

Sistema de control automático basado en PLC y HMI para una máquina estribadora

Automatic control system based on PLC and HMI for a stirrup bending machine

E. Flores-García^a; J.C. Quezada-Quezada^b; R. Calderón-Medina^c; J.M. González-Ángeles^d

Abstract:

Among the wide variety of materials employed at construction industry there are some structural elements called stirrups, also known as rings, which are typically made of steel wire with large thickness, named wire rod, which for residential homes is commonly one-eighth inch gauged, which must be bent to shape rectangles or squares of different sizes, properly the stirrups, which are used to embrace, confine and position the longitudinal metal bars, generally rods, at the columns and beams assembly. Due to the considerable physical effort that is made in order to manually bend such a material, as well as the high demand of these elements, in the present work the development of a control system to automate a stirrup bending machine is proposed, by implementing electropneumatics with PLC-based control, and monitoring through HMI. This work constitutes a terminal academic project of practical application, focused on the industrial-type processes automation.

Keywords:

Automation, HMI, industrial process, PLC-based control, pneumatics, stirrup

Resumen:

Entre la gran variedad de materiales empleados en la industria de la construcción se encuentran unos elementos estructurales llamados estribos, también conocidos como anillos, que son típicamente fabricados de alambre de acero con gran grosor, denominado alambroón, que para casas habitación comúnmente es de calibre de un octavo de pulgada, el cual debe ser doblado para formar rectángulos o cuadros de diferentes medidas, propiamente los estribos, que se utilizan para abrazar, confinar y posicionar a las barras metálicas longitudinales, generalmente varillas, en el armado de columnas, castillos y trabes. Debido al esfuerzo físico considerable que se realiza para doblar manualmente tal material, así como a la alta demanda de estos elementos, en el presente trabajo se propone el desarrollo de un sistema de control para automatizar una máquina estribadora, implementando electroneumática con control basado en PLC y monitoreo mediante HMI. Este trabajo constituye un proyecto académico terminal de aplicación práctica, con enfoque a la automatización de procesos de tipo industrial.

Palabras Clave:

Automatización, control basado en PLC, estribo, HMI, neumática, proceso industrial

Introducción

La automatización comprende fundamentalmente la aplicación de diversas tecnologías para controlar y monitorear procesos, máquinas o dispositivos que, por lo general, cumplen funciones o tareas repetitivas, haciendo que operen automáticamente, reduciendo a lo indispensable la intervención humana.

La industria de la construcción no ha sido un campo tan favorable para la aplicación extensa de las tecnologías de automatización; su implementación en esta área se

considera reducida debido a los ambientes de trabajo en los que tiene lugar y a las tareas que en ellos se realizan, implicando una gran variedad de aspectos, métodos, técnicas, prácticas, cálculos, diseños, materiales, observación, ingenio, e incluso improvisación.

Una parte esencial en la construcción de edificaciones es el armado de castillos, que son elementos estructurales importantes cuya función es mantener en pie la edificación, y son elaborados a partir de concreto

^a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-4606-8217>, Email: efloresg@uaeh.edu.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-3125-3708>, Email: jcarlos@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-7292-6051>, Email: rafael_calderon@uaeh.edu.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-2943-1539>, Email: go391157@uaeh.edu.mx

armado y reforzados con alambre recocido, acero y estribos.

En este trabajo se presenta la propuesta de desarrollo de un sistema de control automático empleando PLC (*Programmable Logic Controller*) y HMI (*Human-Machine Interface*) para una máquina estribadora, haciendo uso de la neumática, con el propósito de contar con un proceso de elaboración más rápido, limpio, seguro, con menos desperdicio de materia prima, y de menor costo frente a otras tecnologías. Cabe mencionar que en los sistemas neumáticos, tanto la velocidad como la fuerza pueden ser reguladas, y que se pueden realizar cambios de sentido de forma instantánea, lo cual resulta útil para el sistema de control propuesto.



Figura 1. Máquina estribadora semiautomática.

Planteamiento del problema

Con el extenso crecimiento de la población y en consecuencia de la urbanización, se genera una sobresaliente demanda de construcción de viviendas; esto genera un desabasto parcial de algunos materiales indispensables, como los estribos por ejemplo, puesto que son fabricados mayormente de manera manual y semiautomática, lo cual eventualmente llega a ocasionar su escases; por ello se considera factible implementar tecnología de automatización, para que la producción de estos elementos sea competitiva y solvente ante las necesidades cotidianas. [1] [2]

Por otra parte, representa un aporte significativo al sector de la construcción, particularmente de tipo residencial, que ostenta la fama de ser antigua y con bajo nivel de tecnificación e industrialización. En general, con la implementación de la automatización no solo se crean nuevas oportunidades, sino que también obliga a la industria, en este caso de la construcción, a adaptarse a nuevas prácticas. [3]

Objetivo general

Desarrollar un sistema de control automático para una máquina estribadora empleando PLC y HMI, para solventar la demanda de fabricación de estribos en la industria de la construcción de tipo residencial.

Objetivos específicos

- Implementar el PLC MELSEC FX de Mitsubishi Electric para el control.
- Desarrollar el algoritmo de control utilizando el lenguaje de programación Diagrama Escalera mediante el software GX Works 2.
- Desarrollar la HMI para el monitoreo mediante el software GT Designer 3 de Mitsubishi Electric.
- Aplicar la neumática para el accionamiento de actuadores para realizar el doblado del alambón.
- Integrar sensores inductivos para la detección de metales (material para la elaboración de estribos).

Desarrollo de la propuesta del sistema de control

El presente trabajo se enfoca hacia la mejora de la productividad en la elaboración de estribos en la industria de la construcción, los cuales son elementos estructurales metálicos fabricados comúnmente con alambre de gran calibre (alambón), típicamente de un octavo de pulgada; el proceso para su fabricación consiste básicamente en doblar el alambre formando rectángulos o cuadros de diferentes medidas, lo cual se realiza mayormente de forma manual y semiautomática, encontrando como principales desventajas la relativa lentitud en la producción y lo agotador del esfuerzo físico para quienes lo ejecutan. [4]

Se plantea automatizar una máquina estribadora integrando control basado en PLC, neumática, detección (sensores), comunicación mediante redes con protocolo de tipo industrial, y monitoreo con HMI; con la finalidad de agilizar la producción, apartar al obrero de las acciones repetitivas y tediosas, y solventar la demanda. Se desarrolla un algoritmo de control empleando el lenguaje de programación Diagrama Escalera (LD, por sus siglas en Inglés de *Ladder Diagram*) para PLC. Por su parte, para la detección se contempla el uso de sensores de proximidad, inductivo y fotoeléctrico PNP [5],[6], para obtener información sobre el estado de la máquina, específicamente sobre la presencia y el posicionamiento del material a ser doblado.

Algoritmo de control en PLC

El algoritmo de control para la máquina estribadora ha sido desarrollado mediante el software de programación GX Works 2 Mitsubishi Electric.

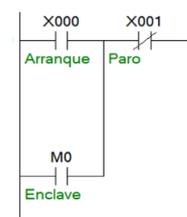


Figura 2. Acciones de arranque y paro de la máquina.

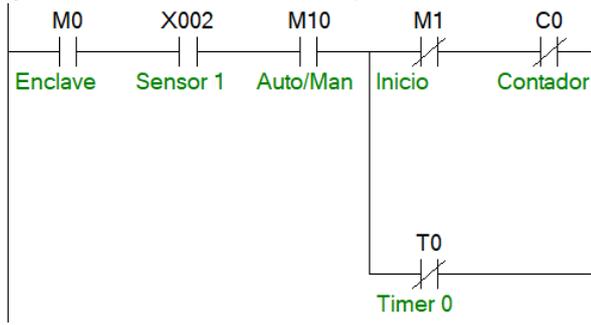


Figura 3. Condiciones generales de funcionamiento en modo automático.

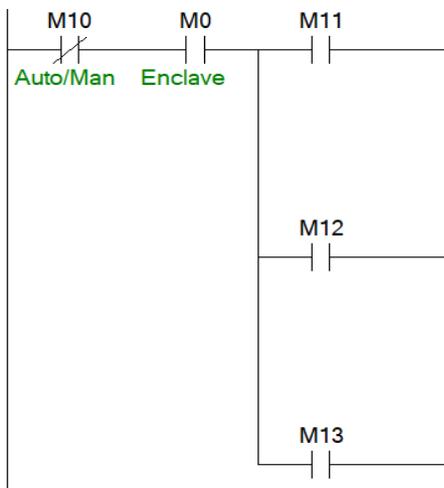


Figura 4. Operación manual de los cilindros neumáticos.

El sistema de control cuenta con dos modos de funcionamiento; manual y automático. La operación manual se realiza mediante la HMI, donde el usuario operador tiene la posibilidad de ajustar las condiciones de ejecución del sistema. El modo automático está en función de la detección, donde el sensor inductivo se encarga de detectar la presencia de metal, en este caso el alambión, dentro del alimentador; si existe materia prima, el sistema de control comienza a funcionar de manera autónoma.

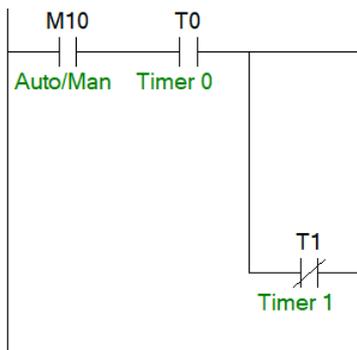


Figura 5. Temporizadores para el modo automático.

La implementación de contadores y temporizadores (*timers*) se incluyó como parte de las condiciones de control en el modo automático; esto, para que los cilindros neumáticos sean accionados con respecto de un tiempo determinado, de acuerdo con los dobleces del alambión; y el uso de contadores se ha aplicado para determinar el número de estribos que han sido fabricados.

Desarrollo de la HMI

Para el desarrollo de la HMI se ha utilizado el software *GT Designer 3* de *Mitsubishi Electric*; con esta interfaz gráfica se efectúa la operación manual del sistema, con la que se puede manipular el accionamiento independiente de los tres cilindros neumáticos. Contabilizar el número de estribos elaborados es una de las funciones que la interfaz proporciona al operador, así como ajustar el número de estribos que se requiere producir de manera automática. La selección de modo de operación, automático o manual, es una opción más que la HMI proporciona. Para el diseño de la HMI se ha tomado en cuenta el modelo tecnológico con el que se realiza la simulación y validación del funcionamiento de los algoritmos de control y consecuentemente del proceso, en cuya estructura se encuentran instalados los actuadores neumáticos que generan el movimiento para efectuar los dobleces del alambión, y con esto propiamente la fabricación de los estribos. La HMI incluye indicadores del estado de los cilindros neumáticos, esto es, si son o no accionados; así como otras luminarias que permiten visualizar el estado en general de la máquina.

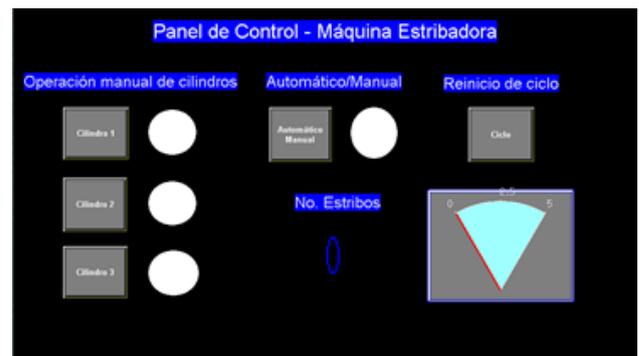


Figura 6. HMI principal de la máquina estribadora.

La Figura 6 muestra el aspecto del panel general de la HMI para el control y la supervisión del sistema, desarrollada mediante el software *GT Designer 3* de *Mitsubishi Electric*. En la parte izquierda se encuentra la sección de control manual de los tres cilindros neumáticos, mediante tres botones independientes para

su accionamiento por el operador de la máquina, y junto a cada botón una luz indicadora del estado del cilindro correspondiente; y en la parte central la selección del modo de operación de la máquina, manual o automático, así como la visualización mediante un contador del número de estribos fabricados.

Modelo tecnológico

El modelo tecnológico permite representar de forma relativamente simplificada determinados aspectos relevantes de la realidad que se requieren destacar del sistema, posibilitando analizar y comprender su comportamiento bajo ciertas condiciones de operación y obtener conclusiones sobre su funcionamiento por analogía, sin la necesidad de construir el (supra)sistema real; y como lenguaje característico de la tecnología, favorece la aplicación de aquella que se desea integrar, estudiar, observar, probar y validar.

En el modelo propuesto en el presente trabajo, se ha aplicado PLC y HMI como tecnología de control, y de monitoreo particularmente la segunda; asimismo, se integran sensores inductivos para la detección del material metálico (alambrón) para la elaboración de los estribos; y se aplica la neumática para el accionamiento de los actuadores que efectúan el doblado del alambión.



Figura 7. Tablero de control.

La Figura 7 presenta el tablero de control instalado en su gabinete de tipo industrial, dentro del cual se encuentra el circuito de control desarrollado (Figura 8) que considera las conexiones de las señales de entrada y salida del PLC, las protecciones termo-magnéticas, y una fuente de alimentación a 24vdc para los sensores inductivos y entradas digitales.

Por su parte, las electroválvulas implementadas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos en este caso enviados mediante el PLC; gracias a la corriente que circula a través de su solenoide, y a los efectos magnéticos que ello produce, es posible abrir o cerrar la

válvula controlando así el flujo del aire comprimido hacia los cilindros neumáticos.



Figura 8. Circuito de control.

Para la etapa neumática del sistema, se implementaron electroválvulas (Figura 9) de cinco vías y dos posiciones (poseen una vía más; cuentan con dos escapes), cuya función es eficaz para el control de cilindros de doble efecto (Figura 10) que ejecutan movimientos alternos cambiando de sentido cuando se aplica aire comprimido en uno de los dos puntos (la amortiguación en ambas posiciones impide que el émbolo choque con fuerza en los extremos).



Figura 9. Electroválvulas.

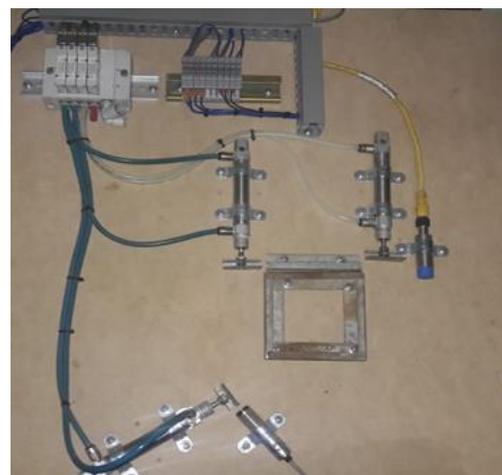


Figura 10. Circuito de potencia neumática.

Conclusiones

La automatización, como parte de sus intenciones, permite disminuir a lo indispensable la intervención humana en el desarrollo y la operación de procesos, en este caso productivos de tipo industrial, apartándole de ambientes, situaciones y actividades riesgosas y repetitivas (tediosas), y provee seguridad tanto a los procesos como a las personas primordialmente, e incluso confort a éstas últimas. Asimismo, permite, por un lado, disminuir tiempos de producción, costos de mano de obra, desperdicio de materia prima, y por otro, incrementar la producción, la calidad de los productos y las ganancias económicas. Por todo lo anterior, debido al esfuerzo físico considerable que implica doblar manualmente el alambrón para quienes manufacturan los estribos, así como a la alta demanda de estos elementos de construcción, y con el propósito de contar con un proceso de elaboración más rápido, seguro y relajado, en este trabajo se ha propuesto un sistema de control automático para una máquina estribadora, integrando tecnologías de automatización de gama industrial como PLC, HMI, neumática y elementos de detección. El presente trabajo constituye un proyecto académico terminal de aplicación práctica con enfoque a la automatización de procesos productivos, como propuesta de alternativa de solución a la problemática diversa que se presenta en el campo de acción del Ingeniero en Automatización Industrial, en el desarrollo de los procesos.

Informatics, Vol. 17, No. 5, p. 11, 2018.

Referencias

- [1] O. I. A. Kevser, «Analysis of Machine Learning Methods in EtherCAT-Based Anomaly Detection», *Special Section on Emerging Approaches to Cyber Security*, p. 10, 2019.
- [2] F. X. Quansheng. J, «Design and Motion Analysis of Adjustable Pneumatic Soft Manipulator for Grasping Objects», p. 10, October 10, 2020.
- [3] X. H. Ying. J, «Overview of Applications of the Sensor Technologies for Construction Machinery», *Automation in the Construction*, Vol. 1, p. 12, June 12, 2020.
- [4] T. Z. Zhogling Lin, «Intelligent Electro-Pneumatic Position Tracking System Using Improved Mode-Switching Sliding Control With Fuzzy Nonlinear Gain», Vol. 6, No. 2, p. 15, June 15, 2018.
- [5] P. B. Hong Zhao, «Synchronous Position Control Strategy for Bi-Cylinder Electro Pneumatic Systems», *International Journal of Control, Automation and Systems*, Vol. 2, No. 3, p. 14, 2016.
- [6] M. L. I. I. U. Martin A. Sehr, «Programmable Logic Controllers in the Context of Industry 4.0», *IEEE Transactions on Industry*