

# Diseño e Implementación de un Módulo Electroneumático Didáctico para el Laboratorio de Mandos Neumáticos de la EPN

Darwin Simba, Cristian Tasiguano, Oscar Gonzales

**Abstract**— Ante la necesidad actual de equipamiento didáctico personalizado para el aprendizaje de diferentes procesos industriales a pequeña escala, surge la propuesta de la creación de un módulo didáctico electroneumático como parte del equipamiento que necesita el Laboratorio de Mandos Neumáticos de la EPN. En el presente artículo se detalla el diseño y la construcción del módulo didáctico, con el fin emular procesos industriales. Se muestra las diferentes secuencias que se deben implementar en un proceso que contiene elementos neumáticos y electroneumáticos. El módulo didáctico cuenta con un PLC S7-1200 y una pantalla KTP-700 de SIEMENS, el mismo que permite emular los procesos industriales de llenado y taponado de botellas, mezcladora de pinturas, dispositivo para doblar tubos, dispositivo para taladrar piezas, dispositivo para compactar latas y un elevador neumático.

**Index Terms**—Módulo electroneumático, programación ladder, PLC, HMI, neumática.

## I. INTRODUCCIÓN

Las tendencias actuales en educación están orientadas al uso de tecnologías para mejorar el proceso de aprendizaje con respecto a las técnicas de educación actuales. En carreras técnicas, es primordial el uso de equipos de laboratorio que simulen los procesos industriales a gran escala en los cuales se desempeñarán los futuros ingenieros. En el Ecuador, el estudio de carreras técnicas a nivel de colegios, institutos superiores y universidades es una alternativa muy atractiva para un gran porcentaje de la población, debido a que estas carreras le permiten a una persona incorporarse tempranamente al mundo laboral [1]. Sin embargo, es necesario que las capacitaciones en áreas técnicas, como la ingeniería y la tecnología superior, sean más especializadas. Pese a que muchos estudiantes a nivel de colegio no piensan escoger una carrera técnica en una universidad, se está cambiando este paradigma con la educación STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), que tiene como filosofía la educación en áreas de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas [2]. Esta doctrina está orientada a motivar a los estudiantes a participar en actividades que ayuden al empoderamiento del conocimiento en áreas que a priori parecen sumamente difíciles. Por lo tanto, la metodología STEM centra sus capacidades en la participación activa y práctica en actividades en ciencias y tecnologías.

Uno de los temas críticos al momento de implementar laboratorios de aprendizaje, es el presupuesto. La tecnología se produce en otros países y por cuestiones de importación se vuelve sumamente costoso adquirir estos equipos. Por otra parte, en el país existen universidades con carreras técnicas que preparan a los estudiantes para producir y adaptar tecnología. Por esta razón, es importante promover el desarrollo tecnológico en la universidad, haciendo equipos acorde a la realidad nacional, con conocimiento local y con abaratamiento de costos.

En [3], se realiza el diseño de un módulo neumático que incorpore diferentes prácticas a nivel de laboratorio. Sin embargo, el módulo se ve limitado en su estructura debido a la no inclusión de elementos electroneumáticos. Por otra parte, [4] implementa un módulo didáctico electroneumático. Sin embargo, las actividades se ven limitadas a procesos de manipulación y taladrado, descartando otros procesos de gran importancia en la industria como el doblado, compactado, taponado, entre otros. Finalmente, [5] considera un conjunto de procesos de diferentes tipos, los elementos electroneumáticos ayudan al entendimiento de los grandes procesos industriales. Por otra parte, se observa la falencia que tiene el módulo al no incorporar una interfaz de usuario que presente los datos del proceso de una forma más versátil.

Por lo tanto, una de las motivaciones principales para la realización de este trabajo es la generación de un módulo didáctico para el aprendizaje de procesos electroneumáticos con guías personalizadas de prácticas y una interfaz de usuario que permita el entendimiento de las secuencias neumáticas de cada cilindro en un proceso en específico y así reforzar los conocimientos aprendidos en clase por los estudiantes [6].

El trabajo se presenta de la siguiente manera: en la sección II se realiza la descripción del desarrollo del módulo didáctico, en la sección III, se presentan los resultados obtenidos y en la sección IV, se ofrecen las conclusiones obtenidas del trabajo.

## II. ESQUEMA DE DESARROLLO DEL MÓDULO DIDÁCTICO

El módulo didáctico presenta dos grandes diseños detallados a nivel de software y hardware, por lo cual se establece el siguiente mapa de procesos para la elaboración del sistema.



Fig. 1 Tablero principal de control.

A continuación, se detallan cada uno de los procesos necesarios para la construcción del módulo didáctico:

### A. Descripción del tablero principal de control del módulo didáctico

El tablero principal presenta las siguientes características (Fig. 2):

- Base: ancho 487 mm, largo 500mm.
- Altura: 680 mm.
- Panel frontal: ancho 487 mm, largo 450 mm.

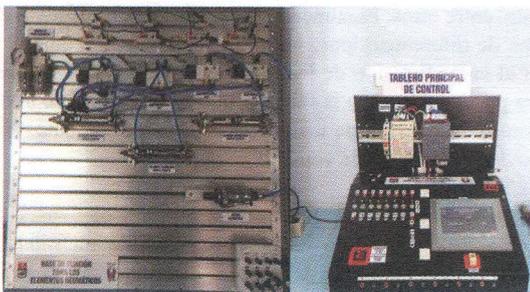


Fig. 2 Módulo Didáctico.

El tablero principal de control (Fig. 3), consta de protecciones contra cortocircuitos, sobrecargas, fuente externa de voltaje, PLC, pantalla KTP y borneras de conexión para acceder a las entradas y salidas del PLC.



Fig. 3 Tablero principal de control.

### B. Descripción de los componentes neumáticos y electroneumáticos utilizados en el módulo didáctico.

En la base de fijación que se observa en la Fig. 4, se encuentran ubicados diferentes elementos neumáticos y electroneumáticos como: una unidad de mantenimiento, cilindros neumáticos de doble y simple efecto, electroválvulas, motor neumático, tres sensores magnéticos y seis válvulas reguladoras de caudal.

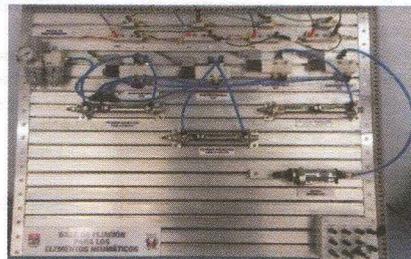


Fig. 4 Base de fijación para los elementos neumáticos.

### C. Software del módulo didáctico

El PLC S7-1200 de SIEMENS es el encargado de controlar y coordinar todas las operaciones del módulo didáctico. Los procesos industriales se pueden visualizar en una interfaz desarrollada en la pantalla KTP 700. Para la creación del programa se utilizó el software STEP 7 (TIA Portal) V13 de SIEMENS y el simulador S7-PLCIM.

El software desarrollado por SIEMENS es una integración del STEP 7 que es empleado para la programación del PLC y del WinCC.

En la Fig 5, se expone un diagrama de bloques resumido del programa principal del PLC.

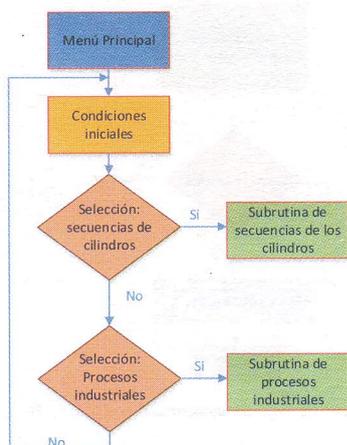


Fig. 5 Diagrama de bloques del programa principal del PLC

El programa principal contiene dos opciones posibles y son: secuencias de cilindros y procesos industriales. De acuerdo con la opción seleccionada se dispone de varias subrutinas.

En la pantalla del HMI se creó un menú para tener acceso a la “SECUENCIAS DE CILINDROS” y “PROCESO” como se observa en la Fig. 6.



Fig. 6 Pantalla principal.

Al dar clic en el botón “SECUENCIA DE CILINDROS”, se visualiza una nueva pantalla que contiene dos botones con las opciones “EJEMPLOS DE NEUMÁTICA” y “INGRESO DE SECUENCIA”, así como se muestra en la Fig. 7. El botón “REGRESAR” permite retornar al menú principal.

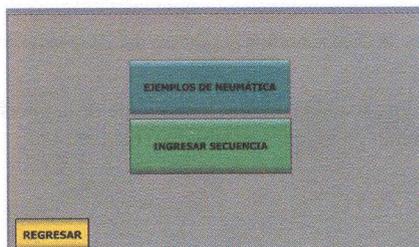


Fig. 7 Ingreso a secuencias disponibles o ejemplos.

En caso de elegir “EJEMPLOS DE NEUMÁTICA” como se muestra en la Fig. 8, se puede visualizar tres ejemplos, los cuales son:

- PLEGADORA NEUMÁTICA.
- LIMPIADORA DE PIEZAS.
- MARCADORA DE PIEZAS.

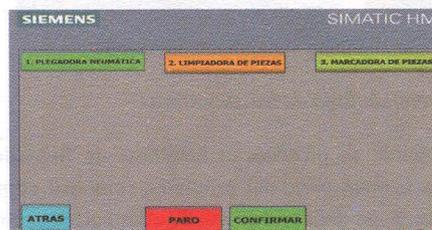


Fig. 8 Ejemplos de neumática.

En caso de seleccionar “INGRESAR SECUENCIA”, Fig. 9, es posible ingresar cualquiera de las secuencias disponibles:

- C+, C-, B+, B-, A+, A-.
- A+, B+, C+, A-, B-, C-.
- B-, A+, C-, C+, A-, B+.
- B+, B-, A-, A+, C-, C+.
- C-, B+, B-, A+, A-, C+.
- B+, C-, C+, A+, A-, B-.

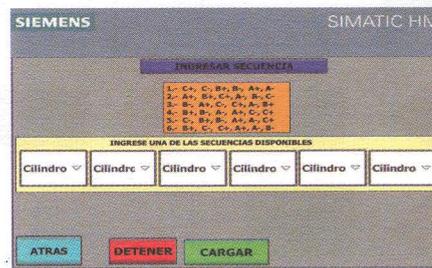


Fig. 9 Ingresar secuencia.

El botón “PROCESOS”, permite el acceso a la ejecución de seis procesos industriales como se muestra en la Fig. 10, los cuales se enuncia a continuación:

- LLENADO DE BOTELLAS.
- MEZCLADORA DE PINTURAS.
- DISPOSITIVO DE DOBLADO.
- DISPOSITIVO PARA TALADRADO.
- DISPOSITIVO DE COMPACTADO.
- ELEVADOR NEUMÁTICO.

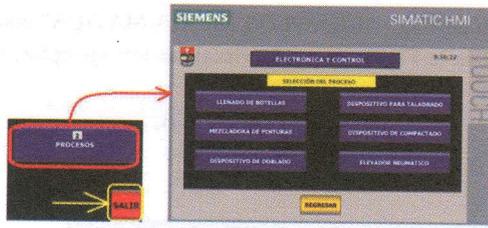


Fig. 10 Ingreso a seis procesos industriales

**D. Diagrama de flujo de las subrutinas**

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de las subrutinas que forman parte del programa principal como se indicó en la Fig. 5, en donde cada una de ellas permite resolver una tarea específica dentro del algoritmo principal de control.

**1) Diagrama de flujo de la subrutina para el ejemplo de neumática.**

Considerando que existen tres ejemplos de neumática, se selecciona uno para su entendimiento, en este caso se toma el ejemplo para una plegadora neumática con su respectiva subrutina. En la Fig. 11 se describe el funcionamiento del diagrama de flujo.

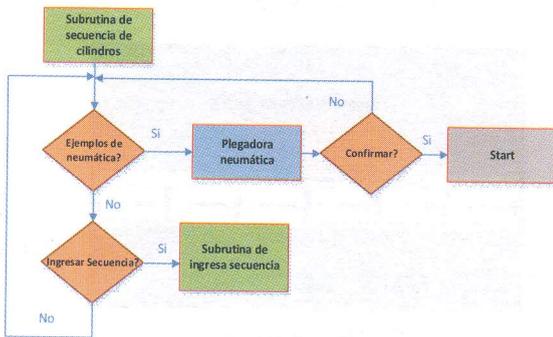


Fig. 11 Diagrama de flujo subrutina de una plegadora neumática.

**2) Diagrama de flujo de la subrutina para ingresar secuencia.**

Esta subrutina fue creada para presentar como ejemplo didáctico las secuencias de los cilindros como se ilustra en la Fig. 12, el mismo que se describe su funcionamiento en el diagrama de flujo, existen seis secuencias establecidas, donde solo se escoge una para su entendimiento.

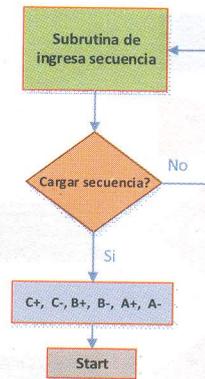


Fig. 12 Diagrama de flujo de secuencia C+, C-, B+, B-, A+, A-.

**3) Diagrama de flujo de las subrutinas para los procesos industriales.**

Como se mencionó anteriormente, existen seis procesos industriales, para este caso se escoge el ejemplo del proceso de llenado de botellas, cuyo diagrama de flujo se indica en la Fig. 13.

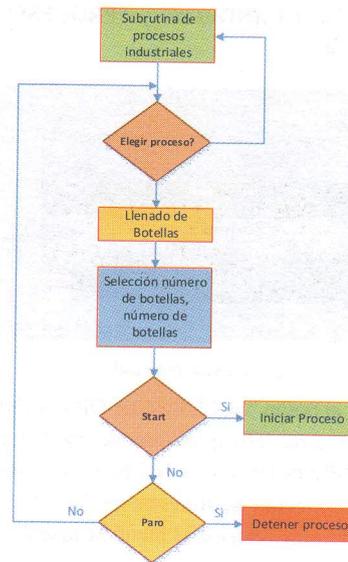


Fig.13 Diagrama de flujo subrutina al proceso del llenado de botellas.

A continuación, se indica el funcionamiento de la interfaz del proceso de llenado de botellas mostrado en la Fig. 14.

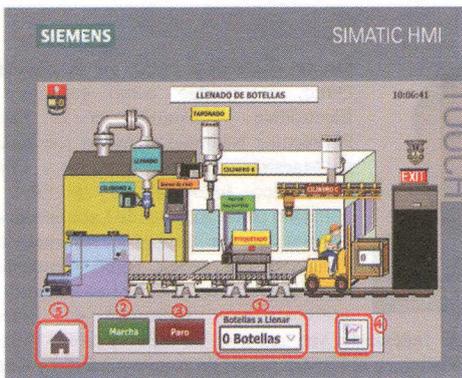


Fig. 14 Llenado de Botellas.

Los pasos a seguir para el manejo de la interfaz del proceso de llenado de botellas son los siguientes:

1. La pestaña “Botellas a Llenar”, permite escoger un número de botellas entre un rango de selección de 1 a 5 botellas.
2. El botón “Marcha”, da el inicio al proceso.
3. El botón “Paro”, permite detener el proceso en caso de existir alguna emergencia, una vez resuelto el problema con botón “Marcha” se puede continuar con el proceso.
4. El botón  permite visualizar el diagrama de espacio fase de cada cilindro neumático en cualquier momento del desarrollo del proceso a través de la ventana indicada en la Figura 15.

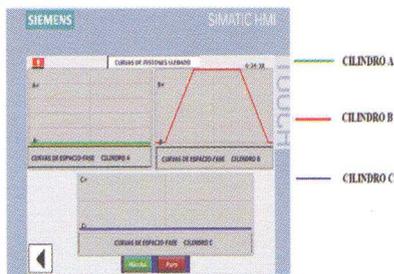


Fig. 15 Curvas de espacio fase de cada cilindro neumática.

Desde esta ventana se puede poner en marcha o detener el proceso con los botones “Marcha” y ”Paro”, y la flecha  que se encuentra en la parte inferior izquierda de la ventana, permite retornar a la pantalla del proceso.

5. El botón  permite regresar a la pantalla de la interfaz “SELECCIÓN DEL PROCESO”.

### III. PRUEBAS Y RESULTADOS

#### A. Funcionamiento del módulo didáctico.

Para verificar el correcto funcionamiento del módulo didáctico, se realizaron las pruebas de continuidad de los cables

eléctricos, pruebas de activación de los interruptores, comprobación de fuente externa, salida de voltaje para la activación de las electroválvulas y sensores magnéticos, dando resultados satisfactorios.

#### B. Comunicación entre el PLC y la pantalla KTP-700.

Para la comprobación de dicha comunicación, se procede a trabajar con el panel de operador mediante el cual se activan los procesos industriales creados, comprobando que la señal de salida del PLC activa efectivamente las electroválvulas con sus respectivos cilindros neumáticos. Además, para la comunicación entre el PLC y la pantalla HMI se utilizó un cable Ethernet de categoría 6.

#### C. Sincronización de las animaciones del HMI y los elementos neumáticos.

Para realizar la sincronización del movimiento de los actuadores neumáticos y las animaciones en el HMI, se utilizaron reguladores de caudal de aire, con el propósito de ir regulando la velocidad de la salida de los vástagos de los cilindros y que sean coordinados con las animaciones del HMI.

### IV. CONCLUSIONES

Para el uso del motor neumático es necesario regular la presión de aire en la unidad de mantenimiento de 36 a 40 PSI aprox. ya que a presiones menores el motor no gira adecuadamente.

Para sincronizar entre la animación de la interfaz de la pantalla y los tiempos de respuesta de los cilindros neumáticos, fue necesario el uso de válvulas estranguladoras de aire en cada cilindro neumático.

El PLC S7-1200 utilizado en proyecto cuenta con un puerto de comunicación Ethernet, que permite realizar la comunicación de fácil acceso. Para hacer la interfaz entre la CPU y el PLC no se necesita saber de la IP del PLC o la del CPU, el programa TIA Portal se encarga de enlazar la comunicación de forma automática ahorrando de manera considerable el tiempo de programación.

### TRABAJOS FUTUROS

- Para incluir una mejora en el programa de doblado de tubos, se debería crear una opción en la que el usuario pueda seleccionar al menos tres ángulos de doblado. Para ello es necesario incluir sensores magnéticos adicionales, así como la modificación del programa en el PLC.
- Para el caso del programa del taladrado de piezas, se podría implementar un encoder en el eje del motor neumático para poder monitorear la velocidad angular en el HMI de la pantalla e implementar un sistema de control de velocidad, tomando en cuenta los respectivos cambios en la programación del PLC e interfaz.

- En el caso del elevador neumático, se debería instalar un sensor de movimiento con el objetivo de simular a un operador trabajando debajo del auto, para esta manera bloquear el elevador y evitar que el auto descienda.

## I. REFERENCIAS

- [1] A. Tomaselli, "La educación técnica en el Ecuador: el perfil de sus usuarios y sus efectos en la inclusión laboral y productiva," SERIE POLÍTICAS SOCIALES, 2018.
- [2] J. Radloff. Investigating preservice STEM teacher conceptions of STEM education: Journal of Science Education and Technology, 25(5), 759-774.
- [3] D. Bonilla & C. Noriega, "Diseño, construcción e implementación de un banco didáctico electroneumático para laboratorio de neumática de la Escuela de Ingeniería Mecánica", Tesis ESPOCH, 2014.
- [4] L. Ruiz, "Módulo Didáctico de manipulación y taladro controlado mediante PLC", TESIS UTN, 2014.
- [5] A. Andrade & L. Quintero, "Diseño e implementación de un banco de pruebas electroneumático, para mejorar el aprendizaje de los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana", TESIS UPS-G, 2014.
- [6] D. Simba, " Diseño e Implementación de un módulo electroneumático didáctico para el laboratorio de mandos neumáticos de la EPN", TESIS EPN, 2018.



**Oscar Gonzales**, nació en la ciudad de Quito, se graduó como Ingeniero en Electrónica y Control en la Escuela Politécnica Nacional. Finalizó sus estudios de Maestría en Automatización y Control Electrónico Industrial en la EPN. Ha trabajado como Auxiliar de Laboratorio en el Laboratorio de Energías Alternativas y Eficiencia Energética, como Ayudante de Laboratorio en el Laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos, en Ingeniería Mecánica de la EPN y como Técnico Docente Politécnico en el Departamento de Automatización y Control Industrial. Ha realizado publicaciones en sistemas de control avanzado orientado a el área de electrónica de potencia. Sus áreas de interés son la automatización industrial, electrónica de potencia y sistemas de control avanzado. (ogonzalesz111@gmail.com)

## I. BIOGRAFÍAS



**Darwin Simba**, nació en Quito – Ecuador el 06 de Noviembre de 1985. Realizó sus estudios primarios en la Escuela República del Ecuador. Sus estudios secundarios los realizó en el Colegio Particular Técnico “José Martín”, obteniendo el título de Físico Matemático. Actualmente es egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional. Áreas de interés: PLC, Equipos Analíticos Industrial, Equipos Médicos. (Email: darwin36008@hotmail.com).



**Cristian Tasiguano Pozo**, nació el 01 de agosto 1986 en Quito, Ecuador. Se graduó de la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 2011. Como becario Senescyt, obtuvo su título de Máster en Ingeniería Mecatrónica y Sistemas Micromecatrónicos en 2014 en la Hochschule Karlsruhe, Alemania y en la Universidad de Oviedo, España. Actualmente se desempeña como Docente Ocasional a Tiempo Completo y Jefe del Laboratorio de Control Industrial en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional. Áreas de interés: control industrial, PLC's, variadores de velocidad, arrancadores de motores, visión artificial. (Email: cristian.tasiguano@hotmail.com).