

Adecuación del sistema de vacío FESTO perteneciente al Laboratorio de Automatización y Control (LE-MC-01) del Proyecto Curricular de Tecnología en Mecánica UD

Adequacy of FESTO vacuum system belonging to the Laboratory of Automation and Control (LE-MC-01) of the program in Mechanical Technology UD

José C. Torres
Villa Hernández
jctorresa@correo.udistrital.edu.co

Lina M. Ramírez
GIM Ingeniería Eléctrica
lmramirez@correo.udistrital.edu.co

Este artículo presenta el proceso mediante el cual se logró la adecuación y puesta en funcionamiento del sistema de vacío FESTO, teniendo en cuenta las normas técnicas aplicables al diseño de esquemas eléctricos y neumáticos. Este sistema está en capacidad de ofrecer la aplicación de diversas configuraciones para realizar prácticas concernientes a la automatización de procesos con PLC. El sistema se compone de un grupo de sensores inductivos, un conjunto de electroválvulas y los actuadores, todo ello soportado por una estructura metálica móvil, que cuenta con un panel de conexión. Este sistema es fácil de trasladar, lo que permite que sea utilizado en diferentes espacios académicos.

Palabras clave: actuador, ladder, sensor, sistema, PLC

The paper shows the process which we obtained the adequacy and putting in functioning of the vacuum system FESTO, having account the applicable technical norm for design electrical and pneumatic schemes. This system has the ability to offer the application of diverse configurations to realize practices relating to the automation process with PLC. The system consists of a group of inductive sensors, a set of electric valves and the actuators, all this supported by a metallic mobile structure, that has a connection panel. This system is easy to move, which allows that it should be used in different academic spaces.

Keywords: actuator, ladder, sensor, system, PLC

Introducción

En la actualidad la globalización y el avance tecnológico han generado la necesidad de automatizar procesos productivos que garanticen la calidad de los productos y

su fabricación en masa como se sugiere en (Cadenilla, 2005). Razón por la cual las industrias buscan tener procesos productivos eficientes, donde los estándares de calidad se mantengan. A causa de esto, las empresas buscan profesionales capacitados en estas tecnologías, empleados que se desenvuelvan de forma práctica explotando al máximo los beneficios de los recursos de las nuevas tecnologías.

Fecha recepción del manuscrito: Octubre 17, 2012
Fecha aceptación del manuscrito: Diciembre 10, 2012

José C. Torres, Villa Hernández; Lina M. Ramírez, GIM Ingeniería Eléctrica.

Esta investigación fue financiada por: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Correspondencia en relación con el artículo debe ser enviada a: José C. Torres. Email: jctorresa@correo.udistrital.edu.co

Físicamente el laboratorio Aplicado de Electricidad (LA-EL-01), de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, no contaba con todas las herramientas necesarias para llevar a cabo prácticas de automatización industrial con tecnología neumática. Además, el laboratorio de Automatización y Control (LE-MC-01) contaba únicamente con un tipo de banco de trabajo de configuración física fija, es decir, el PLC siempre es el mismo junto con las conexiones eléctricas, limitando así el aprendizaje del estudiante (Fig. 1 y 2).

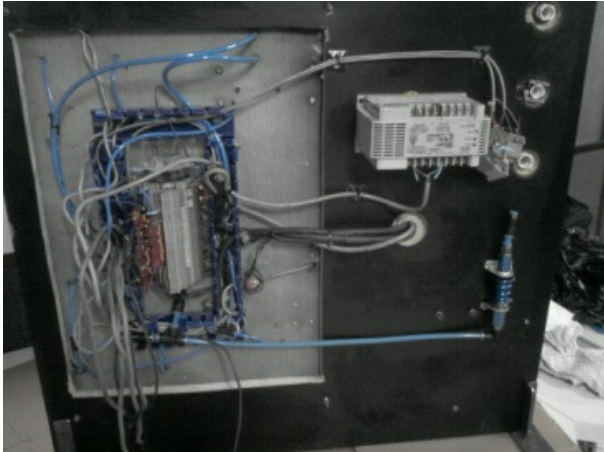


Figura 1. Sistema de vacío (laboratorio LE-MC-01, foto 1).



Figura 2. Sistema de vacío (laboratorio LE-MC-01, foto 2).

Estos precedentes llevaron a la implementación de un banco de pruebas de laboratorio que mitigara las falencias. Inicialmente el proyecto se basó en la reparación y adecuación de un desmantelado banco de pruebas neumáticas que se encontraba almacenado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. Como primer paso, se procedió con la compilación de documentos referentes al funcionamiento de un sistema de este tipo (Talavera y Farías, 1995). Todo esto con la finalidad de proveer al estudiante una herramienta didáctica que le permita desarrollar prácticas de automatización con PLC referentes al control de procesos y lograr capacitarlo con estas tecnologías y darle más competitividad en el mercado laboral al futuro profesional.

Aspectos conceptuales

Mantenimiento. Definiendo el mantenimiento como una práctica esencial en el área operacional y funcional cuya finalidad esencial es asegurar un funcionamiento óptimo con

las condiciones y requisitos para las que fueron diseñadas en las máquinas, equipos o dispositivos. Además prevenir daños y perjuicios para los elementos y los operarios o personas que estén al alcance de ellas; por no realizar a tiempo las correcciones o mejoras respectivas.

Los ciclos de mantenimiento se acostumbran a realizar cumplidas N horas de trabajo, dadas por los fabricantes o por experiencia propia.

El mantenimiento requiere un conocimiento exacto y preciso de las funciones y estructura de cada una de las partes o elementos de los que conforman las máquinas, equipos o dispositivos. Se debe respaldar por la utilización de planos y manuales de operación dados por los fabricantes para cada uno de los elementos.

Esta práctica generalmente requiere de varios pasos:

- Inspección y evaluación.
- Pruebas de funcionamiento.
- Revisión.
- Reparación (cambio de partes, reconstrucción, reemplazo).
- Prueba final.

Presión. Es la fuerza que se ejerce sobre un área específica, se define con la expresión (ecuación 1):

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde P es presión, F es fuerza y A es el área.

Las unidades más comunes para medir presión son: el Pascal, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$; el psi, $1 \text{ psi} = 1 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2}$; y el bar, $1 \text{ bar} = 14,50378 \text{ psi}$.

Neumática. Es la rama de la mecánica que utiliza las propiedades y beneficios del aire comprimido (presión positiva) y del vacío (presión menor que la atmosférica).

Los principales elementos que utiliza esta rama, son: cilindros, válvulas, actuadores, controladores y dispositivos o elementos electrónicos, elementos de unión, acople o conexión.

Caudal. El caudal es la cantidad de fluido por unidad de tiempo (ecuación 2).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Donde V es volumen y t es tiempo.

Las unidades más comunes para medir caudal son metros cúbicos por segundo (m^3/s), pies cúbicos por segundo (pie^3/s) y Litros por hora (l/h) entre otros.

Vacío. Se habla de vacío cuando la presión en un recinto es menor que la atmosférica. La ingeniería de vacío comprende las técnicas que aplican el vacío o las presiones ultra bajas.

Bombas de vacío. Pueden ser de cuatro tipos diferentes:

- Las bombas mecánicas: Bombas mecánicas hay de varios tipos como son las bombas de pistón, bombas de anillo de agua, bombas de paleta rotatoria, entre otras. Estas

bombas mecánicas se emplean de acuerdo a las necesidades a satisfacer.

- Las bombas de vapor: Este tipo de bomba se caracteriza por proporcionar alto vacío. Estas bombas comparadas con las bombas mecánicas son más veloces en el bombeo teniendo el mismo tamaño, peso y costo.

- Las bombas de mercurio: Las bombas de mercurio son útiles para impedir contaminación de hidrocarburos sobre el sistema.

- Las bombas criogénicas (con baja temperatura): Su utilidad se presenta cuando se requiere conseguir ultra alto vacío.

Componentes de la bomba de vacío. Se pueden detallar:

- Cámaras o cilindros: Estos elementos están hechos generalmente de vidrio o acero inoxidable. Estos materiales se utilizan para este fin ya que se caracterizan por su alta resistencia a la fuerza que la presión atmosférica coloca sobre ellos.

- Sellos: Los sellos son elementos que se funcionan como tapones de terminales que cierran el sistema entre bridas y extensiones. Generalmente tienen forma de anillos circulares hechos de materiales de vitón, metálicos o neopreno.

- Válvulas: Las válvulas generalmente están fabricadas en vidrio o metal, las de vidrio tienen utilidad cuando se necesita producción de vacío primario, mientras que las válvulas hechas en metal son frecuentemente usadas en sistemas con bombas de difusión con sistemas de alto vacío.

- Electroválvulas: Son elementos electromecánicos que se usan para controlar el flujo de fluidos que circulan por tuberías y cilindros, las electroválvulas son controladas a través de corrientes eléctricas que excitan su bobina.

Controlador Lógico Programable (PLC). Es un equipo electrónico programable, el cual está diseñado para controlar en tiempo real y en un contexto de tipo industrial, procesos secuenciales según (Peña, Grau, Martínez, y Gámiz, 2003).

La aparición del PLC se da en Estados Unidos en los años 1969 y 1970 con aplicación en la industria automotriz inicialmente. Un PLC es un dispositivo electrónico que recibe señales en sus entradas, a partir de ellas y en base al programa interno se activan señales en las salidas del mismo, con lo cual se habilita el funcionamiento de elementos asociados a las salidas. El campo de acción de un PLC está dado por las diversas necesidades de la industria para controlar procesos secuenciales de maniobras y control como sugiere (Leontief y Duchin, 1986).

Por otra parte el PLC cuenta con la función de programación en la que se pueden introducir crear o modificar los lineamientos de funcionamiento de la secuencia que ejecuta el controlador.

Los PLCs son dispositivos electrónicos que trabajan de forma secuencial desarrollando instrucciones establecidas en el programa de acuerdo a las variables de entrada para así generar una señal de salida acorde a las condiciones de las

entradas, esto se repite cíclicamente logrando con esto el control en tiempo real del proceso.

El PLC le ha permitido a la robótica desarrollar máquinas automatizadas que hacen trabajos antes realizados únicamente por seres humanos, logrando con esto aumentar producción y calidad en procesos industriales como ejemplo los brazos robóticos en las líneas de producción de la industria. El PLC reemplaza piezas electrónicas y electromecánicas que se empleaban en las etapas de potencia y mando, además de permitir modificar lineamientos de funcionamiento sin variar el cableado existente. El PLC tiene la ventaja de ser programado de dos formas, la primera es manual cuando el equipo lo permite, de lo contrario se hace con software por medio de un PC.

Dentro de las funciones básicas del PLC se tienen:

- Detección: Lectura de una señal que se presenta en las entradas.

- Mando: Elaborar y direccionar acciones al sistema.

- Diálogo hombre máquina: El operario debe supervisar el proceso verificando que el equipo siga las instrucciones del programa.

- Programación: proceso por el cual se establecen límites de operación del PLC.

Lenguajes de programación para el controlador lógico programable. Un lenguaje de programación es la herramienta por medio de la cual se puede crear un conjunto de instrucciones lógicas que forman un programa que permite al programador establecer comunicación entre diversos dispositivos. En la industria se utilizan varios tipos de lenguaje de programación según la gama de los equipos y la complejidad de los programas. Entre los más comunes se encuentra el lenguaje *Ladder* o diagrama de escalera. Un lenguaje más reciente, es el FBD (*Función Block Diagram*), que emplea compuertas lógicas y bloques con diversas funciones conectadas entre sí.

El lenguaje de programación *Ladder* comúnmente denominado lenguaje de contactos, es un lenguaje de programación de tipo gráfico muy conocido dentro de los controladores de lógica programable ya que se fundamenta en los esquemas eléctricos de control clásicos.

El lenguaje *Grafset* es un lenguaje de tipo gráfico muy útil para el diseño de automatismos, particularmente en los procesos industriales.

El diseño se realiza de forma secuencial, obedeciendo fases sucesivas que se asocian entre sí, por medio de relaciones, culminando un proceso cerrado o cíclico, de forma que la última etapa retorne siempre a la primera etapa o a una etapa anterior.

Un lenguaje que se destaca en la programación de controladores de lógica programable es *LOGO Soft* de Siemens, que es un lenguaje de alto nivel muy utilizable y estructurado, fácil de aprender.

Logo cuenta con algunas versiones del lenguaje de programación en español. Además, existen intérpretes de *Logo* en español, como lo son: FMSLogo, LogoWriter, WinLogo, Logo Gráfico, XLogo, MSWLogo y logoEs.

En la programación se permiten múltiples operaciones, abarcando la sencilla lógica Booleana, temporizadores, contactos, bobinas y operadores matemáticos, y además complicadas operaciones como manejo de tablas, y algoritmos y funciones de comunicación multi-protocolo para permitir la interconexión con otros dispositivos.

Metodología

Mantenimiento de equipos neumáticos

Unidad de mantenimiento básico. El mantenimiento de un sistema neumático debe ser en lo posible preventivo más que correctivo, puesto que en ocasiones esto aumenta los costos de operación de un proceso.

El principal factor en el cuidado y mantenimiento de equipos con elementos neumáticos es la calidad del aire (Guillén, 2008) que va a manejar cada elemento, ya que esto puede generar un desgaste acelerado en las piezas que componen el equipo. Para tal fin se emplean accesorios que aumentan la pureza del aire comprimido que alimenta el sistema, tales como filtros de aire, lubricadores y válvulas reguladoras de presión con lo cual se garantiza que los equipos trabajen a condiciones nominales y óptimas, lo que aumenta su vida útil y eficiencia.

Como parámetros fundamentales de la calidad del aire en un sistema neumático se tienen:

- El contenido de aceites o grasas perjudiciales presentes en el aire comprimido.
- La humedad del aire.
- La presencia de trazas de polvo en el aire, partículas producidas por la oxidación o corrosión, etc.

El sistema inicialmente no contaba con un dispositivo que permitiera cumplir con los parámetros anteriores, por tal razón fue necesario agregarle una unidad básica de mantenimiento, la cual cuenta con un filtro para partículas, un regulador con manómetro y un dispositivo lubricador. Con esto el sistema recibe un flujo de aire adecuado para su funcionamiento con una presión máxima regulada.

Para garantizar el uso adecuado de la unidad de mantenimiento se ha de tener presente realizar purgas manuales cuando se observe demasiada humedad en el vaso del filtro, esto de manera regular. Además hay que asegurarse de regular el goteo de aceite y su nivel, para que la lubricación en los equipos sea óptima y reducir el desgaste mecánico y la corrosión de las piezas de elementos del sistema como actuadores, electroválvulas, uniones y conectores.

El uso de esta unidad de mantenimiento permite regular el paso del aire comprimido lo cual es importante ya que si

se operan las válvulas y actuadores a presiones mayores de la recomendada por el fabricante, es perjudicial para el sistema.

A esta unidad se le realizan pruebas de fuga de aire. Primero, a la entrada, se le suministra aire a alta presión (0,91 MPa, 132 psi, 9,1 bar) equivalente al 1,1 de la presión nominal para el sistema. Si la unidad está en buena condición, se debe mantener la presión o no haber fugas. Segundo, se calibra la unidad para que suministre aire a la presión nominal. En la práctica, con la observación de los vasos y manómetro se indica cuando es conveniente realizar un mantenimiento (Fig. 3).



Figura 3. Unidad de mantenimiento básico.

Gracias a esta unidad de mantenimiento se procura que el aire se suministre lo más limpio posible y a una presión estable.

Mangueras, tubos y conectores para equipos neumáticos. Un aspecto importante a resaltar es la revisión de estos elementos de acople y conducción para el flujo del aire comprimido, estos generalmente tienen una vida útil larga si se utilizan a condiciones nominales. La detección temprana de fugas a través de rupturas de ductos o conexiones asegura la eficiencia del sistema, esta inspección se realiza de manera visual, auditiva y táctil.

Para revisar de forma adecuada se recomienda humedecer con agua jabonosa una espuma sobre las superficies con posible fuga, esto permite una fácil visualización de las mismas.

Por otro lado el mantenimiento de la parte eléctrica de las electroválvulas consiste en la revisión del buen contacto de las terminales de conexión de la bobina puesto que por condiciones ambientales suelen ser atacadas por corrosión y óxido, para evitar esto se recomienda lijar las terminales. Preferiblemente el sistema eléctrico de una electroválvula puede ser cambiado cuando deja de funcionar.

Para realizar un correcto mantenimiento del sistema de vacío se necesita contar con una unidad de mantenimiento es necesario además establecer un procedimiento que permita

verificar donde se requiere realizar los trabajos y como hacerlos. El siguiente diagrama (Fig. 4) muestra los pasos a seguir en la práctica del mantenimiento al sistema de vacío FESTO tanto neumática, como eléctricamente, ya que forman un conjunto para su correcto funcionamiento.

Mantenimiento de equipos eléctricos

El aspecto principal del mantenimiento de un equipo eléctrico consiste en operarlo en las condiciones nominales que indica el fabricante, ya que generalmente al averiarse un componente eléctrico es imposible repararlo, llevando con esto a la necesidad de sustituir todo el equipo.

El mantenimiento que se le realiza a los sensores inductivos consiste en realizar la limpieza de la superficie del mismo, además de la revisión periódica de las terminales de alimentación y salida de la señal de censado. Generalmente por sus componentes y configuración, los sensores dañados son cambiados y no reparados.

Funcionamiento general del sistema

Estructura neumática

El sistema cuenta con una válvula de corredera tipo W de accionamiento manual, es ella quien permite el paso de aire comprimido a los demás componentes neumáticos, además un grupo de cuatro electroválvulas de $\frac{4}{2}$, con pilotaje interno, ellas están montadas en línea. Son estas válvulas las encargadas de controlar los movimientos que realizan los actuadores neumáticos que forman el sistema.

Inicialmente el sistema cuenta con dos actuadores giratorios con una libertad de movimiento de 180° , luego están dos cilindros sin vástago que funcionan por efecto de campo magnético, estos cilindros están alimentados por la misma electroválvula. Esta también un cilindro de doble efecto con vástago roscado y por último está el generador de vacío que es controlado por una electroválvula de $\frac{3}{2}$ vías.

Los equipos neumáticos mencionados son del fabricante FESTO, y por su origen ellos poseen condiciones de operación similares y aunque varíen las condiciones entre equipos se puede definir como presión de operación de todo el sistema $0,8 \times 10^6$ Pa, es decir, 8 bar a una temperatura de 5 a 50°C .

Con el reconocimiento inicial del sistema se logró realizar un inventario detallado de los componentes neumáticos y se detectó la necesidad de una fuente de alimentación neumática, también se realizó el levantamiento del respectivo esquema con el cual fue posible realizar pruebas diagnósticas a estos componentes. Los diagramas fueron realizados con el software Automation Studio ya que este cuenta con las herramientas para simular el circuito neumático del sistema y analizar el correcto funcionamiento del mismo, además su simbología se ajusta a la norma DIN ISO 1219-1 que comprende la simbología neumática. Este software

es ampliamente utilizado por empresas dedicadas a la automatización de procesos ya que es sencillo de manejar y es muy versátil (Fig. 5).

Al circuito neumático inicial se le agregó un compresor y una válvula reguladora de presión además de cambiar varias mangueras averiadas que permitían la fuga de aire. La válvula reguladora de presión fue necesaria para garantizar la seguridad de las personas que manipulen el sistema y la vida útil de los equipos.

Estructura eléctrica

El sistema cuenta con las bobinas de cinco electroválvulas que trabajan a tensión nominal de 24 V DC, también dispone de diez sensores inductivos de tres hilos PNP, estos operan a 24 V DC. Además de esto el sistema está provisto con una fuente de tensión DC de 100 W la cual puede ser alimentada a 110 V AC ó 220 V AC con solo colocar un puente mecánico en la misma, a su salida entrega 24 V DC y 4.2 A DC.

En el reconocimiento inicial se observó que el sistema no contaba con circuito eléctrico ya que este fue parcialmente desmantelado dejando únicamente cables unidos a una borna. Los elementos eléctricos fueron inventariados y sometidos a pruebas para verificar su estado, posteriormente a las reparaciones de estos se realizó el diseño del circuito eléctrico a través del software de diseño de planos Eplan Electric 8 ya que este maneja simbología eléctrica acorde a la norma IEC 1082-1 la cual se aplica (Fig. 6).

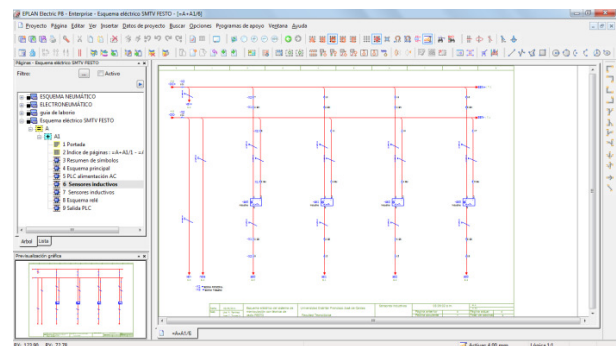


Figura 6. Entorno de diseño Eplanelectric 8.

Criterios de diseño eléctrico

En este diseño eléctrico se tuvo en cuenta las condiciones de seguridad mínimas para los equipos (Flower, 2008), por ello hay una configuración fija de las protecciones eléctricas (interruptor termo-magnético y fusible DC), complementando esto también se implementó un paro de emergencia con una conexión eléctrica fija y otra configurable (contactos habilitados), además de equipotencializar la estructura que soporta al sistema, para con esto garantizar la integridad de las personas que manipulen el sistema.

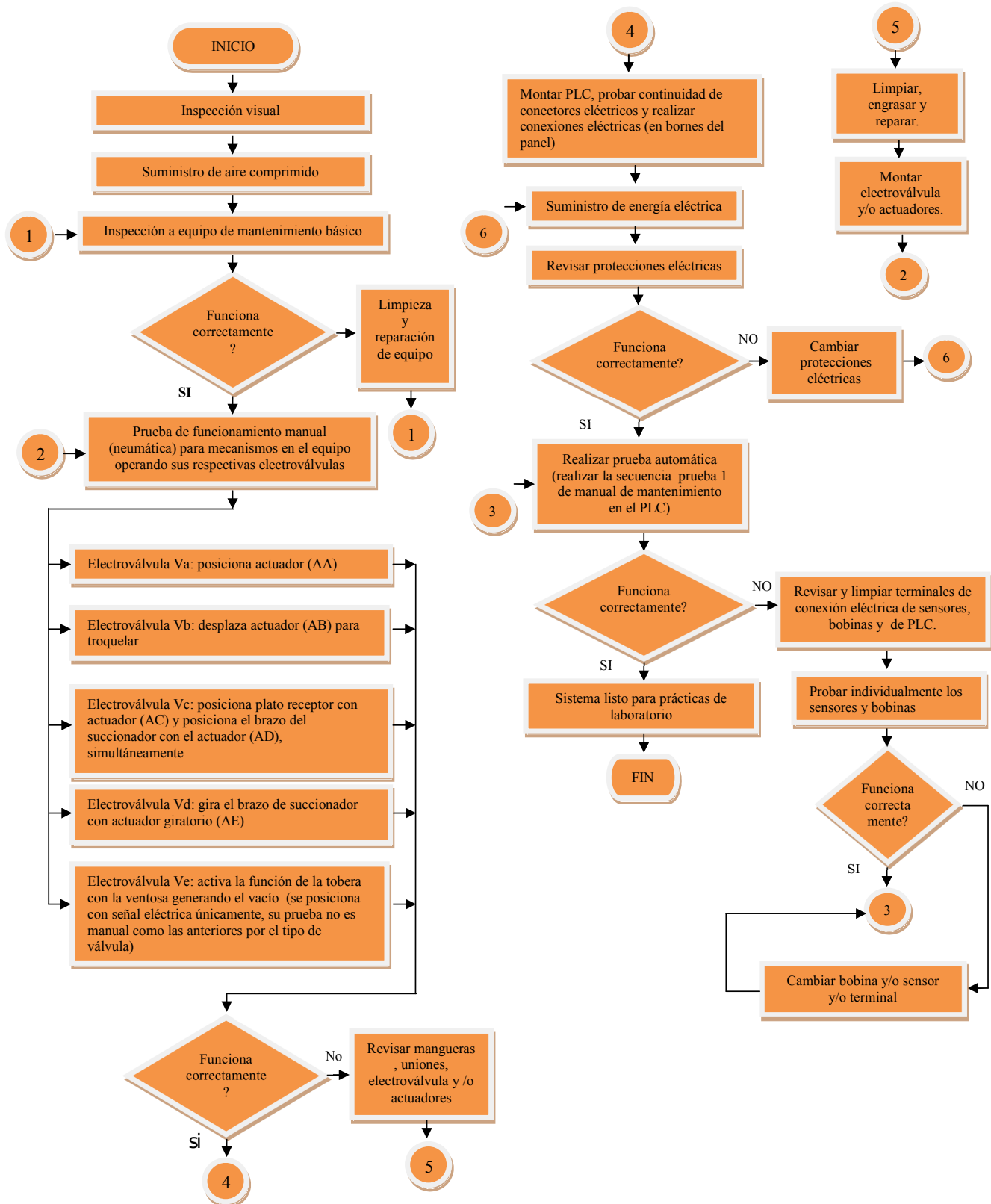


Figura 4. Diagrama de flujo para realizar mantenimiento del sistema de vacío.

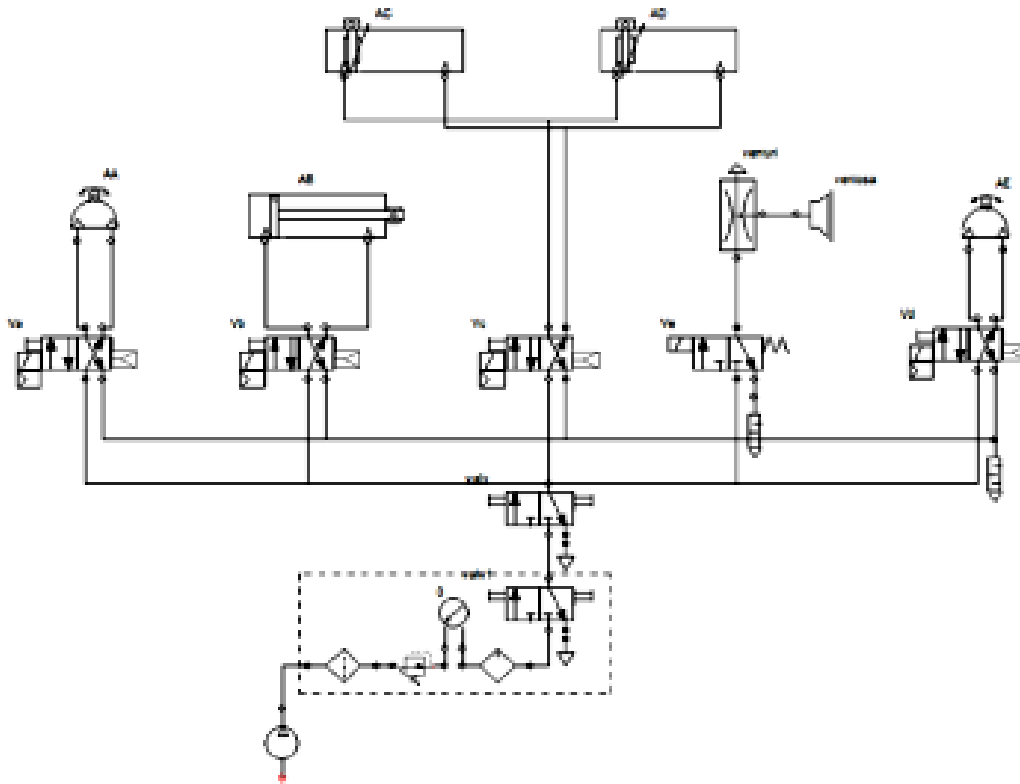


Figura 5. Esquema neumático sistema de vacío.

Otro aspecto importante que se tuvo en cuenta para el diseño fue la facilidad de configuración de todo el sistema pues no solo se puede programar una única rutina sino que se deja libre al diseñador para crear secuencias según sus necesidades, esto gracias a que cada componente está individualizado y llevado a terminales de conexión de fácil acceso para los usuarios del sistema.

Compatibilidad del sistema con PLC

Las diversas necesidades de la industria han llevado a que el mercado ofrezca variedad de controladores de lógica programable. Esto permite encontrar equipos de características muy particulares, como lo son el lenguaje con el que se programan, la gama, el tipo de alimentación entre otros.

El sistema de vacío está diseñado para trabajar a 24 V DC razón por la cual no era posible trabajar con PLCs, ni sensores que se alimentaran de tensión AC, y ya que en la facultad tecnológica se cuenta con elementos de este tipo la comunidad vio limitado el uso de los mismos. Esto representó un problema ya que en el laboratorio aplicado de electricidad (LA-EL-01) se cuenta con controladores de lógica programable alimentados a 110-208 V AC. Para solucionar esto se complementó el sistema con un conjunto de relés para conexión libre, lo que le da al sistema un

mayor grado de utilidad además de brindar seguridad para los equipos.

Pruebas de funcionamiento

Pruebas de funcionamiento electroválvulas y actuadores

Para la realización de estas pruebas se desarrolló un proceso de verificación de conexiones eléctricas través de un timbrado de conductores (verificar la continuidad de los conductores). Posterior a este se puso en funcionamiento la parte neumática del sistema (alimentar con compresor). Ya con estos requisitos, se procedió a energizar la electroválvula y revisar que efectivamente trabajara el actuador. Este proceso se realizó de forma individual a cada elemento.

Pruebas de funcionamiento sensores inductivos

Las conexiones de los sensores fueron verificadas por medio de un proceso de timbrado. Posteriormente se energizó la parte de alimentación del sensor y se comprobó por medio del voltímetro que al detectar un material ferromagnético se presentaran 24 V DC en la salida.

Lenguaje utilizado para programar los PLCs

Lo más importante dentro de la programación de los PLCs es escoger el lenguaje que se va a utilizar para implementar

la rutina, como se sugiere en (Guadayol y Medina, 2010). Según la norma IEC 61131-3 dice que sin importar el fabricante se puede desarrollar en forma libre los programas, se escogió el lenguaje *Ladder* para realizar la programación en 3 PLCs diferentes desarrollando la misma rutina por las tres marcas que se nombraran en el siguiente numeral.

Este lenguaje se escogió gracias a su sencillez y a los conocimientos previos que se tenían (Telemechanique, 2006).

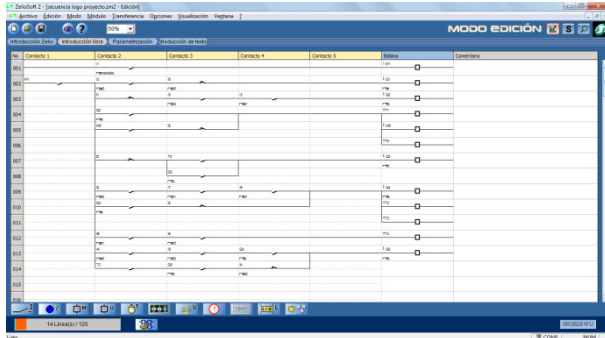


Figura 7. Entorno de diseño Zeliosoft 2.

Pruebas de funcionamiento sistema de vacío con PLCs

Teniendo la certeza del buen funcionamiento de los elementos del sistema, se procedió con la puesta en marcha del mismo, utilizando primero el PLC de marca Zelio SR3B261FU al cual previamente se le cargó una rutina de prueba, arrojando como resultado el correcto funcionamiento del sistema.

Para la realización del programa en lenguaje *Ladder* se tuvo en cuenta el uso de todos los sensores (en enclavamientos y detección de elementos), electroválvulas y actuadores con que cuenta el sistema de vacío y se programo de acuerdo a unos parámetros (ver tabla 1).

Para comprobar la compatibilidad del sistema también se realizó la misma prueba con el controlador de marca LOGO 230RLC, el cual arrojó resultados favorables al realizar la misma rutina. Con esto, se comprobó que el sistema es compatible con PLCs alimentados con tensión AC.

Por último, se implementó la misma rutina en el PLC de marca FESTO FEC 640 el cual se alimenta con tensión DC, la cual fue desarrollada exitosamente. Con la implementación del programa en este PLC se tuvo en cuenta que la conexión de alimentación, entradas y salidas de este equipo es muy diferente de los anteriores (Fig. 8).

Al realizar esta última prueba surgió un inconveniente, ya que el programa de FESTO no tiene la función de activar bobinas con flancos, como las presentes en el Zeliosoft 2 y el logosoft. Por esta razón se modificó la parte inicial del programa. Con estas pruebas se consigue garantizar a la comunidad un equipo fácil de utilizar y que no se encuentra

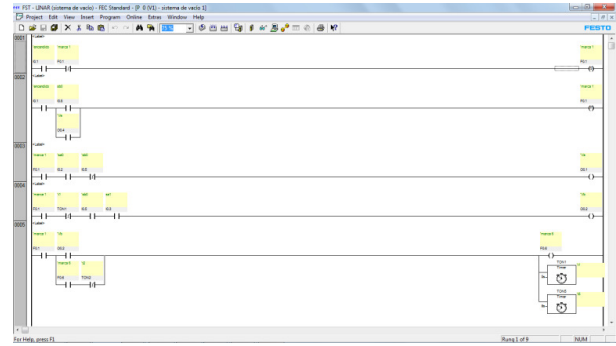


Figura 8. Entorno de diseño FST 4.1.

atado a las especificaciones de algún fabricante para poder hacer uso del mismo en procesos de capacitación.

Cálculo de las protecciones

Para el cálculo de las protecciones se tomó un 25 % de la corriente nominal diversificada (ecuaciones 3 y 4).

$$i_{nom} = \frac{P}{V} \quad (3)$$

$$i_{protección} = i_{nom} \times 1,25 \quad (4)$$

Donde:

- i_{nom} : Corriente nominal diversificada.
- P : Potencia nominal diversificada.
- V : Tensión nominal.
- $i_{protección}$: Corriente nominal de la protección.

Para el cálculo de los conductores (ecuación 5):

$$i_{nomconductor} = i_{nom} \times 1,1 \quad (5)$$

Donde:

- $i_{nomconductor}$: Corriente nominal del conductor.

Resultados

Los resultados de las pruebas fueron satisfactorios en su totalidad, se cumplió con los objetivos planteados en la propuesta, respetando los diseños iniciales que estaban en los esquemas. El sistema se comporta de forma estable ante diferentes PLCs lo que garantiza su utilidad en distintos laboratorios.

La estructura del sistema garantiza el soporte físico de distintos controladores, aquellos equipos que no pueden ser anclados al panel pueden ser ubicados en un espacio libre en la mesa ya que el sistema cuenta con un cable de comunicación auxiliar para estos casos especiales (Fig. 9).

Al sistema se le cambiaron los conectores de las bananas que manejaban tensión por unos de mayor seguridad para evitar riesgos a los usuarios del sistema.

Tabla 1

Secuencia de funcionamiento sistema de vacío.

SECUENCIA	ACCIÓN	REACCIÓN ELÉCTRICA	REACCIÓN NEÚMATICA
1	Energizar sistema con pulsador de start.	Los sensores quedan alimentados a 24 [V] DC.	Ninguna.
2	Sensor Sa0 detecta disco de metal.	Electroválvula Va cambia de estado, pasa un Δt y regresa a su posición inicial.	Actuador AA cambia de estado y empuja disco, pasa un Δt y regresa a su posición inicial.
3	Sensor sb0 detecta disco de metal.	Electroválvula Vb cambia de estado, pasa un Δt y electroválvula Vb regresa a posición inicial luego pasa Δt y electroválvulas Vc y Vd cambian de estado inicial.	Actuador AB cambia de estado, troquea disco, pasa un Δt y actuador AB regresa a posición inicial luego pasa Δt y actuadores AC y AD cambian posición inicial.
4	Sensores sc1 y sc1 detecta metal.	Electroválvula Ve cambia de estado, pasa un Δt y las electroválvulas Vc y Vd vuelven al estado inicial.	El generador de vacío (venturi) se activa y actuadores AC y AD vuelven a su estado inicial.
5	electroválvula Ve energizada y sensor sd0 detecta	Electroválvula Vd cambia de estado, pasa un Δt y la electroválvula Ve vuelven al estado inicial, pasa un Δt y la electroválvula Vd vuelven al estado inicial.	Actuador AE cambia de estado, pasa un Δt y el generador de vacío se desactiva, luego pasa Δt y el actuador AE vuelve a su posición inicial.



Figura 9. Sistema de vacío y PLC FESTO (laboratorio LE-MC-01).

El sistema funciona en cualquier lugar donde se disponga de una fuente de tensión AC a 110 V y un compresor de aire, ya que posee unas llantas en su estructura que permiten su fácil desplazamiento y una clavija para conectar a un circuito monofásico, lo cual se consigue en casi cualquier recinto de la Facultad Tecnológica.

El sistema cuenta con un sistema de protecciones que garantiza la seguridad de las personas que estén en contacto con el mismo.

El sistema responde positivamente a las necesidades planteadas en la etapa de diseño del circuito ya que gracias al panel de conexión, se establece la posibilidad de generar

múltiples configuraciones tanto de elementos que requieran alimentarse con señales en AC y DC.

El sistema de vacío cuenta ahora con unos esquemas de su estructura electroneumática que le garantizan un mantenimiento correcto ya que a la hora de presentarse una avería es posible buscar su origen en los esquemas sin tener que realizar tediosas búsquedas de cables pues todos los elementos del sistema están referidos a bornas.

Conclusiones

El proyecto ha alcanzado todos los objetivos propuestos, se ha adecuado el sistema de manipulación con técnica de vacío FESTO brindando una herramienta didáctica para el aprendizaje a la comunidad universitaria.

El diseño móvil de la estructura que soporta el sistema es clave para la integración del sistema en los distintos espacios académicos.

El Laboratorio Aplicado de Electricidad (LA-EL-01), cuenta ahora con una herramienta didáctica para simular un proceso electroneumático con PLC.

Los equipos de tipo electroneumático tienen una duración mayor cuando se les provee de una unidad compacta de mantenimiento y se siguen las recomendaciones especificadas por el fabricante, esto garantiza unas condiciones óptimas de funcionamiento.

Es recomendable realizar diseños de bancos didácticos para laboratorio, que no estén atados a un único proveedor

de repuestos y servicios, esto permite hacer más funcional los bancos y reduce los costos por mantenimiento lo que aumenta la vida útil de estos bienes.

Cada fabricante de controladores de lógica programable incluye funciones propias en el software de programación de los mismos, y aunque la mayoría manejen el lenguaje *Ladder* no se programan igual, hay variaciones en función del fabricante y La gama del controlador.

Referencias

- Cadenilla, J. F. (2005). *Tecnologías empresariales procesos y paquetes tecnológicos*. Convenio Andrés Bello.
- Flower, L. (2008). *Controles y automatismos eléctricos teoría y práctica* (2.^a ed.). Panamericana Formas e Impresos.
- Guadayol, J., y Medina, J. (2010). *La automatización en la industria química*. Edicions UPC.
- Guillén, A. (2008). *Introducción a la neumática*. Marcombo S.A.
- Leontief, W., y Duchin, F. (1986). *The future impact of automation on workers*. Oxford University.
- Peña, J., Grau, A., Martínez, H., y Gámiz, J. (2003). *Diseño y aplicaciones con autómatas programables*. UOC.
- Talavera, L., y Farías, M. (1995). *El vacío y sus aplicaciones*. Fondo de cultura económica.
- Telemecanique. (2006). *Manua del usuario Zeliologic 2 módulo lógico AN01ES*. On line.