

Automatización de una Unidad Funcional para Manipulación de Piezas en la Bancada SPCS

Maggiolo Omar Federico ^{a*}, Vinícius Vígolo ^b, Víctor Juliano de Negri ^c, Yesid Assaf Mendoza ^d

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b LASHIP, Laboratorio de Sistemas Hidráulicos y Neumáticos, Trindade, Florianópolis – SC

^c LASHIP, Laboratorio de Sistemas Hidráulicos y Neumáticos, Trindade, Florianópolis – SC

^d Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Trindade, Florianópolis - SC.

e-mails: federico.maggiolo@fio.unam.edu.ar, vinicius.vigolo@laship.ufsc.br, victor.de.negri@ufsc.br, yesid.a@ufsc.br

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema automatizado de manipulación de piezas, compuesto por las Estaciones 3 y 4 de la bancada didáctica SPCS, instalada en el Laboratorio de Sistemas Hidráulicos y Neumáticos (LASHIP) de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC). El objetivo fue modelar, implementar y validar una unidad funcional neumática capaz de realizar la elevación, el transporte y la liberación de una pieza de forma totalmente automática, simulando una etapa de un proceso logístico de carga. El sistema combina componentes neumáticos, sensores de posición, una ventosa con vacuostato, puertas automáticas y controlador lógico programable (PLC). Se aplicaron técnicas de modelado mediante redes Canal/Agencia, verificación matemática estructural mediante matrices K_{pre} y K_{post} , y control lógico utilizando GRAFCET y diagrama Ladder. La operación fue secuenciada a través del método paso a paso, con uso de memorias internas y señales digitales. Los resultados demostraron la viabilidad de integrar modelado formal, simulación neumática y control lógico en un sistema robusto y funcional. La arquitectura modular permite su replicación y adaptación didáctica en contextos de enseñanza de automatización industrial.

Palabras Clave – Automatización, Bancada SPCS, Unidad funcional, PLC, GRAFCET, Lógica Ladder, Red Canal/Agencia, Ventosa.

1 Introducción

En el contexto actual de la industria 4.0, la automatización de procesos se ha convertido en un pilar fundamental para aumentar la eficiencia, reducir errores y garantizar la seguridad operativa en entornos productivos. Entre las distintas tecnologías utilizadas, los sistemas neumáticos siguen siendo ampliamente adoptados por su bajo costo, facilidad de implementación y respuesta rápida, especialmente en tareas de manipulación de piezas y logística interna.

En el ámbito académico, los entornos de enseñanza que permiten la experimentación práctica con tecnologías de automatización contribuyen significativamente a la formación de futuros profesionales. En este sentido, la bancada didáctica SPCS (System for Pneumatic Circuit Sizing), Figura 1, instalada en el Laboratorio de Sistemas Hidráulicos y Neumáticos (LASHIP) de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), constituye una plataforma completa para el aprendizaje de automatización neumática integrada con electrónica y programación.

La SPCS está compuesta por cuatro estaciones de trabajo bien definidas, identificadas por colores en sus componentes y mangueras de conexión. Estas estaciones pueden operar en modo individual o simultáneo, permitiendo que hasta cuatro grupos de estudiantes trabajen de forma paralela. La bancada está orientada a fomentar el uso de metodologías adecuadas de dimensionamiento de

válvulas y actuadores, así como a evidenciar las consecuencias de diseños incorrectos. También permite abordar de forma integrada la automatización de procesos y la programación en controladores lógicos programables (PLC) basado en [1].

En este trabajo se presenta el diseño, modelado y control de una unidad funcional automatizada, compuesta por las Estaciones 3 y 4 de dicha bancada, con el objetivo de simular un proceso de manipulación y liberación de piezas. La aplicación reproduce una etapa común del flujo logístico industrial, como el transporte de pallets livianos, utilizando ventosas de vacío, sensores de proximidad, cilindros neumáticos y un sistema de control lógico programable.

Como contribución principal, se integran metodologías modernas como el modelado funcional mediante Red Canal/Agencia (C/A), la representación secuencial a través de GRAFCET y la implementación lógica por medio de diagrama Ladder. Esta combinación permite validar el funcionamiento del sistema, y al mismo tiempo, generar un modelo pedagógico replicable para fines didácticos y de investigación en ingeniería mecatrónica.

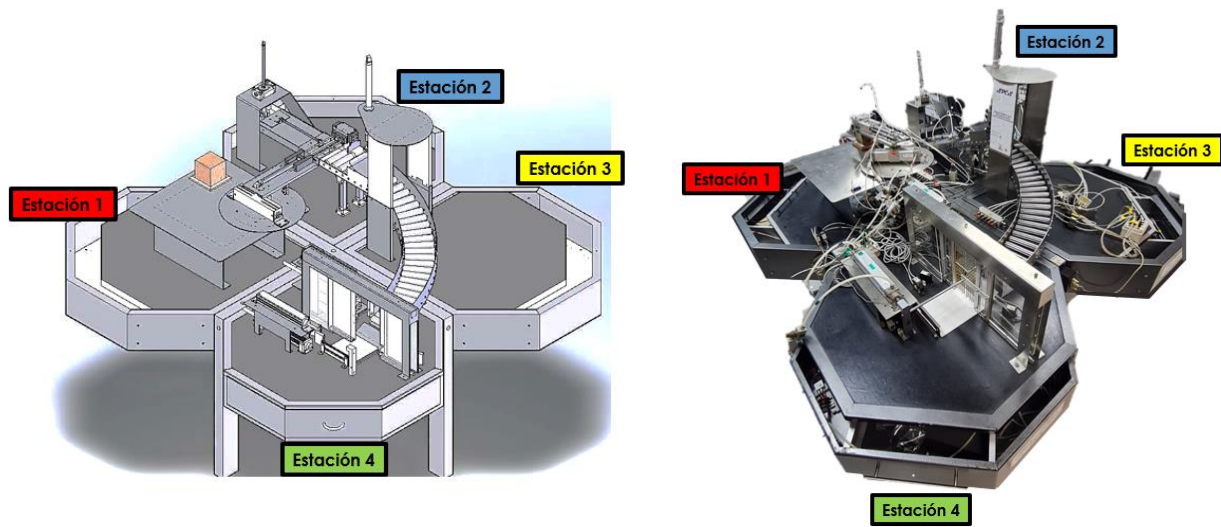


Figura 1. Bancada SPCS. Fuente: Elaboración propia.

2 Diseño, Modelado y Control de la Unidad Automatizada

2.1 Descripción del Sistema Automatizado

El sistema desarrollado está compuesto por las Estaciones 3 y 4 de la bancada SPCS, ver Figura 2, configuradas para realizar la captura, el transporte y la liberación de una pieza mediante un proceso totalmente automatizado.

El ciclo operativo inicia con el accionamiento del botón de inicio (3S8). En el estado inicial (Paso 0), todos los actuadores se encuentran en posición de reposo: la ventosa está desactivada, el cilindro vertical 3A1 está retraído, el cilindro 4A1 (puerta derecha) está retraído y el cilindro 4A2 (puerta izquierda) está avanzado. Esta configuración inicial garantiza el cierre de ambas puertas neumáticas.

Una vez activado el sistema, se ejecutan en paralelo las siguientes acciones: el cilindro 3A1 avanza con la ventosa activada para realizar la captura de la pieza, mientras que los cilindros 4A1 y 4A2 se mueven para abrir las puertas. La sujeción efectiva se confirma mediante un vacuostato (3S4). A continuación, el cilindro 3A1 se retrae llevando la pieza hasta una posición superior. Allí se desactiva la ventosa, liberando la pieza que desciende por gravedad por la rampa y pasa a través de la puerta abierta. Imágenes de la Estación 3 se observan Figura 2.

La detección de la pieza del otro lado de la puerta, a través del sensor 4S6, desencadena automáticamente el cierre de ambas puertas, retornando los cilindros a sus posiciones iniciales y completando el ciclo. La arquitectura contempla además un botón de emergencia (2S8) que reinicia localmente el sistema ante fallas o bloqueos del ciclo.



Figura 2. Estación 3 de la bancada SPCS. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Estación 4 de la bancada SPCS. Fuente: Elaboración propia.

2.2 Modelado mediante Red Canal/Agencia

Con el objetivo de representar formalmente la estructura funcional del sistema, se adoptó el modelo de Red Canal/Agencia (C/A), una herramienta gráfica que permite describir de manera estructurada el flujo de recursos (energía, materia e información) entre los distintos componentes de un sistema automatizado como se explica en [2].

En este enfoque, las agencias representan entidades activas (como sensores, actuadores, o unidades de control) que realizan operaciones sobre los recursos, mientras que los canales son conexiones que permiten el transporte de dichos recursos. La clasificación de los recursos en Energía (E), Información (I) y Materia (M) permite mapear de forma clara la naturaleza de cada flujo.

Para el sistema propuesto, se construyó la red en dos niveles. En el nivel 0, se identificaron las agencias externas e internas y sus conexiones principales. En el nivel 1, se detalló el funcionamiento interno, incorporando siete agencias principales: a1) interfaz de inicio, a2) PLC, a3–a4) sensores de las estaciones, a5–a6) actuadores neumáticos, a7) rampa de liberación. Ambos niveles se pueden observar en la Figura 4.

Esta representación permitió validar la consistencia lógica del sistema a través de las matrices de incidencia K_{pre} y K_{post} , verificando que los canales cumplen correctamente sus funciones de suministro, consumo o transformación de recursos. El análisis de los vectores de resultado VC_{Res} confirmó la coherencia estructural del modelo implementado.

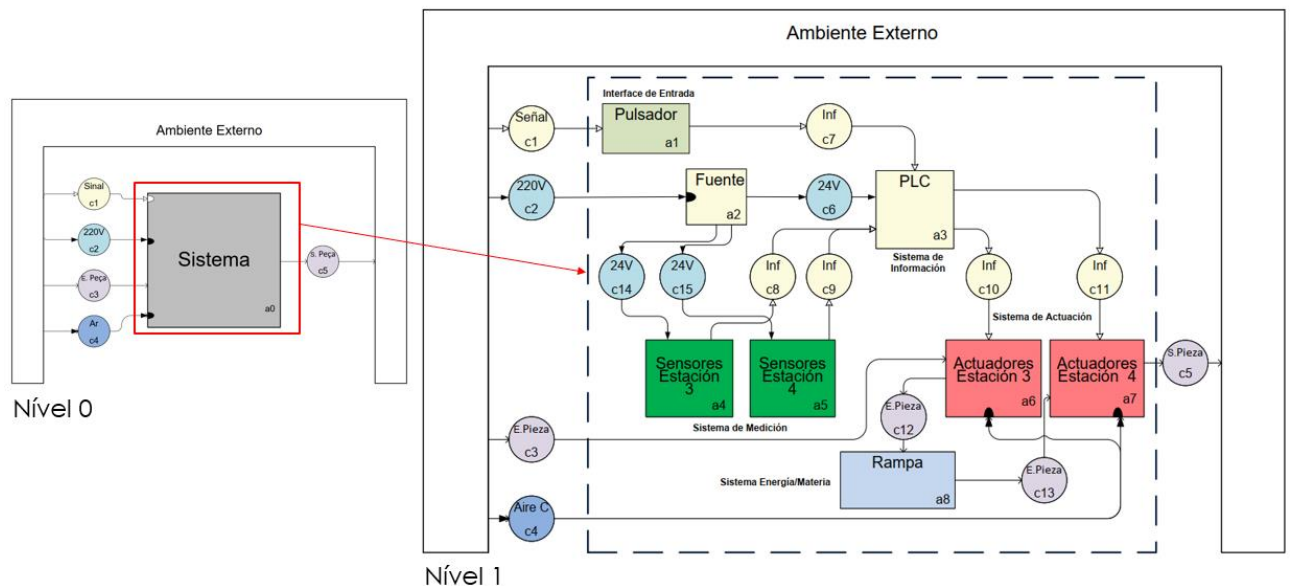


Figura 4. Representación del Sistema Red Canal/Agencia. Fuente: Elaboración propia.

2.3 Implementación Neumática y Eléctrica

Dado que el sistema automatizado propuesto opera mediante actuadores neumáticos, la elaboración de los circuitos neumáticos fue esencial para definir el modo de accionamiento de cada componente [2].

La Estación 3 se encarga de la captura y elevación de la pieza mediante un cilindro de doble efecto (3A1) acoplado a una ventosa controlada por vacío (3A2), ambos comandados por válvulas solenoides de 5 vías y 2 posiciones. La generación de vacío se controla a través de válvulas específicas (3V3 y 3V4), y la presencia de la pieza es confirmada por un vacuostato (3S4) e sensores de posición (3S1 y 3S2) entregan la información del estado actual del cilindro 3A1. En la Estación 4, el movimiento de apertura y cierre de las puertas se realiza mediante dos cilindros de doble efecto (4A1 y 4A2), controlados por válvulas (4V1 y 4V2) sincronizadas por el PLC. La configuración permite que una puerta se abra mientras la otra se cierra, garantizando la liberación segura de la pieza. Sensores de posición (4S1 a 4S4) proporcionan retroalimentación para el cierre del ciclo. Estos circuitos se observan en la Figura 5.

Complementariamente, el circuito eléctrico fue diseñado para asociar sensores y actuadores a las entradas y salidas digitales del PLC Siemens S7-200. Este diagrama permite conocer con precisión la lógica de control físico, estableciendo la correspondencia entre los terminales de la caja de bornes, los operandos del PLC y la asignación de cada dispositivo, ver Figura 7.

La correcta identificación de entradas (I) y salidas (Q), así como de las memorias internas (M), fue fundamental para garantizar la confiabilidad del sistema, facilitando tanto el diagnóstico en tiempo real como futuras modificaciones en la lógica de control.

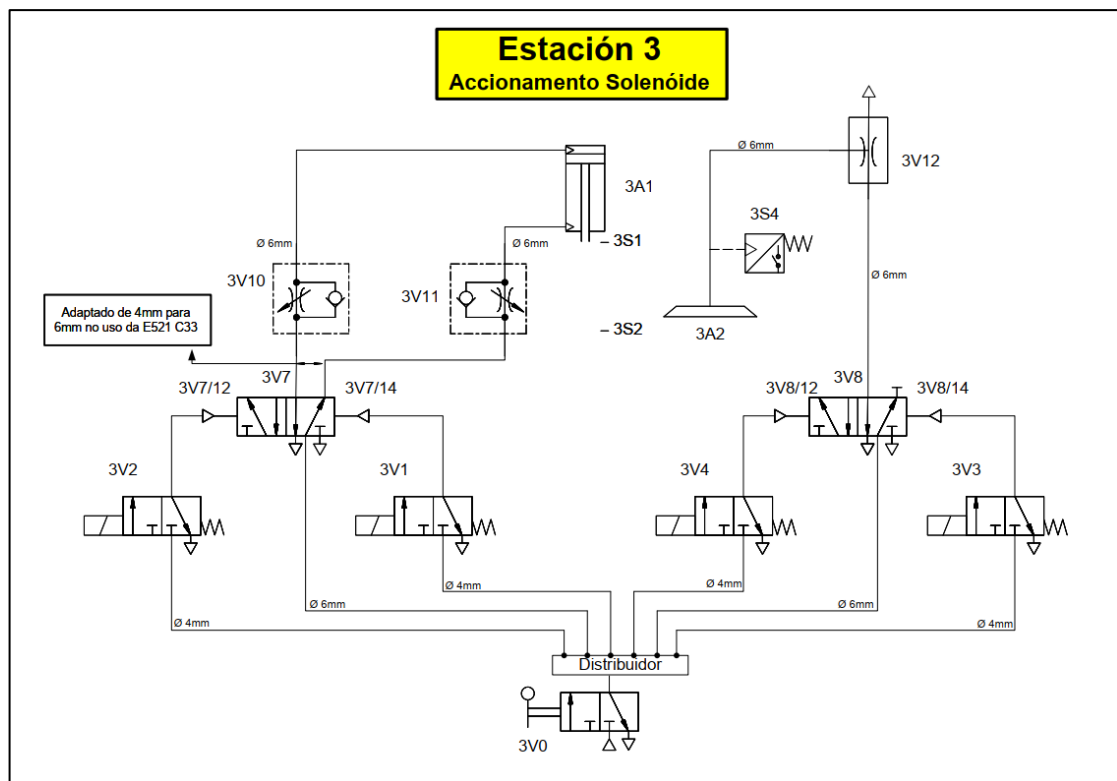


Figura 5. Circuito Neumático de las estaciones 3. Fuente: [1].

2.4 Control Lógico del Sistema

Para organizar y estructurar la lógica de funcionamiento del sistema automatizado, se adoptó el uso del GRAFCET (Grphe Fonctionnel de Commande Étape/Transition), una herramienta ampliamente utilizada en el diseño de sistemas secuenciales en automatización industrial. El GRAFCET permite representar de forma clara los distintos pasos del proceso, junto con las condiciones necesarias para transitar de un estado al siguiente, como se explica en [3]. Además, el GRAFCET también permite su implementación en el PLC por medio del lenguaje *Sequential Function Chart* (SFC), que es basada en GRAFCET y definida por la norma IEC 61131-3:2013.

En este proyecto, el GRAFCET, sirvió como base para modelar el ciclo de trabajo paso a paso del sistema, abarcando desde la activación inicial hasta el reposicionamiento de los actuadores. Se definieron cinco pasos principales (P0 a P4), cada uno condicionado por señales de sensores o confirmaciones lógicas (como la detección de pieza o la llegada a fin de carrera), ver Figura 8.

A partir de esta estructura, se implementó el control lógico en el PLC mediante programación en diagrama Ladder, un lenguaje gráfico también definido por la norma IEC 61131-3:2013. Este diagrama traduce la lógica del GRAFCET en una representación basada en contactos eléctricos y bobinas. Utilizando el software Step7-MicroWIN, se codificó cada paso mediante marcas internas (M0.0 a M0.4) y se emplearon funciones de set/reset para garantizar que sólo un paso esté activo a la vez. Un fragmento del mismo se presenta en la Figura 9. Esta metodología permitió una transición controlada entre estados, asegurando la secuencia segura de los actuadores neumáticos. Además, el uso del método paso a paso facilita el mantenimiento, la depuración y la expansión del sistema, siendo altamente recomendable para aplicaciones educativas e industriales.

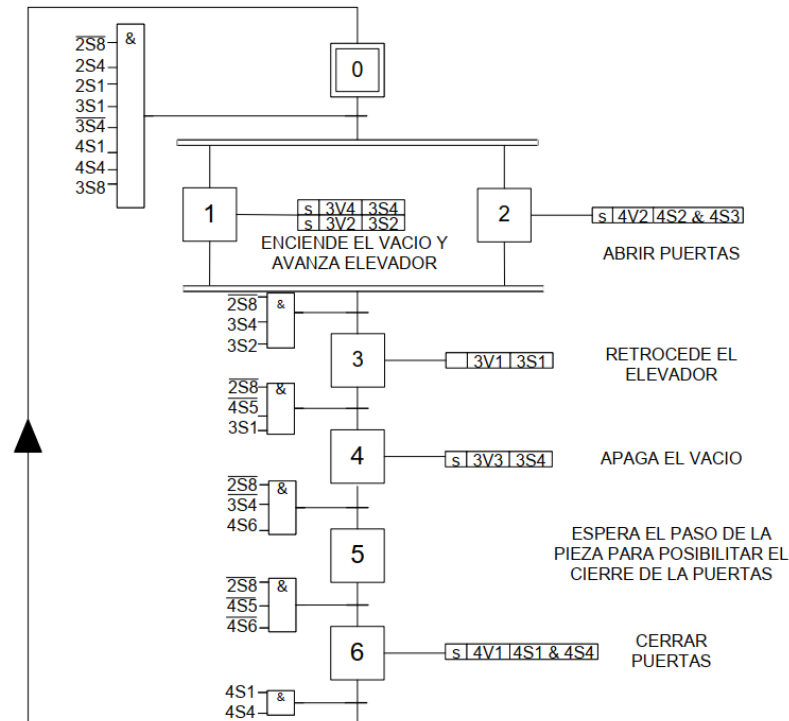


Figura 8. Representación secuencial del sistema mediante GRAFCET. Fuente: Elaboración propia.

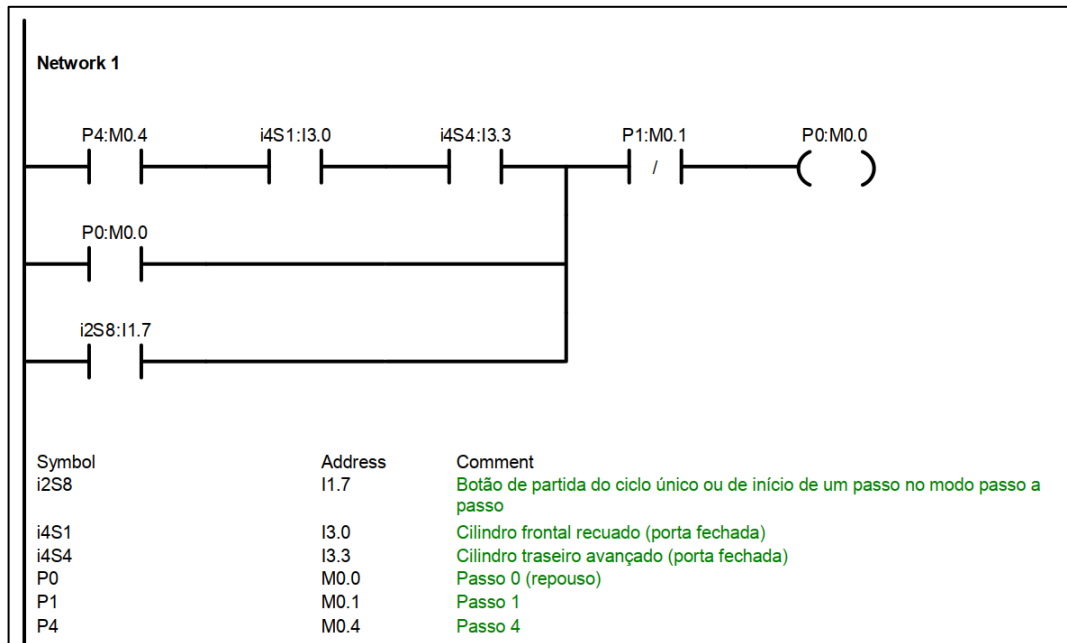


Figura 9. Fragmento del código Ladder desarrollado en el CLP Siemens S7-200 para el control de las Estaciones 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.

3 Resultados y Validación Funcional

Una vez implementado y cargado el programa en el PLC Siemens S7-200, el sistema fue evaluado en condiciones reales utilizando la bancada SPCS. La ejecución del ciclo demostró que el comportamiento de las Estaciones 3 y 4 se ajusta plenamente a los requisitos definidos: la pieza es correctamente capturada mediante la ventosa, transportada verticalmente y liberada tras la apertura sincronizada de las puertas, con cierre automático posterior al detectar su paso.

El diseño operativo basado en un ciclo único garantiza la ejecución completa de la secuencia tras la activación del botón de inicio, retornando luego al estado de reposo. Este modo de funcionamiento fue deliberadamente programado en el esquema Ladder para facilitar el análisis controlado de cada etapa del ciclo.

Se verificó funcionalmente que todas las transiciones se producen en el orden previsto, con intervención efectiva de los sensores y válvulas, lo cual valida la coherencia entre el modelo GRAFCET, la lógica Ladder y el comportamiento físico del sistema.

Como oportunidad de mejora, se identificó que los tiempos de secuencia podrían optimizarse mediante tareas de limpieza y aplicación de lubricantes en los rodillos y en la base de deslizamiento, favoreciendo un movimiento más fluido de la pieza. Asimismo, la incorporación de temporizadores en la lógica de control permitiría mantener la pieza elevada por más tiempo cuando el proceso así lo requiera, brindando mayor flexibilidad ante distintos escenarios operativos.

4 Conclusiones

El presente trabajo permitió desarrollar y validar una unidad funcional automatizada de manipulación de piezas, empleando componentes neumáticos y controladores programables integrados en la bancada SPCS. La combinación de modelado formal, implementación física y control lógico resultó efectiva para alcanzar un sistema funcional, seguro y estructuralmente coherente.

La aplicación del modelo Red Canal/Agencia facilitó la organización del sistema desde una perspectiva funcional, permitiendo evaluar tanto la coherencia estructural como el flujo de recursos involucrados. A su vez, la utilización de GRAFCET y diagrama Ladder permitió una implementación lógica secuencial clara, robusta y fácilmente adaptable a otras configuraciones.

El sistema cumplió con los objetivos establecidos: capturar, transportar y liberar una pieza mediante un ciclo automatizado único. Asimismo, se identificaron oportunidades de mejora orientadas a la eficiencia del transporte físico y a la optimización temporal del ciclo mediante ajustes en la lógica de control.

En síntesis, este desarrollo demuestra la aplicabilidad de herramientas didácticas y metodologías modernas de automatización en la formación técnica, con potencial de escalado hacia entornos industriales reales y posibilidades de adaptación para distintos contextos educativos y productivos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Sistemas Hidráulicos y Neumáticos (LASHIP) por brindar el espacio y los recursos necesarios para la realización de los ensayos y pruebas.

Se expresa un especial reconocimiento a los compañeros Vinicius y Vanderlei por su colaboración y compañerismo durante el desarrollo del proyecto, así como al Prof. Víctor Juliano de Negri por las clases impartidas y la orientación técnica que hicieron posible la implementación de este trabajo.

Referencias

- [1] *Descrição e Manual da Bancada SPCS – System for the Pneumatic Circuit Sizing*, Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Mecânica – LASHIP, Florianópolis, SC, Brasil, 2014, pp. 1–42.
- [2] H. C. Belan, *Formalização da Rede de Petri Canal/Agência para Projeto de Equipamentos Industriais*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Brasil, 2007.
- [3] A. Bollmann, *Fundamentos da Automação Industrial Pneumática*. São Paulo, SP, Brasil: ABHP – Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática, 1998.