

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CILINDRO NEUMÁTICO PARA PRÁCTICAS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL EN EL MARCO DE LA EDUCACIÓN STEM

Jaime-Rodríguez J.J., Martínez-Montejano R.C., González Badillo G., Solano-Delgado A.S.
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media
Ingeniería Mecatrónica

Carr. Rioverde-San Ciro, Km 4, El Carmen, C.P. 79615, Rioverde, S.L.P.

Tel. (487) 87.291.20 ext 4530

Ontañón García-Pimentel L.J.

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Coordinación Académica Región Altiplano Oeste

Santo Domingo, Salinas #200, C.P. 78600, Salinas de Hidalgo, S.L.P.

e-mail: jose.jaime@uaslp.mx, roberto.montejano@uaslp.mx, germanico.gonzalez@uaslp.mx,
a277320@alumnos.uaslp.mx, luis.ontanon@uaslp.mx

RESUMEN.

Los actuadores neumáticos son cruciales en proyectos de automatización industrial que emplean PLCs (Controladores Lógicos Programables) y HMI (Interfaz Humano-Máquina), destacándose por sus ventajas sobre otros tipos de actuadores. Es esencial que los estudiantes no solo comprendan su funcionamiento, sino que también adquieran la habilidad de diseñar y construir estos dispositivos. Este trabajo se enfoca en crear un cilindro neumático de doble efecto mediante tecnologías como impresión 3D y maquinado CNC. Dicho cilindro servirá como modelo para prácticas referentes a espacios de formación relacionados con automatización industrial, diseño de máquinas, PLCs, circuitos hidráulicos y neumáticos, y procesos de manufactura. El objetivo es abarcar diversas áreas de formación bajo la metodología STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), buscando fortalecer la asimilación de conocimientos teórico-prácticos. Este enfoque pretende generar resultados que enriquezcan la educación en automatización industrial, preparando a los estudiantes para enfrentar los desafíos del mundo laboral actual.

Palabras Clave: actuador, automatización industrial, educación, electroneumática, neumática, STEM.

ABSTRACT.

Pneumatic actuators are crucial in industrial automation projects employing PLCs (Programmable Logic Controllers) and HMIs (Human-Machine Interfaces), notable for their advantages over other types of actuators. It is essential for students not only to grasp their operation but also to acquire the ability to design and construct these devices. This project focuses on creating a double-acting pneumatic cylinder using technologies such as 3D printing and CNC machining. This cylinder will serve as a model for training activities related to industrial automation, machine design, PLCs, hydraulic and pneumatic circuits, and manufacturing processes. The objective is to encompass various fields of study under the STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) methodology, aiming to strengthen the assimilation of theoretical and practical knowledge. This approach aims to produce outcomes that enhance education in industrial automation, preparing students to tackle current challenges in their future workplaces.

Keywords: actuator, education, electropneumatic, industrial automation, pneumatic, STEM.

1. INTRODUCCIÓN

En el campo laboral actual, existen ciertas situaciones o desafíos que requieren de profesionales creativos y competentes para abordar problemas sistémicos que van desde lo más sencillo (i.e. desconexión de un componente) hasta lo más complejo (i.e. avería y desconfiguración de una línea de producción completa). Estos desafíos conllevan a que cada vez se muestre más interés hacia las habilidades y competencias con las que cuentan los estudiantes o futuros profesionales para resolver problemas, producir y evaluar evidencia científica, trabajar en equipo y comprender el mundo y los fenómenos que lo constituyen con la finalidad de dar soluciones a los problemas que se presentan en nuestra sociedad actual en los diferentes campos de acción disciplinar laboral [1].

Por tales circunstancias, la educación siempre debe estar a la vanguardia para ofrecer los mejores modelos didácticos, estrategias de aprendizaje y nuevos constructos con fines de mejorar la calidad educativa de los estudiantes. Es necesario mencionar que esta nueva metodología no solamente debe ser pensada e implementada para los estudiantes más talentosos, sino que debe ser lo más incluyente posible para que todos desarrollen y fortalezcan sus competencias y habilidades teórico-prácticas de forma adecuada y paulatina. Por tales razones, este nuevo modelo educativo STEM ha tomado un gran auge y se presenta como un recurso metodológico didáctico ideal para la construcción del conocimiento y el desarrollo de destrezas necesarias para aplicar en los diferentes campos y situaciones cotidianas de la vida y más aún en el campo de la ingeniería. Este innovador modelo educativo busca potenciar las capacidades de los estudiantes, de manera que sean capaces de entender las nuevas demandas del campo laboral y crear mejores oportunidades con vistas al futuro laboral [1-3].

En el presente contexto de los estudiantes de ingeniería mecatrónica del país, la evolución continua de la industria para

la obtención de nuevas materias, su mecanización y la obtención de un producto final elaborado obliga a conocer y entender el funcionamiento de los dispositivos neumáticos, electroneumáticos e hidráulicos, su control, sus limitaciones y la forma de realizar un diseño e instalación correctos [4-5]. Para este fin, la neumática y la hidráulica forman parte vital de los procesos de automatización del mundo actual. Por ejemplo, la neumática emplea un gas como modo de transmisión (normalmente aire comprimido) para mover y hacer funcionar mecanismos, denominados actuadores. Por lo general, el gas utilizado es el aire comprimido, pero para aplicaciones especiales puede usarse el nitrógeno u otros gases inertes. Los procesos consisten en regular la presión de aire y a través de la energía acumulada sobre los elementos del circuito neumático (por ejemplo, los cilindros) efectuar un trabajo útil y así, reducir esfuerzos humanos y aumentar la eficiencia de una forma considerable [6].

De forma general, los componentes principales en un circuito de automatización industrial (neumático/electroneumático) son: (1) la estación de generación y preparación del aire comprimido, formada por un compresor de aire, un depósito, sistema de preparación del aire (filtro, lubricador y regulador de presión); (2) la red de tuberías o mangueras y (3) los actuadores. Como complemento para poder desarrollar un circuito de automatización industrial más completo, se puede añadir el control mediante PLC y el monitoreo a través de interfaces desarrolladas en pantallas HMI [7,8].

La neumática forma parte importante de los procesos de automatización dentro de las empresas, y en un trabajo reciente desarrollado por la UNAM, se concluyó que el empleo puede ser automatizado en un 63% en México, debido a la caída de los precios en los robots, por lo tanto, se requerirá de mano de obra más calificada para estas labores. Las empresas evalúan estrategias en el contrato de personal que domine nuevas tecnologías, teniendo amplias oportunidades las actividades ligadas a la investigación y desarrollo, ingenierías, matemáticas, educación, etc. En este aspecto, es necesario que las universidades sean innovadoras, con la suficiente capacidad de mantener el ritmo de los avances científico-tecnológicos [9].

Una de las modalidades que se ha trabajado con el objetivo de tener una mejor asimilación de conocimientos por parte del alumnado, es la metodología STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, por sus siglas en inglés). Esta incorpora características como interdisciplinar, interesante, experimental, situacional, colaborativa, artística, empírica y mejora tecnológica. Al momento de desarrollar un trabajo basado en STEM los alumnos no solamente aprenden acerca del proceso de diseño en ingeniería y prácticas de ingeniería, si no que profundizan en el entendimiento de las ideas principales y bases de la disciplina [10].

En este sentido, en este trabajo se propone el diseño y construcción mediante impresora 3D de un cilindro neumático de doble efecto que sirva como apoyo en la elaboración de prácticas relacionadas con procesos automatización industrial

basados en sistemas electroneumáticos e interfaces PLC-HMI. Debido a esto, de forma paralela al diseño y construcción del actuador, como resultado del trabajo los estudiantes probarán el funcionamiento del actuador realizando las conexiones necesarias en el banco neumático de la serie TP-200 de FESTO *Didactic*. Además, programarán el PLC S7-300 (CPU 314C-2 PN/DP) de SIEMENS y diseñarán una interfaz en una pantalla HMI KTP-700 de SIEMENS para el control y monitoreo de un método bastante conocido en el mundo de la automatización industrial llamado “método bandera” [7,8]. Por ello, al finalizar el proyecto, los estudiantes, además de conocer el funcionamiento de los actuadores y componentes, desarrollarán competencias y habilidades que les permitan ser capaces de diseñar y construir el actuador ideal que requiera cualquier aplicación, así como la conexión de circuitos electroneumáticos, programación de PLCs y diseño de interfaces en pantallas HMI. De esta manera se contribuirá de manera sustancial en el proceso de enseñanza-aprendizaje basado en el modelo STEM, debido a que el proyecto impactará de forma directa en al menos cinco espacios de formación del Programa Educativo de Ingeniería Mecatrónica de la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, los cuales son: Diseño de Elementos de Máquina, Controladores Lógicos Programables, Circuitos Hidráulicos y Neumáticos, Automatización Industrial y Procesos de Manufactura. El prototipo desarrollado, además de impactar en los conocimientos de varios espacios de formación, busca aligerar la carga de proyectos individuales que llevan a cabo los alumnos, ya que con el proyecto propuesto en este trabajo se podrán evaluar habilidades y desempeños de los cinco espacios antes mencionados.

2. METODOLOGÍA

Los cilindros neumáticos son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o fuerzas prensoras. Su función es la de realizar un movimiento alternativo, subdividido en carrera de avance y carrera de retroceso [7-8]. Los cilindros de simple efecto son los más utilizados, en los cuales el aire comprimido actúa en cualquiera de las dos cámaras, provocando que el émbolo y el vástago del cilindro se desplace en cualquiera de las dos direcciones por efecto del fluido, sin embargo, solo se realiza trabajo en una sola dirección. Para este efecto es necesario que una de las cámaras esté alimentada y la otra funcione como escape. Por su parte, los cilindros de doble efecto son capaces de producir trabajo en los dos sentidos, ya que tiene fuerza activa tanto en el avance como en el retroceso, para lo cual poseen dos tomas de aire comprimido [7,11].

El cilindro que se diseñará en este proyecto será un cilindro de doble efecto basado en el actuador comercial de la marca japonesa SMC cuyo número de serie es: C9KDB32-75 [12]. En este cilindro es necesario que el fluido de trabajo actúe alternativamente en ambos lados del pistón, generando la entrada y salida del vástago. El aire que genera los movimientos del émbolo y del vástago entra por dos tomas de aire que se ubican en la culata posterior y anterior, provocando su entrada y salida, respectivamente. El ejemplo del pistón a diseñar se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Cilindro de doble efecto de SMC tomado como referencia (C95SDB63-70)

Generalmente, los principales materiales de construcción de un cilindro convencional son el acero y el aluminio, o alguna variante, pero debido a la variedad de procesos de manufactura involucrados para la obtención de las piezas, en este proyecto se utilizó la impresión 3D como alternativa para la construcción de algunos componentes (culatas y vástago), hechos de polímeros termoflexibles como el Ácido Poliláctico (PLA) y el Arcilonitrilo Butadieno Estireno) o ABS por sus siglas en inglés. De manera general, la metodología propuesta para este caso se plantea en tres etapas, las cuales se presentan en la Figura 2.

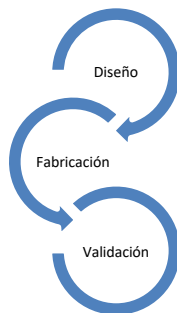


Figura 2. Metodología para el diseño de un actuador neumático con fines educativos.

Del diagrama anterior podemos describir cada etapa como:

1. **Diseño.** Basados en el componente comercial de SMC (C95SDB63-70), se usó un software CAD para el diseño y verificación de la capacidad del actuador.
2. **Fabricación.** Usando métodos de fabricación flexible, como impresión 3D y fabricación CNC se realizó la construcción del actuador.

3. **Validación.** Este punto se verificó a través de un caso de estudio basado en el método bandera para validar el funcionamiento y capacidades del actuador diseñado.

La metodología propuesta está enfocada en un proceso de enseñanza-aprendizaje, con el fin de que los estudiantes tengan un conocimiento profundo, sólido y bien fundamentado de las herramientas utilizadas en diferentes áreas de la ingeniería.

3. DESARROLLO

El desarrollo para la elaboración y validación del cilindro consistió en tres pasos: diseño, fabricación y validación, los cuales se muestran previamente en la Figura 2 y se detallan en las siguientes subsecciones.

3.1. Diseño

Lo primero y más importante que tienen que saber los estudiantes para el diseño y construcción de cualquier componente son sus dimensiones, especificaciones y capacidades. En el caso específico de este trabajo, de para cilindro de doble efecto es primordial conocer el diámetro del émbolo, ya que este determina la fuerza del actuador, es decir, a mayor área del émbolo, (diámetro mayor) mayor será la fuerza que este otorgará al sistema. El diámetro, combinado con la presión de trabajo determina entonces la fuerza a generar por el actuador [7]. Además, algunas características que también deben considerarse al momento de seleccionar o diseñar un actuador son: la carrera, la temperatura de operación, la velocidad de desplazamiento, la carga y el tipo de cojinete.

El siguiente paso consistió en realizar el diseño CAD de las piezas, para lo cual, en este trabajo se utilizó el Software Autocad. Se comenzó con el diseño del vástago y émbolo tomando como base las dimensiones y elementos del cilindro SMC con código comercial C95SDB63-70 siguiendo las generalidades de la norma ISO 21287 [13], la cual especifica las dimensiones básicas, montaje y accesorios necesarios para cilindros compactos, de 20 a 100 mm de diámetro, de un solo vástago, con o sin sensores de carrera a una presión máxima de operación de 1 MPa. El diseño CAD obtenido para el émbolo y vástago montados se muestra en la Figura 3.

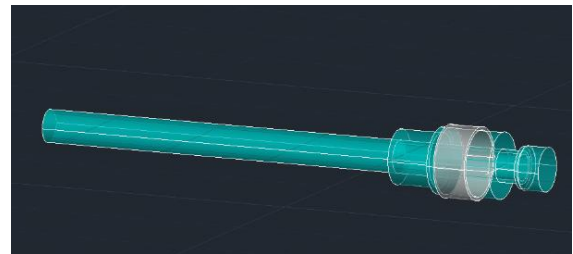


Figura 3. Diseño CAD del émbolo y vástago ensamblados

Para el vástago mostrado en la Figura 3, se consideraron las siguientes dimensiones: una longitud de 214 mm y un diámetro de 12.3 mm. Para el roscado del tipo perfil M métrico ANSI M10x1.25 clase 6g, se asumió una longitud de 23 mm y un

diámetro de 10 mm con un empalme de 0.5 mm. Por otra parte, para el émbolo se consideró una longitud de 30 mm, un diámetro de 32 mm y un empalme de 0.5 mm. Según las especificaciones encontradas en [12], con este diseño se lograría tener una fuerza $F = 225 \text{ N}$, un factor de carga $\eta=0.5$, una presión de operación de 0.6 Mpa (6 bar) y un factor de rozamiento de cero. Además, los cojinetes de amortiguamiento diseñados tienen una longitud de 20 mm y un grosor de 10 mm. A continuación, se realizó el modelado de las culatas tanto trasera como delantera. Para la culata trasera se realizó la estructura cuadrada con redondeos en cada esquina para evitar problemas con el filo de estas, además, se le realizaron 4 diferencias booleanas en las cercanías de los redondeos, las cuales funcionan como espacios para 4 varillas que se introducirán y sujetarán con tuercas M5 con la culata delantera, ya que el cilindro diseñado corresponde a un cilindro atirantado y esas varillas son una de sus principales características.

Finalmente, se realizó la estructura de amortiguación para el émbolo en su parte trasera y su abertura de encaje con el vástago la cual es empujada con aire a presión desde una entrada neumática como se aprecia en la parte superior de la Figura 4.

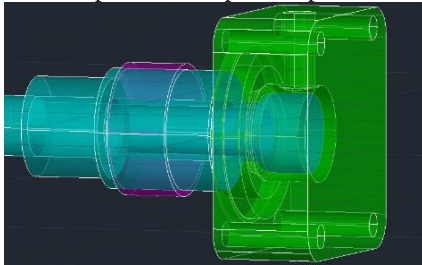


Figura 4. Culata trasera

Para el diseño de la culata delantera, se realizó el mismo procedimiento y características anteriormente descritas para la culata trasera, únicamente con la diferencia de que en su parte superior la culata delantera cuenta con una extensión de salida para el vástago y sin redondeos internos en la estructura como el caso de su contraparte en la sección interna para el deslizamiento del vástago en caso de caída como se aprecia en la Figura 5.

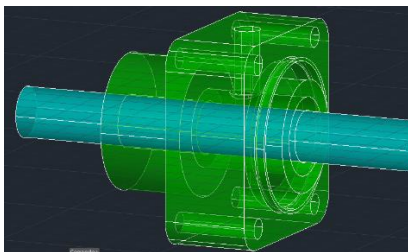
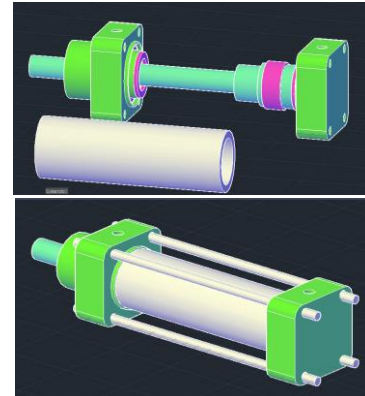


Figura 5. Culata delantera.

Enseguida, se realizó el diseño de la camisa del actuador (cuerpo del cilindro). Esta cubre el vástago y los émbolos, creando un espacio interno que es por donde se estarán moviendo en una

dirección que depende de la entrada y salida del aire. Las medidas consideradas para la camisa fueron: diámetro exterior de 36 mm, diámetro interior de 32 mm y una longitud de 115 mm. Finalmente, se diseñaron los tirantes que dan estabilidad y soporte a las culatas. Consisten en cuatro varillas de 176 mm de largo, diámetro de 5 mm y roscado en cada extremo de 10 mm. El diseño final puede verse en la Figura 6.



3.2. Fabricación.

Contando ya con las especificaciones técnicas del actuador, se procedió *Figura 6. Modelo CAD final del actuador.* con la

fabricación de cada uno de sus elementos. Para esto, se seleccionaron diferentes técnicas de manufactura de acuerdo con las necesidades de cada componente, siendo las elegidas las siguientes:

- Las culatas se fabricaron mediante impresión 3D mediante la técnica de Deposición de Material Fundido, ya que es un proceso económico y que permite fabricar estas piezas de manera rápida y precisa. El material utilizado para estos componentes fue PLA+, el cual muestra buena resistencia a la compresión, que es el principal tipo de esfuerzo que sufren estas piezas. Además, este proceso de manufactura permite reproducir de forma detallada y precisa cada una de las características de la pieza como son los orificios para las conexiones neumáticas y los redondeos necesarios en diferentes partes. La principal desventaja de este proceso es la baja temperatura que puede soportar el material. Para la fabricación se optó por usar un relleno del 75 %, altura de capa de 0.2 mm, temperatura de extrusión de 195 °C y cama a 60 °C.
- El vástago del actuador también fue fabricado mediante impresión 3D, pero a diferencia de las culatas, este fue fabricado con ABS, ya que presenta una mayor resistencia a la tensión que el PLA+. Este material requiere de diferentes parámetros de impresión, los cuales fueron relleno del 50 %, altura de capa de 0.2 mm, temperatura de extrusión de 230 °C y cama a 90 °C. Si bien, este componente puede ser fabricado de manera sencilla mediante otros procesos y con otros materiales como, por ejemplo, torneado con aluminio

6061 o acero 1020, se optó por el ABS con impresión 3D debido a que la aplicación a desarrollar con la cual se validará el funcionamiento de este equipo no requiere de grandes cargas en el vástago, además es más económico y finalmente, permite a los estudiantes conocer otros procesos de fabricación 3D.

- Para fabricar el émbolo se utilizó aluminio 6061 y se dieron las dimensiones adecuadas mediante el proceso de torneado, esto debido a que este componente requiere de una mayor precisión dimensional para lograr un desplazamiento adecuado y así evitar las fugas de aire. De manera similar, la parte interior de la camisa del pistón fue torneada para dar las dimensiones adecuadas.
- Finalmente, para los tirantes se utilizó un espárrago roscado y tuercas disponibles comercialmente.

En la Figura 7 se muestra el cilindro neumático de doble efecto fabricado mediante los procesos de torneado e impresiones 3D, basándose en el diseño CAD descrito anteriormente.



Figura 4. Prototipo final del cilindro de doble efecto fabricado.

3.3. Validación.

Después de tener el actuador diseñado y fabricado, se realizó la validación técnica del prototipo, la cual se llevó a cabo mediante pruebas en el banco neumático para asegurar que el dispositivo cumpliera con los parámetros de diseño especificados. Dado que el cilindro es meramente educativo, únicamente se evaluaron aspectos clave como la fuerza generada por el cilindro y la presión máxima de operación. Por otro lado, el factor de carga y el factor de rozamiento no se validaron ya que el cilindro desarrollado está diseñado para operar sin carga alguna. Los resultados mostraron que para las dimensiones del émbolo diseñado cuya longitud fue de 30 mm, un diámetro de 32 mm y un empalme de 0.5 mm se logró tener una fuerza $F = 210\text{ N}$ con una presión de operación de 0.6 Mpa (6 bar), por lo que el prototipo opera dentro de los rangos esperados, confirmando su utilidad y su capacidad para realizar las tareas para las que fue diseñado. Posteriormente, se realizó la validación práctica del prototipo a través de una prueba de funcionamiento basada en el método bandera. Primero, se procedió a la simulación, y luego con la implementación física completa del sistema. Para ello, los estudiantes primero elaboraron la programación en diagrama de escalera para el sistema utilizando el PLC S7-300 de SIEMENS y diseñaron la interfaz de control y monitoreo en la pantalla HMI KTP-700 de SIEMENS. Para corroborar la correcta programación y diseño de interfaz se utilizó el software PLCsim de SIEMENS y FluidSim de FESTO. Posterior a la simulación,

se implementó todo el sistema realizando las conexiones entre el banco neumático TP-200 de FESTO *Didactic*, el PLC S7-300 y la pantalla HMI KTP-700.

4. RESULTADOS.

Para verificar el funcionamiento del prototipo en el sistema electroneumático de prueba se consideró una secuencia de tres actuadores (cilindros de doble efecto), y además, se pidió a los estudiantes diseñar una interfaz de control y monitoreo para un sistema en el que la secuencia de operación sea la siguiente: A+ B+ B- C+ C- A-. Lo anterior significa que se tiene un sistema donde el cilindro A sale (se extiende), una vez que llega al final, el cilindro B también sale e inmediatamente que llega al final regresa a su posición inicial. Luego, una vez que el cilindro B regresa a su posición inicial, el cilindro C sale y regresa después de llegar a su posición final. Por último, cuando el cilindro C se retrae, y luego hace lo mismo el cilindro A. El diagrama de movimientos resultante se muestra en la Figura 8 [7].

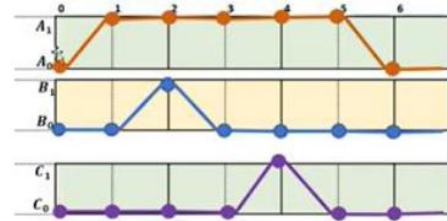


Figura 5. Diagrama de movimientos A+ B+ B- C+ C- A-.

El siguiente paso consistió en elaborar la tabla con el listado de las secuencias de acuerdo con el diagrama de movimientos mostrado en la Figura 8. Una vez que se obtienen las banderas y contactos correspondientes para la secuencia, se procedió a realizar la simulación del circuito. Para esto se utilizó el software FluidSim Neumática de FESTO y PLCsim de SIEMENS. El circuito para la simulación se muestra en la Figura 9.

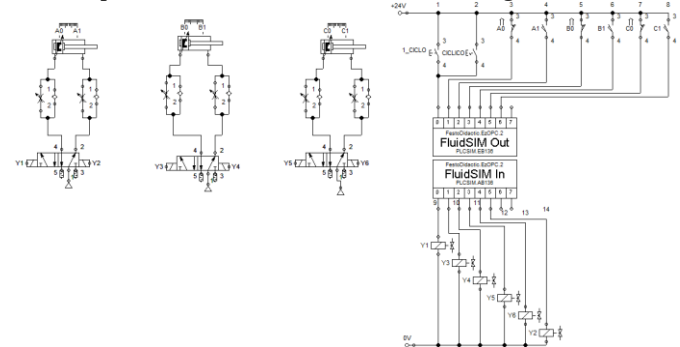


Figura 6. Simulación de circuito electroneumático (método bandera).

Posteriormente, se realizó el diseño de la interfaz que permitiera monitorear y controlar el sistema completo. La interfaz se diseñó utilizando una pantalla HMI KPT-700 de SIEMENS y el resultado final se muestra en la Figura 10.

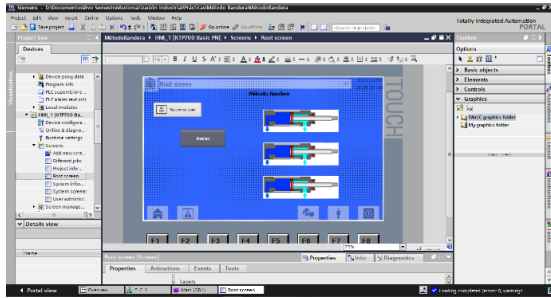


Figura 7. Interfaz de control y monitoreo para la secuencia A+ B+ B- C+ C- A-.

Finalmente, después de validar la secuencia en simulación, se realizó el montaje físico de todos los elementos requeridos para el sistema propuesto. En la Figura 11, se muestra el sistema completo que permite reproducir la secuencia de actuadores dada por A+ B+ B- C+ C- A-, donde el cilindro construido por los estudiantes (cilindro C) se encuentra funcionando en el banco neumático, en el circuito de método bandera descrito anteriormente.



Figura 8. Cilindro neumático funcionando en el banco neumático.

Cabe resaltar que este proyecto se desarrolla de manera anual desde 2021 y se ha venido evaluando mediante una rúbrica que permite medir el desarrollo de las competencias y desempeños de los estudiantes. Por motivos de espacio, en este trabajo no se muestra la rúbrica, sin embargo, se puede mencionar que los resultados obtenidos a través de esta han sido satisfactorios. Como resultado del trabajo realizado a lo largo de este proyecto, es posible destacar que el proyecto desarrollado por los estudiantes está alineado con el objetivo general de la materia de Automatización Industrial en el plan de estudios del Programa Educativo de Ingeniería Mecatrónica de la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media (UAMZM) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, el cual menciona textualmente: "Conocer los conceptos, procedimientos, métodos de automatización y el desarrollo de eventos relacionados con los procesos industriales".

De este modo, se puede evidenciar la operación del enfoque interdisciplinario STEM, debido a que el proyecto se aborda de manera integral, ya que se obtiene un aprendizaje basado en problemas, alcanzando el propósito de desarrollar un prototipo funcional, integrando ciencia, tecnología, ingeniería y

matemáticas, resultando en un aprendizaje estructurado que abarca distintas disciplinas en el que se da importancia a los conocimientos transferidos entre los diferentes espacios de formación.

5. CONCLUSIONES.

En este trabajo se presenta el diseño y desarrollo de un prototipo funcional de un cilindro neumático de doble efecto. Además, se desarrolló una interfaz en una pantalla HMI para el monitoreo y control del sistema electroneumático de prueba y validación. La metodología empleada se basa en el modelo STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), con el objetivo de aumentar el interés y la motivación de los estudiantes, al mismo tiempo que se fortalecen sus conocimientos teóricos y prácticos. Este proyecto está diseñado para reforzar las habilidades y competencias en espacios de formación relacionados con la automatización industrial. Por esta razón, este proyecto abarca múltiples disciplinas, ya que para su correcto desarrollo el estudiante debe tener conocimientos en espacios de formación como diseño de elementos de máquina, controladores lógicos programables, procesos de manufactura, circuitos hidráulicos y neumáticos y automatización industrial. La materia de automatización industrial es el espacio donde se desarrolla el presente proyecto, y se imparte en el octavo semestre del programa de Ingeniería Mecatrónica en la UAMZM de la UASLP, y ha utilizado este proyecto como parte de su evaluación desde 2021. Además de su función evaluativa, el resultado del proyecto final también puede servir como material de apoyo promocional para el programa educativo, ayudando a atraer a futuros estudiantes para incrementar la matrícula en la región media del estado de San Luis Potosí.

6. REFERENCIAS.

- [1] S.M. Coello, T. Vaca, J. Hidalgo, D. Díaz, El modelo STEM como recurso metodológico didáctico para construir el conocimiento científico crítico de estudiantes de Física, Lat. Am. J. Phys. Educ, Vol. 12, june 2018, pp. 2306-1 – 2306-8.
- [2] N. H. Noordin, K. K. B. H. Abdullah, and P. S. Eu, "Assessing the Effectiveness of UMP STEM Cube as a Tool for Developing Digital Making Skill Sets," IEEE Transactions on Education, April 2024, pp. 1-11.
- [3] M. Z. Zamir, M. I. Abid, M. R. Fazal, M. A. A. R. Qazi and M. Kamran, "Switching to Outcome-Based Education (OBE) System, a Paradigm Shift in Engineering Education," IEEE Transactions on Education, vol. 65, no. 4, Nov. 2022, pp. 695-702,
- [4] A. del Razo-Hernández, Sistemas Neumáticos e Hidráulicos: Apuntes de Teoría, México D.F., Ed. U.P.I.I.C.S.A, 2001, p.p. 1-25.
- [5] D. Gergely, Integration of robotics into education., Acta Academiae Nyiregyhaziensis, vol. 7, 2022, pp. 250-255.
- [6] W. Deppert, K. Stoll, Dispositivos neumáticos: Introducción y Fundamentos, Barcelona-México, Ed. Marcombo, Boixareu Editores, 1991, pp. 188.
- [7] SMC International Training, Neumática, Barcelona-España, Ed. Thomson-Parainfo, 2002, pp. 225.
- [8] FESTO Didáctica, Catálogos FESTO Didáctica 2022, FESTO [en línea], disponible: <https://www.festo-didactic.com/es-es/>, sitio visitado el 16 de julio de 2024.
- [9] E. Graue, J. Martuscelli, C. Martínez, Educación superior, el futuro del trabajo y la automatización, Universidades, vol. 81, ene 2019, pp. 65-76.

- [10] R.C. Martínez-Montejano, J.J. Jaime-Rodríguez, G. González-Badillo, G. Guerrero-Mora, V.E. Espinoza-López, Modelo STEM para la enseñanza de robótica. Pistas Educativas, vol. 141, mayo 2022, pp. 1-16.
- [11] P. Kyratsis, N. Sapidis, D. Tzetzis, Pneumatic cylinder design using cas-based programming. Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 16, No. 2, 2018, pp. 107-113.
- [12] SMC México, Catálogos SMC 2024, SMC [en línea], disponible: <https://smc.com.mx/catalogos-mx/>, sitio visitado el 16 de julio de 2024.
- [13] International Organization for Standardization, 2004. Pneumatic fluid power Cylinders, Compact cylinders, 1 000 kPa (10 bar), series, bores from 20 mm to 100 mm. ISO 21287.