accion_proporcional_e_integral_pi.html

[5] Alberino, S., Folino, P., & Verrastro, C. (2010). Variante En El Algoritmo Pid Para Evitar El Uso De Un Generador De Trayectoria Trapezoidal. Recuperado el 13 de marzo de 2014, de <http://www.secyt.frba.utn.edu.ar/gia/SDC12.pdf>

[6] IDENTI. (2012). TUS DESCARGAS SIN LIMITES. Recuperado el 07 de febrero e 2014, de <http://www.identi.li/index.php?topic=104089#sthash.XkZkvkrg.dpuf>

Luis Almache. Nació en Latacunga provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduado del Instituto Tecnológico Industrial "Ramón Barba Naranjo", Latacunga – Ecuador donde obtuvo el título de Bachiller Técnico Industrial, especialización Electrónica de Consumo en el 2008. Actualmente se encuentra finalizando sus estudios de Ingeniería en la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" en la ciudad de Latacunga Ecuador. E-mail: luis_almache@hotmail.com

Luis Toapanta. Nació en Latacunga provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduado del Instituto Tecnológico Industrial "Ramón Barba Naranjo", Latacunga – Ecuador donde obtuvo el título de Bachiller Técnico Industrial, especialización Electrónica de Consumo en el 2008. Actualmente se encuentra finalizando sus estudios de Ingeniería en la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" en la ciudad de Latacunga Ecuador. E-mail: alexsoto_1990@hotmail.com