

Entrenador Didáctico Electroneumático

Carlos Turcios, Diego Cano, Felix Rodriguez,
Dolores Hernandez, Eduar Lopez, Elvin Argueta,

Joel Banegas, Josue Trochez
Universidad Tecnológica de Honduras,
cbturcios@uth.hn

Resumen—Este proyecto consiste diseñar y construir un entrenador didáctico electroneumático modular para que estudiantes y usuarios principiantes realicen conexiones rápidas, ensayen secuencias y comparen el comportamiento de componentes empleados en automatización industrial. El equipo se dividió en una sección de control eléctrico-neumático y una sección de actuadores. La primera integra protección de 120 V CA, alimentación de 24 V CC y 24 V CA, catorce relés de 24 V CC, un bloque de catorce electroválvulas monoestables 3/2 de 24 V CA y conectores tipo banana. La segunda incorpora preparación y distribución de aire, cilindros de doble efecto, actuadores rotativos, pinzas y sensores capacitivos NPN, inductivos PNP y magnéticos de dos y tres hilos. La metodología correspondió a una investigación aplicada, descriptiva y de desarrollo tecnológico, organizada en medición, corte, protección anticorrosiva, diseño de soportes, montaje, cableado y pruebas

Palabras clave actuadores neumáticos, automatización industrial, electroneumática, entrenador didáctico, sensores capacitivos, sensores inductivos, sensores magnéticos, NPN, PNP.

I. INTRODUCCIÓN

La neumática es una tecnología de potencia y control que utiliza aire comprimido para transmitir energía y producir movimiento. En una instalación típica, el aire es generado externamente, acondicionado mediante filtrado y regulación, distribuido por tuberías y dirigido por válvulas hacia actuadores lineales o rotativos. Su empleo industrial se relaciona con operaciones de sujeción, empuje, transferencia, clasificación, giro y manipulación, debido a la rapidez de respuesta, limpieza del medio y relativa sencillez de los componentes.

La electroneumática incorpora señales y dispositivos eléctricos al mando de los circuitos neumáticos. Relés, sensores, temporizadores y controladores procesan condiciones de entrada y energizan solenoides que modifican la posición de las válvulas. De esta manera, una acción mecánica puede depender de una secuencia lógica, de la posición de un cilindro o de la presencia de un objeto.

La comprensión teórica no sustituye la experiencia de conectar dispositivos reales. En electroneumática, errores como confundir el común de alimentación, invertir la polaridad de un sensor, seleccionar una salida NPN para una entrada incompatible o activar simultáneamente dos válvulas asociadas a un mismo actuador pueden impedir el funcionamiento y aumentar el riesgo. Por ello, los entrenadores didácticos permiten observar la relación entre entrada, lógica, señal eléctrica, conmutación neumática y movimiento físico, sin depender de una máquina de producción.

La literatura sobre medios didácticos de automatización señala que un entrenador físico debe ser funcional, práctico, comprensible y seguro. Risfendra et al. (2019) desarrollaron un equipo electroneumático para apoyar el aprendizaje de

PLC y neumática y reportaron valoraciones altas de validez y practicidad. Ese antecedente respalda la utilidad de llevar componentes industriales al laboratorio; no obstante, cada prototipo debe validarse con sus propios usuarios y condiciones, sin trasladar automáticamente resultados de otros estudios.

En este contexto se construyó un entrenador didáctico electroneumático dividido en dos secciones y unido mediante conexiones tipo banana. El sistema busca que personas en etapa de aprendizaje puedan realizar montajes, comparar distintos actuadores, identificar sensores capacitivos, inductivos y magnéticos, comprender las salidas NPN y PNP, y desarrollar secuencias combinando relés, electroválvulas y, cuando corresponda, otros módulos de control como un PLC LOGO.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aprendizaje inicial de sistemas neumáticos y electroneumáticos suele fragmentarse entre teoría, simulación y prácticas limitadas. Cuando los componentes no están organizados en una estación común, el estudiante invierte tiempo en localizar fuentes, válvulas, sensores, mangueras y terminales; además, puede requerir cortar conductores, colocar terminales o improvisar soportes. Estas condiciones dificultan repetir los ejercicios y hacen menos evidente la relación entre el diagrama y el comportamiento físico.

También existe una dificultad específica en el uso de sensores industriales. Un sensor inductivo responde principalmente a blancos metálicos; uno capacitivo puede detectar materiales metálicos y no metálicos; y un sensor magnético instalado en un cilindro identifica la posición del émbolo mediante el campo del imán interno. A lo anterior se suma la diferencia entre salidas NPN y PNP, cuyo cableado determina la forma en que la carga o la entrada recibe la señal. Para un principiante, estas diferencias pueden provocar conexiones erróneas y diagnósticos incorrectos.

La necesidad identificada fue disponer de un equipo modular, visible y reutilizable que permitiera construir circuitos sin modificar permanentemente el cableado, integrar diferentes tecnologías de sensado y accionar varios tipos de actuadores. La pregunta de investigación fue: ¿cómo diseñar y construir un entrenador didáctico electroneumático que facilite prácticas de conexión, secuenciación y diagnóstico con relés, electroválvulas, actuadores y sensores industriales, y que permita una evaluación funcional y económica preliminar?

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar, construir y validar preliminarmente un entrenador didáctico electroneumático modular para realizar conexiones rápidas, ensayar secuencias de movimiento y familiarizar a los usuarios con actuadores,

válvulas, relés y sensores industriales NPN, PNP y de dos hilos.

B. *Objetivos específicos*

- Integrar en una misma estación la alimentación eléctrica, las protecciones, los relés, las electroválvulas y los puntos de conexión necesarios para prácticas de control.
- Incorporar actuadores lineales, rotativos y de agarre, junto con preparación y distribución de aire, para observar diferentes respuestas mecánicas.
- Permitir prácticas con sensores capacitivos, inductivos y magnéticos, diferenciando tecnologías de dos y tres hilos y salidas NPN y PNP.
- Facilitar el desarrollo de secuencias mediante relés y la interconexión con otros entrenadores o controladores, como módulos de contactos auxiliares o PLC LOGO.
- Verificar preliminarmente la integración física, funcional y económica del prototipo mediante inspecciones, pruebas básicas y análisis de costos, ROI y PRI.

IV. MARCO TEORICO

A. *Neumática y preparación del aire*

Un sistema neumático transforma la energía del aire comprimido en fuerza y movimiento. La cadena funcional comprende suministro, cierre o aislamiento, preparación, distribución, regulación del caudal, control direccional y actuación. La unidad de mantenimiento contribuye a retener contaminantes y ajustar la presión de trabajo; el bloque distribuidor reparte el aire a varios circuitos. La norma ISO 4414:2010 establece reglas generales y requisitos de seguridad para sistemas neumáticos, incluyendo diseño, construcción, instalación, ajuste, operación confiable, mantenimiento y eficiencia (International Organization for Standardization, 2010).

B. *Electroneumática, relés y electroválvulas*

En electroneumática, la señal eléctrica gobierna el paso del aire. Un relé permite que una señal de control de 24 V CC accione contactos aislados que energizan otra carga, en este caso bobinas de electroválvulas de 24 V CA. El entrenador dispone de catorce relés normalmente abiertos y un bloque de catorce válvulas monoestables de tres vías y dos posiciones.

Los cilindros de doble efecto pueden controlarse con válvulas apropiadas o con pares de válvulas 3/2, una para cada cámara. Cuando se usan dos salidas independientes, la lógica debe impedir órdenes incompatibles simultáneas. Los enclavamientos eléctricos o de programación son esenciales para evitar presurizaciones opuestas y comportamientos no deseados.

C. *Actuadores neumáticos*

Los cilindros de doble efecto producen desplazamiento lineal en avance y retroceso mediante aire alternado en sus dos cámaras. Los actuadores rotativos convierten la energía neumática en movimiento angular limitado; las pinzas transforman el desplazamiento interno en apertura y cierre para sujetar piezas. La presencia de actuadores de tamaños y geometrías distintas permite comparar recorrido, velocidad aparente, forma de montaje y aplicación.

D. *Sensores inductivos, capacitivos y magnéticos*

Los sensores inductivos generan un campo electromagnético y detectan la perturbación producida por un objeto metálico. Su operación sin contacto reduce desgaste y permite aplicaciones de presencia, conteo y control de posición (ifm electronic, s. f.-a). Los sensores capacitivos reaccionan a cambios de capacitancia en su zona de detección y pueden identificar sólidos o líquidos, incluso materiales no metálicos, dependiendo de su constante dieléctrica y del ajuste de sensibilidad (ifm electronic, s. f.-b).

Los sensores magnéticos para cilindro detectan el campo del imán incorporado en el émbolo y proporcionan retroalimentación binaria de posición. Festo señala que estos sensores pueden usar tecnología electrónica o contacto reed y entregar señales normalizadas de 24 V al detectar el imán del pistón (Festo, s. f.). En el entrenador se incluyen sensores magnéticos de dos hilos y sensores PNP de tres hilos, lo que permite comparar formas de conexión.

E. *Salidas NPN y PNP*

En una salida NPN de colector abierto, la carga se conecta normalmente entre el positivo de la fuente y la salida del sensor; al activarse, el sensor conduce hacia el negativo. En una salida PNP, la carga se conecta entre la salida y el negativo; al activarse, el sensor entrega potencial positivo. OMRON describe esta diferencia como la ubicación de la carga con respecto al terminal de salida y la alimentación (OMRON Corporation, 2026). La práctica debe verificar que el tipo de salida sea compatible con la entrada, el relé o el controlador utilizado.

F. *Seguridad eléctrica y neumática*

La estación combina 120 V CA, 24 V CA, 24 V CC y aire comprimido. Por ello, la separación de niveles, la protección contra sobrecorriente, la identificación de conductores, la puesta fuera de energía antes de modificar conexiones y la descarga de presión antes de intervenir mangueras son requisitos básicos. IEC 60204-1:2016+A1:2021 aborda los requisitos generales del equipo eléctrico de máquinas, desde el punto de conexión de la alimentación, e incluye aspectos de protección, circuitos de control, parada de emergencia y documentación técnica (International Electrotechnical Commission, 2021).

V. METODOLOGIA

A. *Enfoque y diseño del estudio*

El trabajo se desarrolló como una investigación aplicada, descriptiva y de desarrollo tecnológico, con validación experimental preliminar. La unidad de análisis fue el entrenador didáctico electroneumático construido. No se dispuso de una muestra formal de estudiantes ni de una base de datos de ciclos, por lo que los resultados se limitan a la integración documentada, la evidencia fotográfica, el inventario y el protocolo de pruebas propuesto.

B. *Arquitectura del entrenador*

La arquitectura se organizó en cuatro niveles: alimentación y protección; control eléctrico; conversión electroneumática; y actuación-sensado. La sección izquierda concentra breakers, fuentes, borneras, relés y electroválvulas. La sección derecha contiene la preparación del aire, tuberías, reguladores de flujo, actuadores y

sensores. Los conectores tipo banana enlazan módulos sin modificar de forma permanente el cableado.



Fig. 1: Vista general del entrenador didáctico electroneumático construido

C. Proceso de fabricación e integración

- Medición de las láminas y definición de la distribución de componentes.
- Corte de las láminas y aplicación de pintura anticorrosiva.
- Diseño y fabricación de bases para sensores y actuadores.
- Colocación de soportes, riel DIN, componentes eléctricos y neumáticos.
- Cableado de alimentaciones, protecciones, relés, electroválvulas y conectores banana.
- Instalación de mangueras, distribuidores, reguladores de flujo y silenciadores.
- Pruebas de continuidad, energización controlada, detección de fugas, activación de válvulas, movimiento de actuadores y respuesta de sensores.

D. Protocolo preliminar de prueba

La comprobación funcional se estructuró en inspección visual; verificación de apriete y aislamiento; medición de 24 V CC y 24 V CA; ensayo individual de cada relé; accionamiento de cada electroválvula; revisión de fugas con el circuito presurizado; ajuste de caudal; avance y retroceso de cilindros; apertura y cierre de pinzas; giro de actuadores rotativos; y activación de sensores mediante blancos adecuados. Para NPN y PNP se requiere documentar polaridad, común, estado lógico y compatibilidad con la carga.

VI. DESARROLLO

A. Sección de control eléctrico y neumático

La alimentación de 120 V CA se conduce a través de protección y energiza una fuente de 24 V CC y un transformador de 24 V CA. Las salidas cuentan con protección individual. Los catorce relés de bobina de 24 V CC funcionan como interfaz entre señales de mando de corriente directa y las bobinas de 24 V CA del bloque de electroválvulas.

B. Panel neumático y actuadores

El aire proveniente de un compresor externo ingresa por una válvula de paso y atraviesa la unidad de mantenimiento. Luego se distribuye hacia el bloque de válvulas y los actuadores. Los reguladores de flujo permiten variar la velocidad y los silenciadores reducen el ruido de escape. La combinación de cilindros de doble efecto, actuadores de giro de 180 grados y pinzas ofrece ejercicios de empuje, retorno, rotación y agarre.

C. Diagnóstico didáctico

El tablero permite introducir fallas controladas, como desconexión de común, manguera invertida, regulador cerrado, sensor mal alineado o tipo de salida incompatible. El usuario puede seguir la cadena causa-efecto: señal de entrada, estado del relé, tensión en la bobina, conmutación de la válvula, circulación del aire y movimiento del actuador. Esta observación facilita el razonamiento de diagnóstico más allá de memorizar símbolos.

VII. RESULTADOS

Tabla 1. Componentes principales y función didáctica.

Elemento	Cantidad	Función
Relés NA, bobina 24 V CC	14	Lógica por contactos e interfaz de mando
Electroválvulas monoestables, 24 V CA	3/2	Conversión de señal eléctrica en control de aire
Sensores capacitivos NPN, 3 hilos	2	Detección de materiales y práctica NPN
Sensores inductivos PNP, 3 hilos	2	Detección de objetos metálicos y práctica PNP
Sensores magnéticos PNP, 3 hilos	2	Realimentación de posición de cilindros
Sensores magnéticos, 2 hilos	6	Comparación de cableado y detección de fin de carrera
Cilindros, actuadores rotativos y pinzas	7	Movimientos lineales, angulares y de agarre
Conectores banana de 4 mm	130	Conexiones rápidas y reutilizables

La arquitectura física observada corresponde con la descripción del proyecto: un panel de control y electroválvulas, un módulo central de entradas y un panel neumático. La presencia de conexiones banana, relés, mangueras y distintos actuadores confirma la capacidad de reconfiguración. Sin embargo, no se entregó un registro de número de ciclos, presión de ensayo, tiempos de respuesta, porcentaje de activaciones correctas ni evaluación de usuarios; por tanto, la validación se clasifica como preliminar.

COSTOS

Costo de Inversión Total				Ganancia			
Costo total = Materiales + Mano de Obra				Ganancia = Costo total * 25%			
Costo total	L	76,291.73	L	8,200.00	Ganancia	L	84,491.73
Costo total			L	84,491.73	Ganancia		L
							L
							L

Precio Venta de Maquinaria				ROI			
Venta = Costo Total + Costo Ganancia				ROI = Beneficio Neto / Inversión * 100			
Ganancia	L	84,491.73	L	21,122.93	ROI	L	21,122.93
Ganancia			L	105,614.66	ROI		L
							L
							L

PRI	
PRI = Inversión / Ganancia	
PRI	L 84,491.73 L 21,122.93
PRI	4.00

Resultado final	
Indicador	Resultado
Inversión total	L 84,491.73
Ganancia 25 %	L 21,122.93
Beneficio total	L 105,614.66
ROI	25%
PRI	4.00 años
PRI en meses	48 meses

E. *Análisis financiero*

Para realizar la evaluación financiera del entrenador didáctico electroneumático se consideró un costo total de materiales de L 76,291.73. Debido a que la construcción del proyecto requirió actividades de medición, corte de láminas, aplicación de pintura anticorrosiva, fabricación de bases, montaje de componentes, cableado eléctrico y neumático, además de pruebas de funcionamiento, se estimó un costo de mano de obra equivalente al 10.7% del valor de los materiales.

El costo estimado de mano de obra fue de L 8,200, por lo que la inversión total del proyecto alcanzó un valor de L 84,491.73. Sobre esta inversión se estableció un margen de ganancia del 25%, equivalente a L 21,122.93. Al sumar la inversión y la utilidad esperada, se obtuvo un beneficio total estimado de L 105,614.66.

El retorno sobre la inversión se calculó dividiendo la ganancia neta entre la inversión total y multiplicando el resultado por cien. El cálculo produjo un ROI de 25 %, lo que indica que el proyecto permitiría recuperar el capital invertido y generar una utilidad adicional equivalente al 25% de la inversión.

El periodo de recuperación se calculó dividiendo la inversión total de L 84,491.73 entre el beneficio anual estimado de L 105,614.66. El resultado fue de 4.0 años, equivalente a aproximadamente 48 meses. Por tanto, bajo las condiciones planteadas, la inversión podría recuperarse en un periodo 4 años.

VIII. DISCUSION

La principal fortaleza del entrenador es la integración de varias capas de automatización en una plataforma visible. El usuario no observa únicamente el movimiento final, sino que puede seguir el recorrido desde una entrada manual o un sensor hasta el relé, la bobina de la electroválvula y el actuador. Esta trazabilidad es apropiada para la formación inicial porque relaciona símbolos, cableado, presión y movimiento físico.

La variedad de sensores amplía el alcance del equipo. Los sensores capacitivos NPN y los inductivos PNP obligan a diferenciar tanto el principio de detección como la forma de conmutación eléctrica. Los sensores magnéticos de dos y tres hilos permiten estudiar realimentación de posición y comparar tecnologías de conexión. Esta diversidad es más formativa que un tablero limitado a un único tipo de sensor.

El uso de conectores banana reduce el tiempo de preparación y evita cortar cables en cada práctica. No obstante, la rapidez de conexión debe acompañarse de rotulación inequívoca de tensión, común, entrada, salida y tipo de sensor. También conviene usar códigos de color coherentes y proteger contra la posibilidad de unir 24 V CC con 24 V CA o con 120 V CA.

Desde el punto de vista neumático, la existencia de varios actuadores permite secuencias representativas de la industria. Sin embargo, el bloque de válvulas 3/2 exige una guía clara cuando se controla un cilindro de doble efecto con dos válvulas. La lógica debe garantizar que no se energicen órdenes opuestas al mismo tiempo. Además, los ejercicios deben iniciar con caudal reducido y presión regulada dentro de las especificaciones del fabricante.

IX. CONCLUSIONES

La investigación partió de la necesidad de convertir los fundamentos de neumática y electroneumática en experiencias prácticas de conexión, observación y diagnóstico. El entrenador construido responde a esa necesidad al reunir alimentación, protección, relés, electroválvulas, preparación de aire, actuadores y sensores en una plataforma modular que representa la cadena funcional utilizada en automatización industrial.

La división en una sección de control y otra de actuadores facilita identificar el flujo de señales y energía. Los conectores banana permiten reconfigurar los circuitos sin cortar conductores, mientras los catorce relés y las catorce electroválvulas ofrecen suficiente capacidad para prácticas de mando directo, autorretención, enclavamiento y secuencias con uno o varios actuadores.

La incorporación de sensores capacitivos NPN, inductivos PNP y magnéticos de dos y tres hilos permite que los usuarios comparen principios de detección y formas de salida. Esta característica fortalece el objetivo formativo de familiarizar a los estudiantes con dispositivos que se encuentran en procesos industriales y con problemas reales de compatibilidad y cableado.

La evaluación financiera del entrenador didáctico electroneumático demuestra que el proyecto es económicamente viable y presenta una rentabilidad favorable. Con una inversión total de L 84,491.73 y un margen de ganancia del 25%, se estima un beneficio de L 105,614.66, lo que permite obtener un retorno sobre la inversión (ROI) del 25%. Además, el periodo de recuperación de aproximadamente 4 años evidencia que el capital invertido puede recuperarse en un tiempo relativamente prolongado, convirtiendo al proyecto en una alternativa atractiva tanto desde el punto de vista técnico como financiero.

X. RECOMENDACIONES

- Realizar un boceto digital que funcione como guía al momento de montar el entrenador.
- Colocar las diferentes fuentes de alimentación con una separación una de la otra para evitar confusiones en las conexiones por parte de los usuarios.
- Rotular correctamente todos los componentes del entrenador para facilitar su uso y evitar malos funcionamientos.
- Incorporar interruptores o breakers que permitan desenergizar el sistema completo en caso de un error.
- Elaborar diagramas de conexión eléctrica y neumática previo al montaje físico en el entrenador.
- Comprobar los sensores con materiales de prueba definidos, medir distancia de conmutación y documentar el cableado correcto para NPN, PNP, dos hilos y tres hilos.

REFERENCIAS

- [1] Festo Didactic. (2026). Didactic industrial workforce development: Training and consulting course booklet 2026. https://www.festo.com/media/cms/media/mam_upload/A5_Festo_Didactic_Taining-and-consulting_Course_Booklet_2026.pdf
- [2] ifm electronic. (s. f.-a). Introduction to inductive sensors. https://www.ifm.com/za/en/category/200_010_010
- [3] ifm electronic. (s. f.-b). Capacitive sensors: Technology overview.

<https://www.ifm.com/de/en/shared/technologies/kapazitiv/technologie-kapazitiv>

- [4] International Electrotechnical Commission. (2021). IEC 60204-1:2016+A1:2021, Safety of machinery—Electrical equipment of machines—Part 1: General requirements. IEC.
- [5] International Organization for Standardization. (2010). ISO 4414:2010, Pneumatic fluid power—General rules and safety requirements for systems and their components. ISO.
- [6] L. Bosch y N. Gallés, “The role of prosody in infants’ native-language discrimination abilities: the case of two phonologically close languages”, en *Proc. of the 5th European Conference on Speech Communication and Technology*, vol. 1, pp. 231-234, 1997.
- [7] OMRON Corporation. (2026). What is the difference of NPN transistor output and PNP transistor output of the sensor?
<https://www.ia.omron.com/support/faq/answer/43/faq00379/index.html>
- [8] Risfendra, R., Candra, O., Syamsuarnis, S., & Firman, F. (2019). Teaching aid development of electropneumatic based automation course. In *Proceedings of the 5th UPI International Conference on Technical and Vocational Education and Training (ICTVET 2018)* (pp. 214–217). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/ictvet-18.2019.48>