
Reacondicionamiento y calibración de máquinas industriales didácticas del laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala

Johann Erich Haeussler Roca



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Reacondicionamiento y calibración de máquinas industriales
didácticas del laboratorio de
Automatización Industrial de la Universidad del Valle de
Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Johann Erich Haeussler Roca
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Reacondicionamiento y calibración de máquinas industriales
didácticas del laboratorio de
Automatización Industrial de la Universidad del Valle de
Guatemala**


Trabajo de graduación presentado por Johann Erich Haeussler Roca
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2025

Vo.Bo.:

(f) 
MBA Pedro Castillo

(f) 
M.Sc. Carlos Esquit

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de noviembre de 2025.

El desarrollo de este trabajo de graduación no habría sido posible sin el apoyo constante de las personas que me han acompañado a lo largo de mi formación profesional y personal. En primer lugar, agradezco profundamente a mi familia, cuyo respaldo incondicional ha sido fundamental en cada etapa de este proceso. Expreso un agradecimiento especial a mi hermano, por su compañerismo y por ser una motivación constante; a mi madre y a mi padre, por su esfuerzo, ejemplo, dedicación y sacrificio, que han guiado mi camino desde el inicio.

Agradezco también a mi novia, por su paciencia, comprensión y apoyo durante las largas jornadas de trabajo que este proyecto requirió. Finalmente, doy gracias a Dios, por darme la fortaleza, la claridad y las oportunidades necesarias para completar este proyecto y continuar creciendo.

Prefacio	I
Índice de figuras	V
Resumen	VI
Abstract	VII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
2.1. Fabricación y puesta en marcha de una Máquina Limpiadora de Botellas a escala para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala	2
2.2. Construcción y puesta en marcha de una Máquina Clasificadora de Botellas para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala	3
2.3. Construcción y puesta en marcha de una máquina de Roscadora de Tapaderas para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala	4
3. Justificación	6
4. Objetivos	8
4.1. Objetivo general	8
4.2. Objetivos específicos	8
5. Alcance	10
6. Marco teórico	12
6.1. Sistema neumático	12
6.2. Microcontroladores	15
6.3. Automatización Industrial	20
6.4. Estructura mecánica y diseño	23

7. Máquina Clasificadora de Botellas	25
7.1. Diagnóstico inicial	25
7.2. Plan de acción	26
7.3. Programación del microcontrolador Arduino UNO Rev3	27
7.4. PCB	27
7.5. Estructura mecánica y cableado	31
7.6. Implementación de un sistema de clasificación de botellas	34
7.7. Integración con PLC	38
8. Máquina Limpiadora de Botellas	40
8.1. Diagnóstico inicial	40
8.2. Plan de acción	41
8.3. Ajustes y elementos de estructura mecánica	42
8.4. Conexión neumática	44
8.5. Caja de conexiones y cableado de la máquina	44
8.6. Implementación de sensor fotoeléctrico	45
8.7. Cambios en la programación del PLC	46
8.8. Resultado final	46
9. Máquina Roscadora de Tapaderas	48
9.1. Diagnóstico inicial	48
9.2. Plan de acción	49
9.3. Programación del microcontrolador PIC16F887	50
9.4. Diseño y fabricación del PCB de control de motores	52
9.5. Ajuste mecánico general y reemplazo de piezas estructurales	53
9.6. Piezas nuevas diseñadas e impresas en 3D	54
9.7. Reorganización eléctrica y gabinetes de conexiones	55
9.8. Sustitución de sensores capacitivos por sensores ópticos	57
9.9. Implementación de finales de carrera	58
9.10. Conexión neumática	58
9.11. Programación del PLC	59
9.12. Resultado final	59
10. Conclusiones	61
11. Recomendaciones	63
12. Referencias	64
13. Anexos	67
13.1. Planos de piezas diseñadas e implementadas	67
13.2. Programación de microcontrolador Arduino UNO en C de Máquina Clasificadora	67
13.3. Programación de microcontrolador PIC16F887 en C de Máquina Roscadora	67
13.4. Guías de conexiones	68
13.5. Programación de PLCs en Ladder	68

Índice de figuras

1.	Máquina Limpiadora de Botellas	3
2.	Máquina Clasificadora de Botellas	4
3.	Máquina Roscadora de Tapaderas	5
4.	Cilindro Festo DSNU-S-20-200-P	13
5.	Sensor de color TCS3200	16
6.	Buzzer	17
7.	Relé SRD-05VDC-SL-C	18
8.	PIC16F887	19
9.	Placas de circuitos impresos (PCBs)	20
10.	PLC Siemens S7-300	21
11.	Sensor fotoeléctrico	22
12.	Bornera de 10 contactos	23
13.	Estado inicial de la Máquina Clasificadora	26
14.	Circuito de PCB preliminar de la Máquiuna Clasificadora	28
15.	Diagrama esquemático de PCB preliminar	28
16.	PCB preliminar ensamblado y soldado	29
17.	Esquemático de PCB definitivo	30
18.	Ensamblaje final de PCB	31
19.	Gabinete de conexiones	32
20.	Fuente de 12V de la Máquina Clasificadora	33
21.	Soporte de motor y final de carrera modificado	34
22.	Diseño CAD de sistema de almacenamiento de botellas	34
23.	Ensamble físico de rodillos	35
24.	Ensamblaje físico de soporte de rodillos	36
25.	Resultado físico del sistema de almacenamiento de botellas	37
26.	Resultado final de Máquina Clasificadora de Botellas	38
27.	Estado inicial de la Máquina Limpiadora de Botellas	41
28.	Soporte de finales de carrera	42
29.	Soporte de válvulas neumáticas	43
30.	Soporte de válvula de soplado	43

31.	Soporte de regulador de presión neumática	44
32.	Gabinete de conexiones de Máquina Limpiadora	45
33.	Resultado final de la Máquina Limpiadora	47
34.	Estado inicial de la Máquina Roscadora	49
35.	Circuito de PCB preliminar de la Máquina Roscadora	51
36.	Placa de circuito impreso de Máquina Roscadora	53
37.	Soporte de finales de carrera	54
38.	Acople para roscado de tapaderas	55
39.	Gabinete de conexiones de control de motores	56
40.	Gabinete de conexiones de conexión con tablero del laboratorio	57
41.	Racores implementados	58
42.	Resultado final de la Máquina Roscadora	60

El presente trabajo documenta el proceso de reacondicionamiento, mejora y puesta en funcionamiento de tres máquinas industriales didácticas pertenecientes al laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala: la Máquina Limpiadora de Botellas, la Máquina Clasificadora de Botellas y la Máquina Roscadora de Tapaderas. Estas máquinas, construidas en 2024 como parte de una línea de producción educativa, presentaban deficiencias estructurales, eléctricas y de control que afectaban su operación y comprometían su uso en actividades académicas.

El objetivo del proyecto fue restituir la funcionalidad de cada máquina mediante el rediseño de componentes mecánicos, la modernización de sensores, la reorganización del cableado y la actualización de los sistemas de control basados en PLC Siemens S7-300 y microcontroladores. Para ello, se diseñaron y fabricaron placas de circuito impreso, se reemplazaron sensores capacitivos por sensores ópticos fotoeléctricos, se incorporaron finales de carrera en los sistemas neumáticos y se implementaron gabinetes de conexión dedicados. Adicionalmente, se realizaron ajustes estructurales, incluyendo el reemplazo de piezas impresas en 3D por componentes maquinados en aluminio y la integración de nuevos soportes para válvulas, reguladores y actuadores.

Como resultado, las tres máquinas recuperaron su operatividad, alcanzando un funcionamiento estable, seguro y acorde con los requerimientos del laboratorio. La línea didáctica quedó lista para demostraciones, prácticas y cursos de automatización, con mejoras significativas en confiabilidad, organización y precisión.

Palabras clave: automatización industrial, sensores ópticos, PLC Siemens S7-300, sistemas neumáticos, control de movimiento, *embedded systems*.

This work documents the refurbishment, improvement, and commissioning of three didactic industrial machines belonging to the Industrial Automation laboratory of Universidad del Valle de Guatemala: the Bottle Cleaning Machine, the Bottle Sorting Machine, and the Cap-Screwing Machine. Originally built in 2024 as part of an educational production line, these machines exhibited structural, electrical, and control deficiencies that affected their performance and limited their suitability for academic use.

The objective of this project was to restore full operational functionality by redesigning mechanical components, upgrading sensor systems, reorganizing electrical wiring, and updating the control logic based on Siemens S7-300 PLCs and microcontrollers. To achieve this, custom printed circuit boards were designed and fabricated, capacitive sensors were replaced with photoelectric optical sensors, limit switches were integrated into the pneumatic systems, and dedicated connection cabinets were implemented. Additionally, structural adjustments were carried out, including replacing critical 3D-printed components with machined aluminum parts and installing new supports for pneumatic valves, pressure regulators, and actuators.

As a result, all three machines regained stable, reliable, and safe operation, meeting the functional requirements of the laboratory. The didactic production line is now fully suitable for demonstrations, practical laboratory sessions, and automation coursework, offering improved precision, organization, and system robustness.

Keywords: industrial automation, photoelectric sensors, Siemens S7-300 PLC, pneumatic systems, motion control, embedded systems.

El presente trabajo de graduación aborda el reacondicionamiento y calibración de tres máquinas industriales didácticas del laboratorio de Automatización Industrial: la máquina Limpiadora de Botellas, la máquina Clasificadora de Botellas y la máquina Roscadora de Tapaderas. Estas fueron diseñadas con fines académicos para demostrar principios de control eléctrico, neumático y de automatización, sirviendo como apoyo en la formación práctica de los estudiantes de ingeniería.

Al iniciar el proyecto, las máquinas presentaban deficiencias estructurales, problemas en el orden del cableado y sistemas de control en lazo abierto que afectaban su desempeño y confiabilidad. Estas limitaciones provocaban un funcionamiento incompleto, con procesos poco precisos, falta de condiciones de seguridad y escasa capacidad para su uso en prácticas o demostraciones.

Para resolver estos problemas, se realizó un reacondicionamiento integral que incluyó mejoras mecánicas, eléctricas y de control, orientadas a restablecer la operatividad y confiabilidad de cada sistema. De forma general, se reorganizó el cableado, se sustituyeron componentes estructurales y se optimizó la integración entre los sistemas de control y los actuadores, asegurando un funcionamiento estable y seguro.

Como resultado, el proyecto permitió restituir la funcionalidad de las máquinas, consolidando su valor como herramientas pedagógicas dentro del laboratorio de automatización. Asimismo, se establecen bases sólidas para futuras mejoras que permitan acercar estos equipos didácticos a un desempeño más comparable al de sistemas industriales reales.

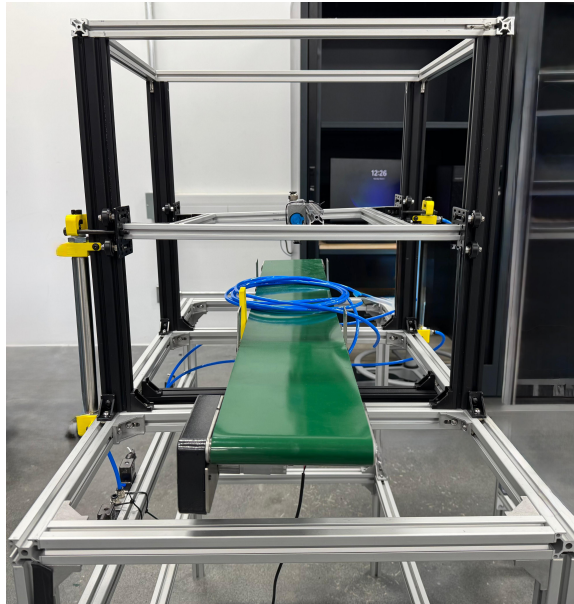
La automatización ha transformado los procesos industriales al incrementar su eficiencia, confiabilidad y seguridad mediante el uso de tecnologías avanzadas. En el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala, ubicado en el Centro de Innovación y Tecnología, se han desarrollado máquinas didácticas para realizar demostraciones, exposiciones y ser utilizadas como modelos físicos para los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica y Electrónica. Estas herramientas permiten a los estudiantes interactuar con representaciones prácticas de sistemas industriales, fortaleciendo su aprendizaje en un entorno controlado.

2.1. Fabricación y puesta en marcha de una Máquina Limpiadora de Botellas a escala para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala

En 2024, Yefry Sajquiy desarrolló y puso en marcha la Máquina Limpiadora de Botellas, tomando como base el diseño conceptual de Mazariegos (2021) [1]. La máquina se construyó con perfiles de aluminio V-slot y se implementó una banda transportadora Moonshan, un sistema neumático compuesto por cilindros Festo DSNU-S-20-200-P con un compresor Makita, un sensor de presencia capacitivo Omron, y un PLC Siemens S7-300 para su control automatizado. La máquina funciona mediante una estructura de perfiles de aluminio, donde la plataforma de soplado desciende a la altura de la botella al detectar su presencia a través del sensor capacitivo. Mientras esto sucede la banda transportadora se detiene hasta completar un lapso de tiempo. El sistema era funcional, pero presentaba limitaciones significativas: el sensor capacitivo no tenía suficiente alcance afectando la precisión en la detección; la estructura no se construyó correctamente, presentando inestabilidad en su ensamblaje; carece de una caja de conexiones, lo que expone el cableado y aumenta riesgos eléctricos; carece de finales de carrera para limitar los movimientos neumáticos y mejorar la precisión; carece de

un regulador de presión neumática para evitar movimientos bruscos. En comparación con el diseño de Mazariegos [1], que no especificaba componentes detallados como sensores o bandas, la implementación de Sajquiy [2] optó por elementos disponibles en el laboratorio de Automatización Industrial como el compresor Makita y la banda Moonshan.

Figura 1. Máquina Limpiadora de Botellas

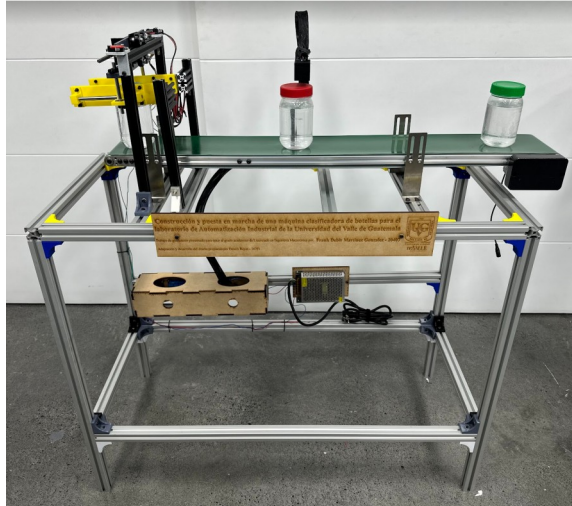


Nota. La imagen muestra la *Máquina Limpiadora de Botellas* construida por Yefry Sajquiy. Elaboración propia.

2.2. Construcción y puesta en marcha de una Máquina Clasificadora de Botellas para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala

En 2024, Frank Martínez construyó y puso en marcha la Máquina Clasificadora de Botellas, inspirada en el diseño de Reyes (2022) [3]. Esta máquina utilizaba un sensor de color TCS3200, un microcontrolador Arduino-UNO, un PLC Siemens S7-300 para la coordinación de procesos, y una banda transportadora Moonshan. La máquina clasificaba botellas detectándolas al pasar bajo el sensor de color, que identificaba tres colores distintos: verde, rojo y celeste, y las dirige mediante una estructura móvil accionada por un motor DC, un tornillo sin fin y finales de carrera, asegurando una separación precisa y automatizada. No obstante, presenta limitaciones: las piezas impresas en 3D empleadas en la estructura son frágiles, propensas a fallos y necesitan ser rediseñadas, las conexiones eléctricas no se efectuaron de forma adecuada, provocando problemas de comunicación del PLC con el Arduino UNO. El diseño original de Reyes [3] contemplaba una estructura robusta y un sistema de almacenamiento de botellas clasificadas, sin embargo, la construcción de Martínez reemplazó componentes metálicos por impresiones 3D de baja durabilidad y omitió el sistema de almacenamiento.

Figura 2. Máquina Clasificadora de Botellas

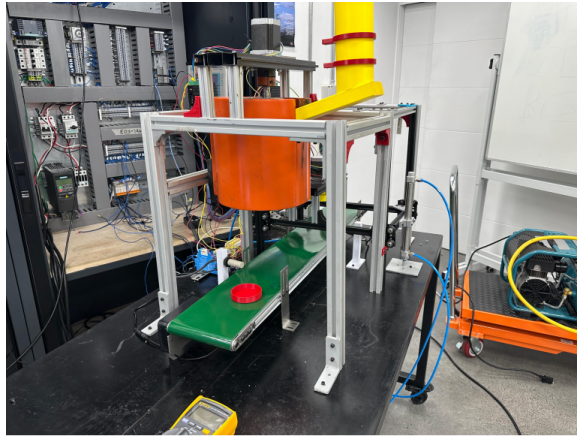


Nota. La imagen muestra la *Máquina de Clasificadora de Botellas* construida por Frank Martínez, esta foto fue obtenida de [4]

2.3. Construcción y puesta en marcha de una máquina de Roscadora de Tapaderas para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala

José Orellana desarrolló y puso en marcha en 2024 la Máquina Roscadora de Tapaderas, basada en el diseño de Ixquiac (2022) [5]. La máquina incorporaba una banda transportadora Moonshan, cilindros neumáticos Festo DSNU-S-20-200-P, dos motores paso a paso NEMA23 con driver TB6600, un PLC Siemens S7-300 y un Arduino-UNO para el control integrado de ambos motores. El sistema almacenaba tapaderas en una tolva que, al detectar un recipiente mediante un sensor capacitivo Omron, libera una tapadera sobre él a través de un tornillo sin fin; posteriormente, una estructura que utiliza otro sensor capacitivo desciende sobre la botella y la tapadera para realizar el roscado. Sin embargo, presentaba limitaciones: los sensores mostraban inconsistencias en la detección, el cableado desordenado pudo afectar la comunicación entre el PLC y el Arduino-UNO, y los movimientos neumáticos son bruscos, comprometiendo la precisión del proceso. El diseño de Ixquiac, que incluía cuatro prototipos con énfasis en precisión neumática y eléctrica, preveía un sistema más robusto; en contraste, la implementación de Orellana [6] simplificó algunos componentes y empleó sensores menos confiables, resultando en un desempeño menos fluido que el originalmente concebido.

Figura 3. Máquina Roscadora de Tapaderas



Nota. La imagen muestra la *Máquina Roscadora de Tapaderas* construida por José Orellana, esta foto fue obtenida de [6]

La automatización industrial es un pilar importante en la formación de ingenieros mecatrónicos, al permitir la aplicación práctica de programación, control y optimización de procesos. En el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala, las Máquinas Limpiadora y Clasificadora de Botellas, tanto como la Máquina Roscadora de Tapaderas, construidas en 2024 como parte de una línea de producción didáctica, son recursos esenciales para este fin. Sin embargo, presentan limitaciones significativas que afectan su desempeño: sensores de baja precisión, movimientos neumáticos inestables, conexiones eléctricas frágiles, estructuras con problemas de ensamblaje, cableado desorganizado y, de manera crítica, una documentación insuficiente sobre su construcción, especialmente en las conexiones de algunos componentes electrónicos.

La optimización de estas máquinas surge como una necesidad tanto técnica como académica. La falta de documentación detallada en la conexión electrónica de las máquinas dificulta su comprensión, mantenimiento y replicación por parte de estudiantes y docentes. Esta carencia limita la capacidad del laboratorio para aprovechar plenamente estos equipos como herramientas de enseñanza.

El reemplazo de los sensores actuales por sensores ópticos de mayor precisión en la Máquina Limpiadora y la Máquina Roscadora garantizará una detección confiable de botellas, eliminando errores operativos que entorpecen las prácticas de los estudiantes. Del mismo modo, la adición de finales de carrera y reguladores de presión en los sistemas neumáticos de estas máquinas mejorará la estabilidad y suavidad de los movimientos, simulando condiciones industriales reales con mayor seguridad y precisión. Por su parte, el diseño y fabricación de placas de circuito impreso (PCB) para las conexiones con Arduino en la Máquina Clasificadora y la Máquina Roscadora no solo fortalecerá la integración de sus sistemas de control, sino que también permitirá documentar adecuadamente dichas conexiones, superando las deficiencias previas y facilitando su uso futuro.

Además, la optimización de la estructura mecánica mediante la sustitución de piezas frágiles por materiales más duraderos incrementará la vida útil de las máquinas y mejorará su presentación física, haciéndolas idóneas para exposiciones institucionales. La implementación

de gabinetes de conexiones y la organización del cableado en las tres máquinas asegurará un diseño eléctrico ordenado, seguro y estéticamente adecuado, abordando otro aspecto crítico de su estado actual. Estas mejoras validarán el rendimiento de las máquinas optimizadas y garantizarán su idoneidad para clases, exposiciones y demostraciones en la Universidad del Valle de Guatemala.

Este proyecto no solo potenciará el aprendizaje práctico de los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica al proporcionar equipos confiables y bien documentados, sino que también elevará los estándares del Laboratorio de Automatización Industrial como un espacio de innovación y excelencia técnica.

4.1. Objetivo general

Reacondicionar el diseño y mejorar el funcionamiento de la máquina Limpiadora de Botellas, máquina Clasificadora de Botellas y máquina Roscadora de Tapaderas construidas en 2024 de la línea de producción didáctica del laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.

4.2. Objetivos específicos

- Diseñar y fabricar placas de circuitos impresos (PCB) para las conexiones eléctricas con el microcontrolador de la Máquina de Clasificadora de Botellas y Máquina Roscadora de Tapaderas.
- Reemplazar los sensores capacitivos de la Máquina Limpiadora de Botellas y Roscadora de Tapaderas por sensores ópticos.
- Añadir finales de carrera en el sistema neumático de la Máquina Limpiadora de Botellas y Máquina Roscadora de Tapaderas.
- Actualizar la programación del PLC Siemens S7-300 para integrar la lógica de control de los finales de carrera en la Máquina Roscadora de Tapaderas y la Máquina Limpiadora de Botellas.
- Organizar el cableado de las tres máquinas.
- Implementar gabinetes de conexiones para garantizar un sistema eléctrico ordenado.
- Añadir un sistema de almacenamiento de botellas en la Máquina Clasificadora de Botellas.

- Añadir reguladores de presión en el sistema neumático de la Máquina Limpiadora de Botellas y la Máquina de Roscadora de Tapaderas.

El presente trabajo de graduación abarca el reacondicionamiento, calibración y documentación técnica de tres máquinas didácticas pertenecientes al laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala: la Máquina Limpiadora de Botellas, la Máquina Clasificadora de Botellas y la Máquina Roscadora de Tapaderas.

En la Máquina Limpiadora, el alcance incluyó la incorporación de finales de carrera para controlar el recorrido de la plataforma, la instalación de un regulador de presión para mejorar el control neumático, el diseño y fabricación de soportes para válvulas, reorganización del cableado, implementación de un gabinete de conexiones, la reorganización del sistema de conexiones neumáticas, nueva programación de PLC, ajuste, implementación de piezas estructurales y una guía de conexiones, dónde se documentaron todas las conexiones de la máquina.

En la Máquina Clasificadora de Botellas, se desarrolló un circuito impreso como módulo de expansión para Arduino-UNO, se implementó la lógica de clasificación por color con retroalimentación visual y auditiva, y se fabricó una mesa de rodillos con soportes para optimizar el guiado de botellas. Además, se reorganizó el cableado mediante la instalación de un gabinete eléctrico y se documentaron las guías de conexión hacia el PLC Siemens S7-300.

En la Máquina Roscadora de Botellas, el alcance incluyó la sustitución de piezas impresas en 3D estructurales por piezas de aluminio, la incorporación de finales de carrera y un regulador de presión, así como la instalación de dos cajas de conexiones para centralizar drivers, relés y la fuente de alimentación. También se cambió el microcontrolador Arduino-UNO por un PIC 16F887, se diseñó y fabricó un PCB para las conexiones entre los drivers y el microcontrolador. Se elaboró la programación del PIC y se ajustó el programa del PLC.

Es importante señalar que, dado el alcance didáctico de estas máquinas, su desempeño no equivale al de un sistema industrial real. Por naturaleza de los diseños, algunos procesos no se cumplen con la misma precisión ni velocidad que en equipos de producción. Para lograr un funcionamiento industrial confiable sería necesario un rediseño completo del sistema de

clasificación de botellas, al igual que los sistemas de roscado y dispensado de tapaderas, planteados en función de parámetros como el peso y las dimensiones exactas de los envases.

Asimismo, el proyecto no contempló la programación de pantallas HMI en el PLC, ni la incorporación de sensores industriales de alto costo, ya que el objetivo se centró en mantener el carácter académico y accesible de los prototipos.

Como producto final, se entregaron las tres máquinas reacondicionadas y listas para su uso en demostraciones, conferencias y actividades de enseñanza, acompañadas de documentación técnica que incluye las guías de conexión, las modificaciones estructurales y las calibraciones realizadas.

6.1. Sistema neumático

6.1.1. Concepto general

La neumática industrial utiliza aire comprimido como medio de trabajo para accionar actuadores lineales o rotativos. Se destaca por su bajo mantenimiento y limpieza, dado que el aire no deja residuos [7]. En entornos didácticos, los sistemas neumáticos resultan especialmente útiles, ya que permiten ilustrar principios fundamentales de automatización mediante componentes seguros y de fácil comprensión visual.

6.1.2. Cilindros neumáticos de doble efecto (DSNU-S-20-200-P)

Los cilindros neumáticos de doble efecto emplean aire comprimido para extender y retraer el vástago, introduciendo aire en uno de los extremos mientras se libera el otro hacia la atmósfera mediante una válvula direccional [8]. El modelo DSNU-S-20-200-P, con una carrera de 200 mm, se clasifica como un actuador de carga media y resulta apropiado para aplicaciones que requieren movimientos lineales controlados.

Figura 4. Cilindro Festo DSNU-S-20-200-P



Nota. La imagen muestra un cilindro neumático Festo DSNU-S-20-200-P. Esta imagen fue obtenida de [9].

6.1.3. Control y activación

La activación de los cilindros neumáticos de doble acción se realiza mediante válvulas solenoides de 5/2 vías, las cuales son controladas eléctricamente a través de salidas digitales del PLC Siemens S7-300. Al energizar la bobina de la válvula, ésta conmuta internamente cambiando internamente las salidas y entradas de aire. De esta forma redirige el flujo de aire hacia una de las cámaras del cilindro, permitiendo invertir el sentido de movimiento de acuerdo con la lógica de programación. [10].

6.1.4. Válvula neumática

Las válvulas neumáticas son dispositivos encargados de controlar la dirección, presión o caudal del aire comprimido en un sistema automatizado. Su función principal es regular el paso del aire hacia los actuadores, permitiendo iniciar, detener o modificar el movimiento de los cilindros neumáticos. Estas válvulas pueden ser manuales, mecánicas o eléctricas, siendo las electroválvulas las más utilizadas en aplicaciones industriales. En este tipo, el accionamiento ocurre cuando el controlador energiza la bobina, generando un campo magnético

que desplaza el émbolo interno y modifica el flujo de aire. De acuerdo con su configuración, pueden clasificarse según el número de vías y posiciones (por ejemplo, 3/2, 4/2 o 5/2), lo que determina la función de conmutación dentro del circuito neumático. Generalmente, se instalan en bancos de válvulas montados sobre placas o rieles DIN, lo que facilita su organización, mantenimiento y conexión al sistema de control [10].

6.1.5. Red de aire comprimido

El aire comprimido es generado por un compresor eléctrico que provee presión constante al sistema. Desde el compresor, el aire se conduce a través de tuberías o mangueras en la mayoría de casos de poliuretano, unidas mediante racores. La red distribuye el flujo hacia las válvulas y, posteriormente, hacia los actuadores. La calidad del aire resulta un factor crítico, por lo que se recomienda el uso de filtros que eliminen humedad y partículas capaces de dañar los componentes neumáticos [7].

6.1.6. Racores y conectores neumáticos

Los racores son componentes que permiten unir mangueras, actuadores y demás elementos neumáticos de forma segura, disponibles en configuraciones rectas, en codo o en T, y en versiones roscadas o de inserción rápida (push-in). Estos elementos son fundamentales para evitar fugas de presión, garantizar la estanqueidad del sistema y facilitar la reconfiguración de la red neumática en caso de modificaciones del diseño [11].

6.1.7. Reguladores de presión

El regulador de presión es un componente que mantiene constante la presión de entrada a un valor previamente establecido [8]. Estos dispositivos se incorporan con el fin de atenuar la velocidad de desplazamiento y fuerza de los actuadores y demás elementos en la red neumática. Al reducir la presión de suministro, se obtiene un movimiento más controlado y suave, condición especialmente importante en sistemas que requieren precisión o en aquellos donde los impactos mecánicos podrían ocasionar daños.

6.1.8. Sensores y finales de carrera

Para controlar los extremos de recorrido en sistemas neumáticos se utilizan finales de carrera eléctricos de contacto mecánico. Estos dispositivos permiten detectar cuando el vástago ha alcanzado su posición límite, generando una señal de entrada digital al sistema de control. De esta manera, se evitan sobreextensiones y se sincronizan de forma precisa las siguientes acciones del proceso [12].

6.2. Microcontroladores

6.2.1. Concepto y aplicación

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que integra en un solo chip una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y periféricos. Su función principal consiste en controlar dispositivos electrónicos mediante la lectura de entradas, el procesamiento de datos y la activación de salidas [13]. A diferencia de los controladores lógicos programables (PLC), diseñados para entornos industriales de alta robustez, los microcontroladores ofrecen mayor flexibilidad, menor costo y facilidad de implementación, lo que los hace especialmente adecuados para fines didácticos y de prototipado.

6.2.2. Arduino UNO

El Arduino UNO es un microcontrolador que opera a 5 voltios, cuenta con 14 pines digitales, 6 pines analógicos, memoria flash de 32KB y está basado en el microcontrolador ATmega328P. Este dispositivo es ampliamente empleado en educación debido a su simplicidad, bajo costo y la amplia disponibilidad de recursos para su implementación. Arduino puede programarse en su propio entorno de desarrollo (Arduino IDE) mediante un lenguaje derivado de C/C++ [14].

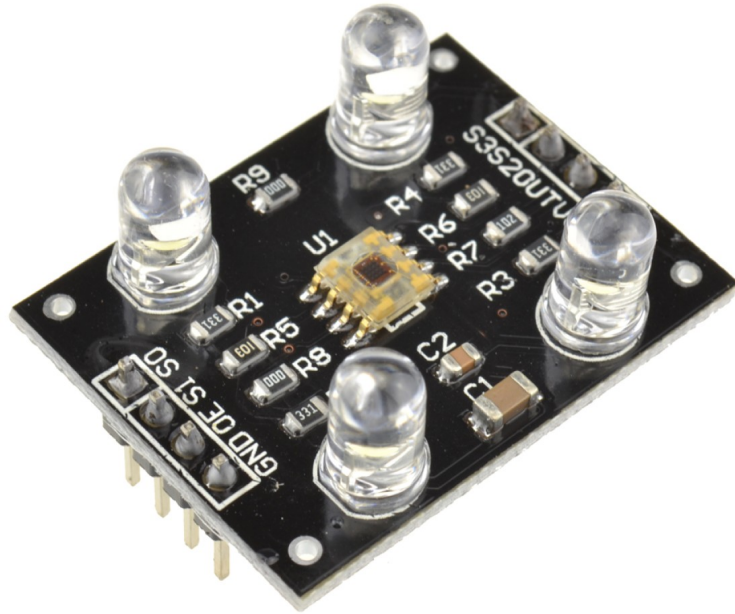
Limitaciones y consideraciones del Arduino UNO

Aunque el Arduino UNO es ampliamente utilizado en entornos educativos, no está diseñado para operar en ambientes industriales hostiles. Este dispositivo carece de protección contra sobretensiones, no cuenta con certificaciones de grado industrial y su precisión depende en gran medida del diseño de hardware externo. En consecuencia, se recomienda emplearlo como apoyo al PLC y no como controlador principal en entornos profesionales [15].

6.2.3. Sensor de color TCS3200

El TCS3200 es un sensor de color programable que convierte la intensidad de la luz reflejada en una frecuencia de salida proporcional. El sensor TCS3200 permite la detección de colores al descomponer la luz reflejada por un objeto en componentes rojo, verde y azul (RGB). Este dispositivo emite una señal de frecuencia proporcional a la intensidad del color incidente, lo que posibilita su integración directa con microcontroladores [16].

Figura 5. Sensor de color TCS3200



Nota. La imagen muestra el sensor de color TCS3200. Esta imagen fue obtenida de [17].

6.2.4. Buzzer

El buzzer es un actuador acústico que emite una señal sonora al ser activado por una salida digital. Se emplea comúnmente para indicar condiciones como detección de errores, finalización de un ciclo o confirmación de acciones [18].

Figura 6. Buzzer



Nota. La imagen muestra un buzzer magnético de 5 voltios. Esta imagen fue obtenida de [19].

6.2.5. Relé

Un relé es un dispositivo electromecánico que permite conmutar cargas de mayor potencia a partir de señales de bajo voltaje o de menor potencia a mayor voltaje. Este esquema asegura el aislamiento eléctrico entre los sistemas y previene posibles daños ocasionados por diferencias de voltaje [20].

Figura 7. Relé SRD-05VDC-SL-C

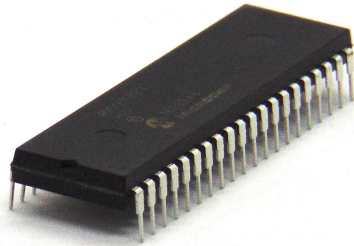


Nota. La imagen muestra un relé SRD-05VDC-SL-C de 5 voltios. Esta imagen fue obtenida de [21].

6.2.6. PIC16F887

El PIC16F887, desarrollado por Microchip, es un microcontrolador de 8 bits ampliamente utilizado en aplicaciones educativas e industriales de bajo costo. Este dispositivo incorpora una arquitectura RISC optimizada, 368 bytes de RAM, 256 bytes de EEPROM y hasta 35 pines de entrada/salida digitales configurables. Además, cuenta con periféricos integrados como módulos de comunicación serial (USART, I²C y SPI), temporizadores de 8 y 16 bits, y comparadores analógicos [22].

Figura 8. PIC16F887



Nota. La imagen muestra el microcontrolador de Microchip PIC16F887 en su versión de 40 pines. Esta imagen fue obtenida de [23].

6.2.7. Señal PWM (Pulse Width Modulation)

La modulación por ancho de pulso, PWM, es una técnica de control que consiste en generar una señal digital que alterna entre estados de encendido y apagado con una frecuencia fija, variando el tiempo en que permanece en nivel alto (ciclo de trabajo). Esta variación permite regular la potencia entregada a cargas como motores, actuadores o luminarias, sin necesidad de recurrir a un control analógico continuo.

6.2.8. Motores paso a paso NEMA 23

Los motores paso a paso son actuadores electromecánicos que transforman pulsos eléctricos en desplazamientos angulares. Cada pulso recibido corresponde a un paso fijo del rotor, lo que permite un posicionamiento preciso.

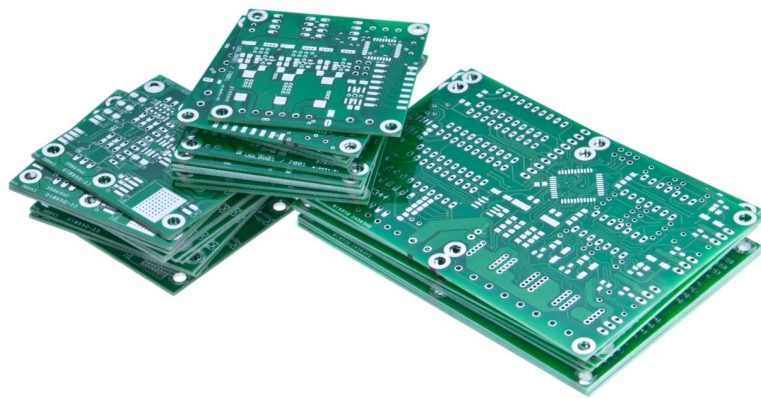
El estándar NEMA 23 se refiere a motores con una carcasa de 2.3 pulgadas (57 mm) de lado. Estos dispositivos suelen presentar ángulos de paso de 1.8° por paso (200 pasos por revolución en modo completo) y ofrecen pares de retención en un rango aproximado de 1.2 a 3 N m, según el modelo y fabricante [24].

Con el controlador TB6600, es posible ajustar parámetros como la velocidad, la dirección y la suavidad del movimiento.

6.2.9. Diseño de circuitos impresos (PCBs)

Una placa de circuito impreso, PCB, es una estructura utilizada para soportar y conectar eléctricamente los componentes electrónicos de un sistema. Está compuesta por una base aislante (comúnmente de fibra de vidrio) recubierta con pistas de cobre que forman las conexiones entre los diferentes elementos del circuito. El diseño del PCB permite sustituir el cableado tradicional por rutas conductoras precisas y compactas, mejorando la fiabilidad, organización y facilidad de montaje de los dispositivos electrónicos. Según su complejidad, puede ser de una capa o multicapa, y su fabricación involucra procesos de serigrafía, grabado y soldadura para asegurar una correcta disposición de los componentes [25].

Figura 9. Placas de circuitos impresos (PCBs)



Nota. La imagen muestra varios circuitos impresos (PCBs) vacíos apilados. Esta imagen fue obtenida de [26].

6.3. Automatización Industrial

6.3.1. Líneas de producción didácticas

Una línea de producción automatizada está compuesta por estaciones que ejecutan tareas específicas, como limpieza, clasificación y enroscado, de forma secuencial y sincronizada con el fin de producir un producto o realizar tareas con mayor eficiencia. Este flujo de trabajo reduce la intervención humana, incrementa la eficiencia del sistema y mejora la repetibilidad de los procesos. En el entorno académico, las líneas de producción a escala reducida permiten simular escenarios industriales reales, lo que contribuye al desarrollo de competencias prácticas en los estudiantes de ingeniería (Groover, 2016)[27].

6.3.2. PLC (Controlador lógico programable)

Este dispositivo es un sistema de control lógico programable diseñado para operar en entornos industriales, ofreciendo confiabilidad, modularidad y facilidad de mantenimiento. Su arquitectura permite la conexión de entradas digitales, como sensores, salidas para el control de motores y electroválvulas, así como módulos de comunicación. Un PLC ejecuta un ciclo de escaneo continuo que comprende la lectura de todas las entradas, la ejecución de la lógica programada en lenguaje de programación Ladder o STL, y la actualización de las salidas físicas. La programación de estos controladores se realiza en plataformas distintas desarrolladas por los fabricantes. En el caso de un PLC Siemens S7-300 la plataforma de programación es STEP 7 [28].

Figura 10. PLC Siemens S7-300



Nota. La imagen muestra un PLC modelo S7-300 de marca Siemens con 5 módulos periféricos. Esta imagen fue obtenida de [29].

6.3.3. Lenguaje de programación Ladder (LD)

El diagrama de escalera Ladder, es un lenguaje de programación basado en compuertas lógicas que representa la lógica de control mediante contactos y bobinas, de forma análoga a un circuito eléctrico. Se considera uno de los lenguajes más intuitivos para la programación de PLC, especialmente en entornos educativos debido a su estructura gráfica y visual, esto permite representar fácilmente la lógica de control mediante símbolos eléctricos [30].

6.3.4. Sensor óptico fotoeléctrico

Estos sensores utilizan un haz de luz, normalmente infrarrojo, para detectar la presencia de objetos al interrumpir o reflejar dicho haz. En los sensores difusos, el emisor y el receptor están integrados en un mismo cuerpo; la detección ocurre cuando el haz de luz emitido se refleja en la superficie del objeto y regresa al receptor. En cambio, los sensores tipo barrera (o de haz interrumpido) tienen el emisor y receptor separados, de modo que la presencia de

un objeto se detecta cuando interrumpe directamente el haz de luz entre ambos dispositivos. Los más comunes en automatización industrial son precisamente los sensores difusos y los tipo barrera, por su fiabilidad y rapidez de respuesta [31].

Figura 11. Sensor fotoeléctrico



Nota. La imagen muestra un sensor fotoeléctrico de 24V. Esta imagen fue obtenida de [32].

6.3.5. Sensor capacitivo industrial

Los sensores capacitivos detectan variaciones en el campo eléctrico del sensor cuando un objeto se aproxima, sin necesidad de contacto físico. Son especialmente útiles para identificar materiales no metálicos como botellas plásticas o líquidos [33], [34].

6.3.6. Bornera

Las borneras son componentes utilizados para interconectar cables de manera segura, ordenada y modular. Su función principal es permitir la instalación de sensores, motores y actuadores dentro de cajas de conexión de forma limpia y confiable. Existen distintos tipos, como las borneras de paso, de tierra y con fusible, las cuales resultan esenciales para facilitar tareas de diagnóstico, mantenimiento y posibles ampliaciones futuras. Las borneras de paso se emplean para realizar una conexión directa entre dos conductores, asegurando la continuidad eléctrica entre el campo y el tablero. Las borneras de tierra incorporan una conexión metálica al riel DIN, lo que permite la descarga a tierra de señales o carcasas metálicas, garantizando la protección eléctrica del sistema. Por su parte, las borneras con

fusible integran un elemento de protección reemplazable que interrumpe el circuito ante sobrecorrientes o cortocircuitos, evitando daños en los dispositivos conectados [35].

Figura 12. Bornera de 10 contactos



Nota. La imagen muestra una tira de bornera de 10 contactos de hierro. Esta imagen fue obtenida de [36].

6.4. Estructura mecánica y diseño

6.4.1. Perfiles de Aluminio 2020 y 3030

Estos perfiles son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales y de prototipado por su resistencia estructural, ligereza y facilidad de ensamble. Se unen mediante uniones en L, placas, tuercas T-slot y tornillos M4 o M5, lo que permite ensamblajes versátiles, modulares y de rápida instalación. Entre los más comunes se encuentran los perfiles 2020 y 3030, denominados así por sus dimensiones en milímetros. El perfil 2020 posee una sección cuadrada de 20×20 mm, siendo ideal para estructuras ligeras o marcos pequeños, como soportes de sensores o bastidores de impresoras 3D. En cambio, el perfil 3030, con una sección de 30×30 mm, ofrece mayor rigidez y capacidad de carga, por lo que se utiliza en estructuras más robustas, como marcos de máquinas o sistemas con actuadores neumáticos. Ambos conservan el mismo principio de ranura tipo T (T-slot), lo que asegura compatibilidad con una amplia variedad de accesorios industriales [37].

6.4.2. Accesorios para perfiles estructurales

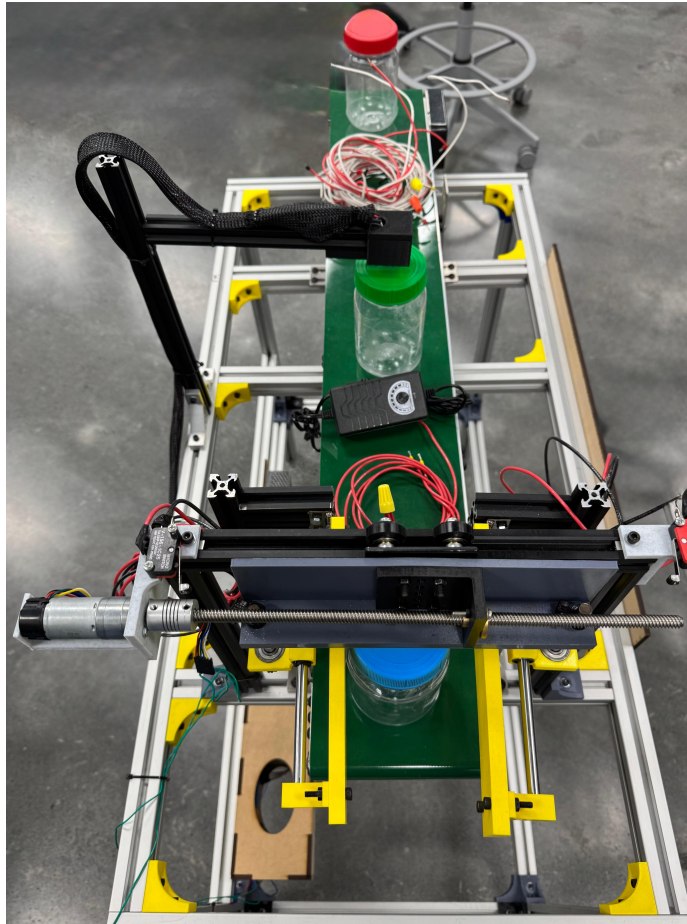
El uso de perfiles de aluminio tipo T-slot y V-slot se complementa con una amplia gama de accesorios que permiten ensamblajes versátiles y modulares. Entre ellos destacan los carritos lineales para perfiles V-slot, que incorporan rodamientos y placas de soporte, facilitando desplazamientos suaves y precisos en aplicaciones de guiado. Asimismo, se utilizan uniones angulares de aluminio o acero para reforzar esquinas y garantizar la rigidez estructural. Las tuercas cuadradas y las tuercas tipo T-slot constituyen elementos fundamentales, ya que se insertan en las ranuras de los perfiles y permiten fijar otros componentes mediante tornillería estándar. Estos accesorios, junto con placas de unión, bisagras y soportes ajustables, convierten a los perfiles modulares en una solución adaptable y eficiente para prototipos, sistemas de automatización y proyectos didácticos [38].

7.1. Diagnóstico inicial

La máquina clasificadora se recibió en condiciones básicas de funcionamiento, pero con diversas limitaciones tanto en su estructura como en el sistema eléctrico y de control. A continuación, se detallan los principales problemas identificados:

- **Sistema eléctrico y de control:** el sensor de color y el motor estaban conectados mediante un montaje provisional en protoboard, lo que generaba conexiones inestables, propensas a falsos contactos y fallos intermitentes.
- **Sistema de accionamiento:** la pieza soporte del motor DC y del final de carrera se encontraba quebrada, lo que afectaba la alineación del movimiento y comprometía la estabilidad del conjunto.
- **Estructura mecánica:** varios soportes y piezas impresas en 3D mostraban poca rigidez, provocando vibraciones y desalineamientos en el sistema de guiado.
- **Cableado:** los conductores se encontraban expuestos y sin canalización adecuada, careciendo de un gabinete eléctrico centralizado que garantizara orden y seguridad.
- **Bandeja de recepción de recipientes:** la máquina no contaba con un sistema para recibir las botellas clasificadas, lo que provocaba que cayeran directamente al suelo al finalizar el proceso.

Figura 13. Estado inicial de la Máquina Clasificadora



Nota. La imagen muestra el estado inicial de la Máquina Clasificadora de Botellas. Elaboración propia.

7.2. Plan de acción

Para dejar la máquina en condiciones óptimas de operación y demostración, se propone el siguiente plan de acción:

- Diseñar e instalar un gabinete eléctrico centralizado, con borneras, fusibles y cableado ordenado para garantizar conexiones seguras y facilitar el mantenimiento.
- Implementar un PCB tipo shield para el control del sensor de color y el motor, eliminando el uso de protoboards y mejorando la estabilidad del sistema.
- Reparar y reforzar la pieza soporte del motor DC y del final de carrera, asegurando su correcta fijación y alineación con el mecanismo de desplazamiento.
- Reemplazar los soportes impresos en 3D por piezas maquinadas en aluminio, incrementando la rigidez estructural y la durabilidad.

- Diseñar e instalar una bandeja de recepción para las botellas clasificadas, que permita recolectarlas de forma ordenada y segura.
- Integrar adecuadamente la conexión entre el Arduino y el PLC Siemens S7-300, para lograr una comunicación confiable entre los sistemas de control.

7.3. Programación del microcontrolador Arduino UNO Rev3

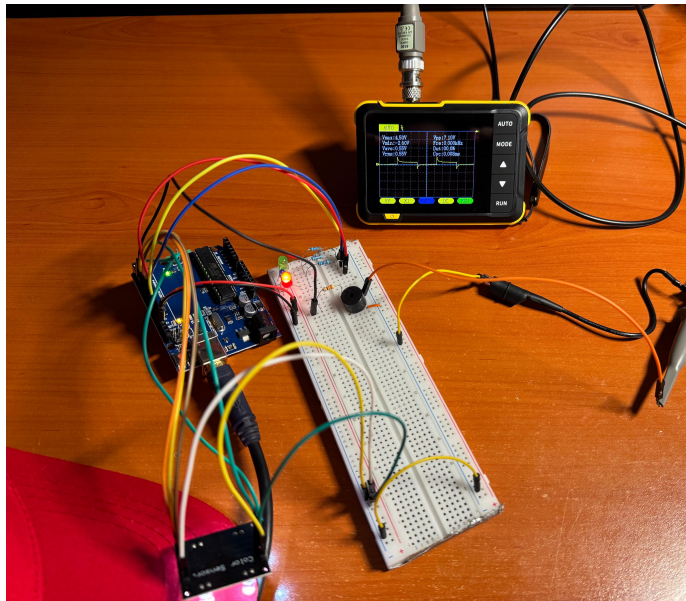
El algoritmo implementado en Arduino primero calibró el sensor en condiciones de luz ambiente controlada, con el fin de obtener valores de referencia para los colores buscados. A partir de esta calibración se definieron rangos y umbrales de decisión basados en las frecuencias generadas por el sensor TCS3200 para cada color, obtenidos mediante pruebas experimentales. El programa utilizado fue desarrollado a partir de una versión modificada del código original elaborado por Frank Martínez en 2024[4], adaptándolo para mejorar la precisión de la clasificación. Durante el proceso de desarrollo, estos rangos de frecuencia fueron ajustados manualmente para hacerlos menos permisivos y evitar clasificaciones ambiguas, garantizando que el sistema respondiera únicamente a las tonalidades correctas de cada color. Esta etapa de calibración fue esencial, ya que las variaciones de iluminación del laboratorio afectaban significativamente las frecuencias medidas por el sensor y podían inducir errores en la clasificación. En el programa también se implementó LEDs para identificar el color detectado por el sensor de color: rojo, verde o celeste. Un Buzzer pasivo también fue incluido para indicar con sonido la detección de los tres colores, con una frecuencia de 1000 Hz para el color rojo, 1500 Hz para el celeste y 2000 Hz para el verde.

7.4. PCB

7.4.1. Prototipo inicial

Anteriormente, la máquina contaba con módulos separados de relés para enviar las señales digitales de detección de color al PLC, además del sensor de color, un Arduino UNO y un puente H. Esta distribución provocaba un sistema poco confiable, con mayor probabilidad de fallos y un cableado desordenado. Debido a estas limitaciones, se elaboró un PCB personalizado que integró todos los componentes necesarios, incluyendo los nuevos elementos considerados en el programa: un buzzer pasivo, tres LEDs indicadores, tres relés y 7 headers de dos pines, lo que permitió centralizar y facilitar las conexiones, mejorar la confiabilidad del sistema y asegurar un ensamblaje más limpio y profesional.

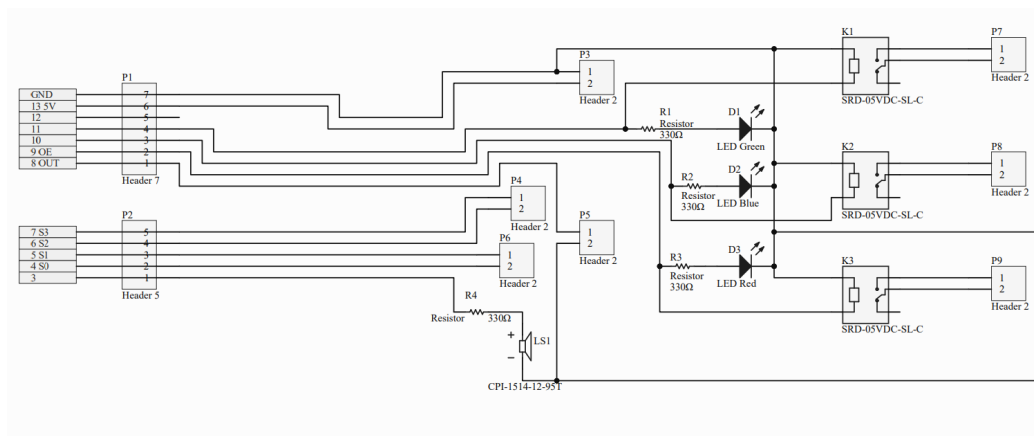
Figura 14. Circuito de PCB preliminar de la Máquina Clasificadora



Nota. La imagen muestra el circuito en protoboard del Arduino UNO con los componentes del PCB. Elaboración propia.

Adicionalmente, se empleó un header de siete pines y otro de cinco pines, que permitieron la interconexión con Arduino UNO. Además, se añadieron siete headers de dos pines, que facilitaron la conexión modular de el sensor de color TCS300 y 3 relés. Este esquema de distribución de pines tuvo como objetivo estandarizar las conexiones, reducir errores de montaje y permitir futuras expansiones sin necesidad de rediseñar la placa desde cero.

Figura 15. Diagrama esquemático de PCB preliminar

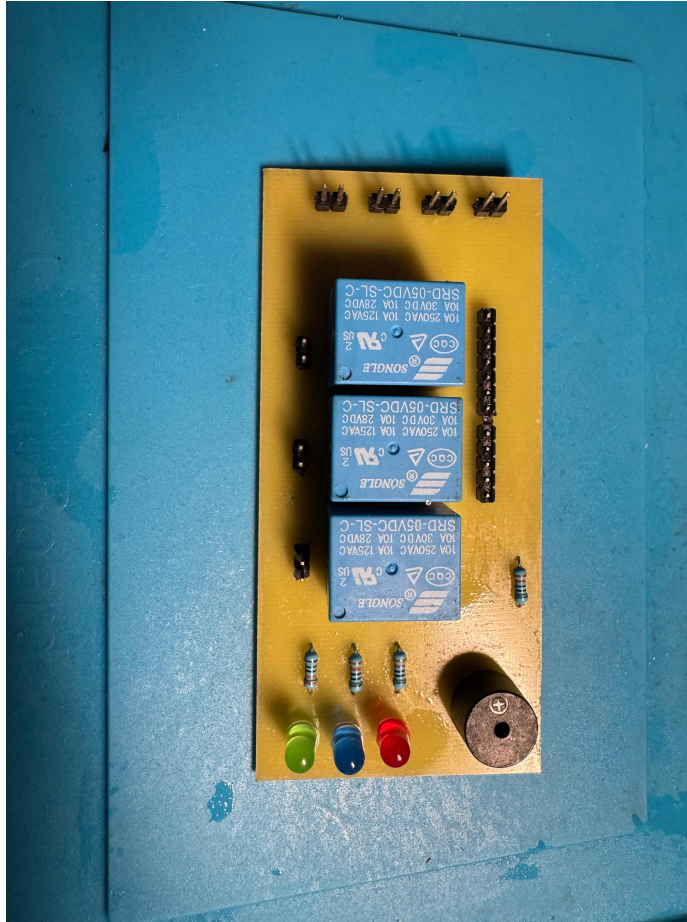


Nota. La imagen muestra el diagrama esquemático del PCB preliminar en Altium Designer. Elaboración propia.

El prototipo inicial mostró correcto funcionamiento. Sin embargo, presentaba limita-

ciones en la conexión con el microcontrolador ya que no fue concebido como un shield directamente acoplable al Arduino UNO.

Figura 16. PCB preliminar ensamblado y soldado



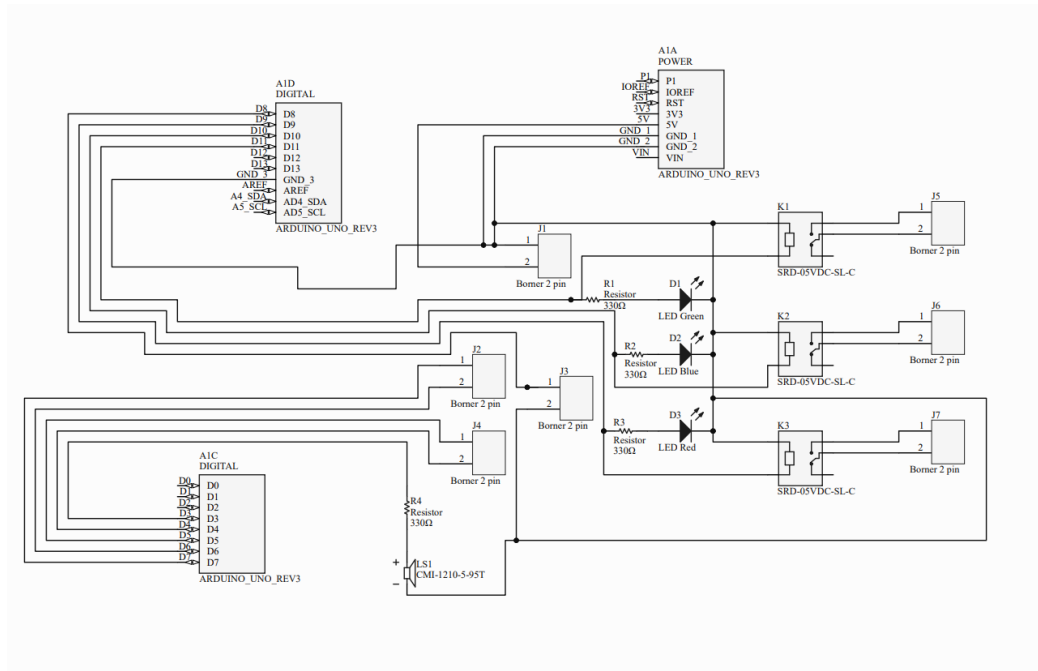
Nota. La imagen muestra el circuito en protoboard del Arduino UNO con componentes del PCB. Esta imagen es una elaboración propia.

7.4.2. Prototipo definitivo

En esta iteración se utilizó un footprint del Arduino UNO Rev3 para los headers de conexión y se reorganizó la distribución de los componentes, integrando bornes de tornillo para actuadores externos en vez de headers de dos pines. El resultado fue un shield totalmente funcional y compatible con el Arduino UNO, que consolidó la lógica de control de la clasificadora en una única placa robusta, reduciendo la complejidad del cableado dentro de la caja de conexiones y mejorando la confiabilidad operativa.

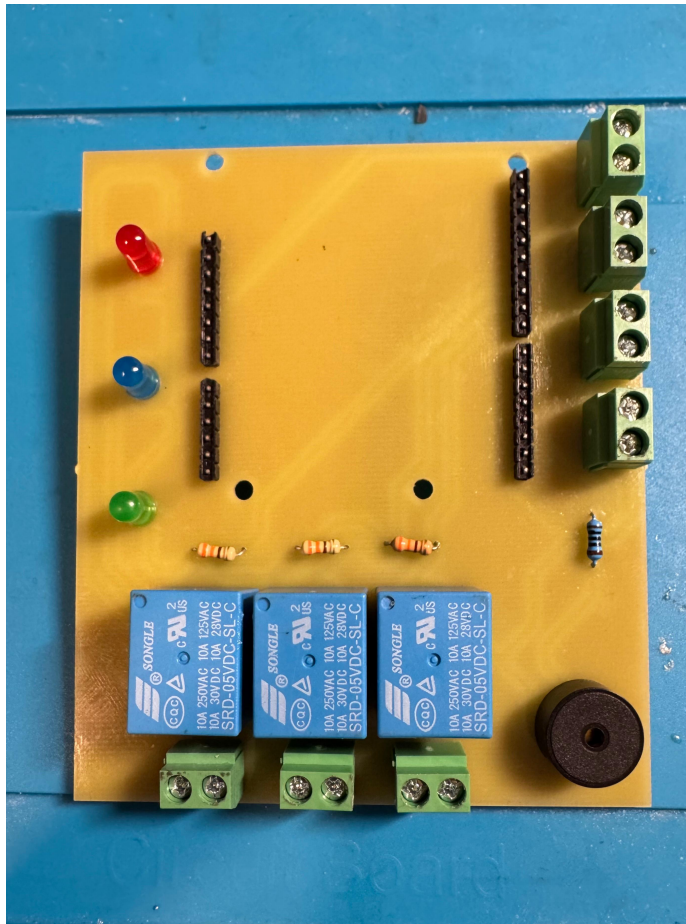
En comparación con el montaje inicial en protoboard, la transición al PCB definitivo representó un salto significativo en robustez mecánica, seguridad eléctrica y presentación visual. Esto no solo favoreció la operación técnica, sino que también aumentó el valor didáctico del prototipo, al acercarlo a la realidad de los sistemas electrónicos industriales.

Figura 17. Esquemático de PCB definitivo



Nota. La imagen muestra el diagrama esquemático del PCB definitivo la Máquina Clasificadora. Elaboración propia.

Figura 18. Ensamblaje final de PCB



Nota. La imagen muestra la placa física definitiva de la Máquina Clasificadora ensamblado y soldado. Elaboración propia.

7.4.3. Resultados de la implementación

El resultado final fue un sistema capaz de clasificar botellas de tres colores principales. El buzzer y los LEDs complementaron la operación al proporcionar información inmediata, tanto a nivel técnico como didáctico.

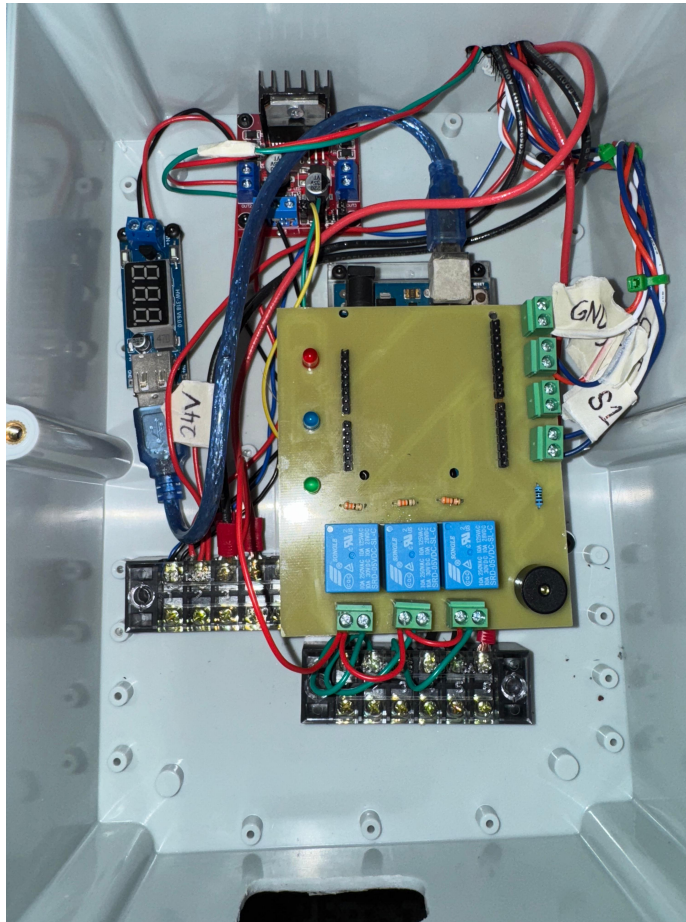
7.5. Estructura mecánica y cableado

7.5.1. Reacondicionamiento eléctrico

El primer paso consistió en reorganizar el sistema eléctrico de la máquina. Se retiraron las conexiones previas y se instaló un gabinete de conexiones compacto que albergó los principales componentes: borneras de distribución, el módulo de puente H L298N y el regulador

de voltaje para la alimentación del microcontrolador. La elección de un gabinete cerrado permitió proteger los elementos sensibles contra polvo y golpes, además de otorgar una apariencia más profesional y cercana a estándares industriales. La fuente de alimentación de 12V de la máquina se reubicó cerca del gabinete de conexiones, con el fin de acortar y mejorar el cableado de alimentación del gabinete.

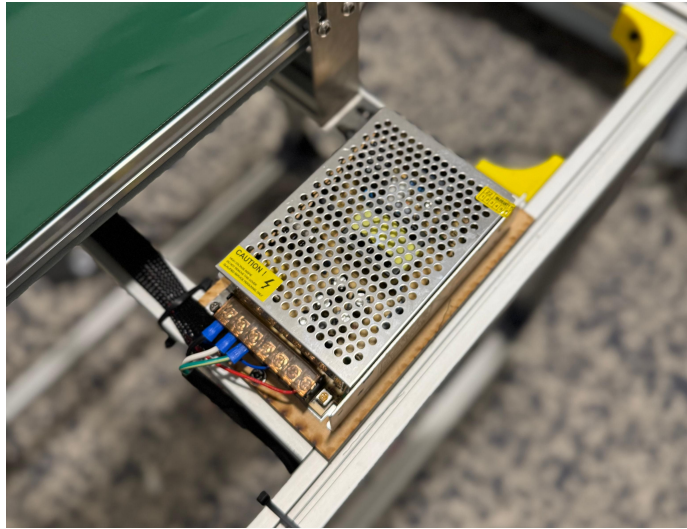
Figura 19. Gabinete de conexiones



Nota. La imagen muestra el interior del gabinete de conexiones de la Máquina Clasificadora. Elaboración propia.

El cableado se agrupó mediante mallas plásticas y se etiquetó siguiendo criterios de función (alimentación, señales de sensores, salidas a motores). Este orden no solo facilitó la depuración durante las pruebas, sino que también incrementó la seguridad del sistema al reducir el riesgo de cortocircuitos por cables sueltos. Posteriormente, se documentó una guía de conexión en formato PDF que describe la función de cada terminal y su correspondencia con el Arduino y el PLC, lo que garantiza la trazabilidad de futuras intervenciones.

Figura 20. Fuente de 12V de la Máquina Clasificadora



Nota. La imagen muestra la fuente de 12V reubicada y cableada en la Máquina Clasificadora. Elaboración propia.

7.5.2. Organización de entradas y salidas

El siguiente paso consistió en definir las señales que debían ser transferidas entre el Arduino y el PLC. El Arduino se encargó del procesamiento de color y de la lógica básica de clasificación, mientras que el PLC coordinó el inicio, paro y sincronización con los demás subsistemas. Las señales de salida del Arduino (clasificación por color) se mapearon hacia entradas digitales del PLC, mientras que las salidas del PLC controlaron el motor del sistema de clasificación por medio del módulo de puente H L298N.

Para facilitar la conexión, el cableado proveniente del Arduino se organizó en borneras normalizadas, que posteriormente fueron enlazadas a las tarjetas de entradas y salidas del PLC. Esta organización no solo permitió un montaje más limpio, sino que también redujo la probabilidad de errores humanos al momento de conectar la máquina.

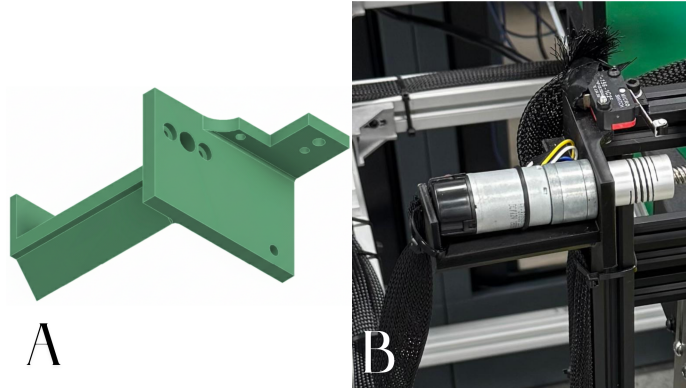
La guía de conexiones puede encontrarse en el Anexo 13.4.

7.5.3. Rediseño de soportes y sensor de fin de carrera

En el ámbito mecánico, uno de los principales problemas detectados fue la falta de rigidez en el soporte del motor DC y del sensor de fin de carrera izquierdo. Estos componentes eran críticos para la operación del sistema, ya que cualquier vibración o desalineación podía afectar la precisión del mecanismo de clasificación. Se diseñó un nuevo soporte mediante impresión 3D en PLA con un relleno del 80 %, la cual, lo cual otorgó mayor resistencia mecánica y redujo la flexión de la pieza. La modificación del diseño de esta pieza incluyó nuevos agujeros para la fijación del motor DC, radios de concordancia para reducir esfuerzos y aumentar resistencia estructural y un aumento en el grosor del soporte del motor DC. El

uso de impresión 3D resultó ventajoso en esta fase, pues permitió realizar varias iteraciones rápidas de diseño sin recurrir a procesos de mecanizado costosos.

Figura 21. Soporte de motor y final de carrera modificado



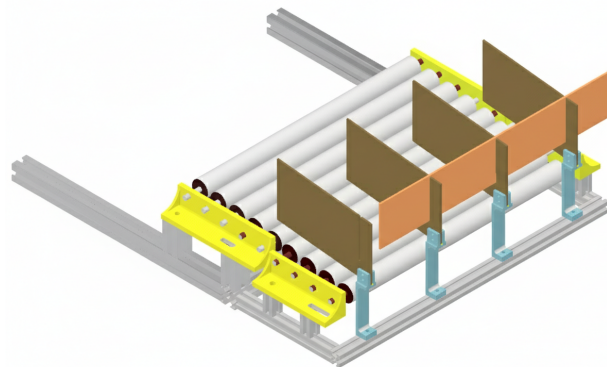
Nota. A: La imagen muestra el diseño CAD en Autodesk Inventor del soporte de motor DC y de final de carrera modificado. Esta imagen es una elaboración propia.

B: La imagen muestra el nuevo soporte de final de carrera y motor DC ensamblado en la máquina clasificadora. Esta imagen es una elaboración propia.

7.6. Implementación de un sistema de clasificación de botellas

El sistema de almacenamiento de botellas, se diseñó para proporcionar el espacio de clasificación que originalmente no estaba presente en la máquina. El diseño de Reyes (2022)[3] incluía una mesa de rodillos para clasificar las botellas. Se optó por implementar un sistema de nueve rodillos alineados en paralelo, cada uno montado sobre soportes diseñados a medida con una pendiente de 6.1° aproximadamente.

Figura 22. Diseño CAD de sistema de almacenamiento de botellas



Nota. La imagen muestra el diseño CAD en Autodesk Inventor del nuevo sistema de clasificación de botellas. Elaboración propia.

7.6.1. Ensamble de los rodillos

Cada rodillo se construyó utilizando un tubo de acero galvanizado como cuerpo principal, debido a su rigidez, durabilidad y baja deformación bajo carga. Para permitir el giro libre, en cada extremo del tubo se instalaron rodamientos R4 de bolas, los cuales actuaron como casquillos de baja fricción.

Como eje central de cada rodillo se empleó un tornillo M8, el cual cumplió una doble función: actuó como émbolo que atravesaba el rodamiento y, al mismo tiempo, permitió sujetar el conjunto a los soportes laterales mediante tuercas de seguridad. Esta solución se eligió por su sencillez, bajo costo y porque los tornillos M8 presentan suficiente resistencia para soportar las cargas propias del transporte de botellas.

Figura 23. Ensamble físico de rodillos



Nota. La imagen muestra el ensamble físico de los primeros rodillos. Esta imagen es una elaboración propia.

7.6.2. Diseño y fabricación de los soportes

Los soportes laterales de la mesa fueron diseñados en CAD y fabricados mediante impresión 3D en PLA. Se optó por esta técnica debido a su flexibilidad para realizar iteraciones rápidas de diseño y a que permitió adaptar los orificios con precisión a los rodamientos de los rodillos. En una primera versión, los orificios resultaron demasiado estrechos, por lo que fue necesario ajustarlos a 9.5 mm en la versión final para que los rodamientos encajaran correctamente.

Cada soporte incluyó un agujero para y un orificio pasante por donde se insertó el tornillo M8, asegurando que el rodillo quedara firmemente sujeto y a la vez pudiera girar libremente. Los soportes se fabricaron en pares y en versión espejo, con el fin de mantener la simetría del sistema y garantizar una alineación adecuada de los rodillos.

7.6.3. Ángulo y disposición de los rodillos

Los nueve rodillos se distribuyeron de manera equidistante sobre los soportes, montados en dos filas unidas a perfiles estructurales de aluminio 2020. Estos perfiles proporcionaron rigidez y facilidad de montaje, además de permitir fijar el sistema al chasis principal de la máquina.

Figura 24. Ensamblaje físico de soporte de rodillos



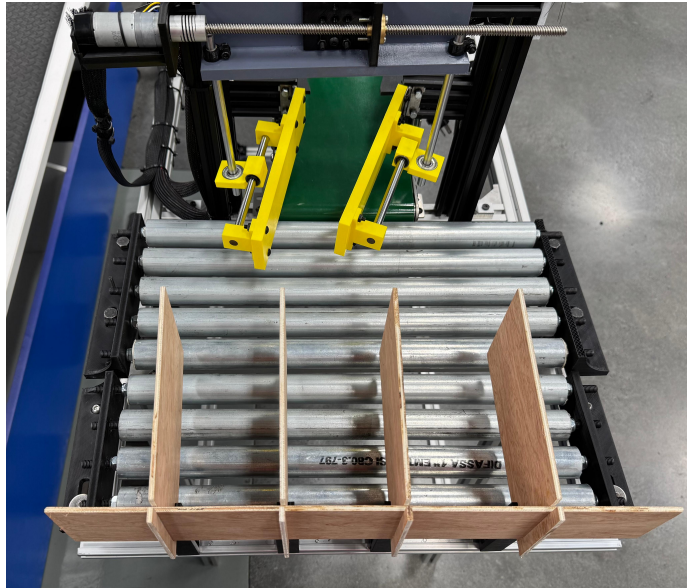
Nota. La imagen muestra ensamble físico de uno de los 4 soportes de rodillos con perfiles 2020 para el sistema de clasificación de botellas. Elaboración propia.

El conjunto completo se diseñó con una ligera inclinación hacia la salida, con el objetivo de que las botellas mantuvieran una trayectoria estable y se desplazaran por gravedad de manera uniforme. Esta pendiente se definió de acuerdo con pruebas empíricas, buscando un balance entre velocidad de avance y estabilidad para evitar que los envases rodaran fuera de la trayectoria prevista.

La mesa de rodillos final estuvo compuesta por:

- 9 rodillos de tubo de acero galvanizado con rodamientos en ambos extremos.
- Tornillos M8 como ejes centrales y elementos de fijación.
- Soportes laterales impresos en 3D en PLA, diseñados a medida con alojamientos para rodamientos.

Figura 25. Resultado físico del sistema de almacenamiento de botellas



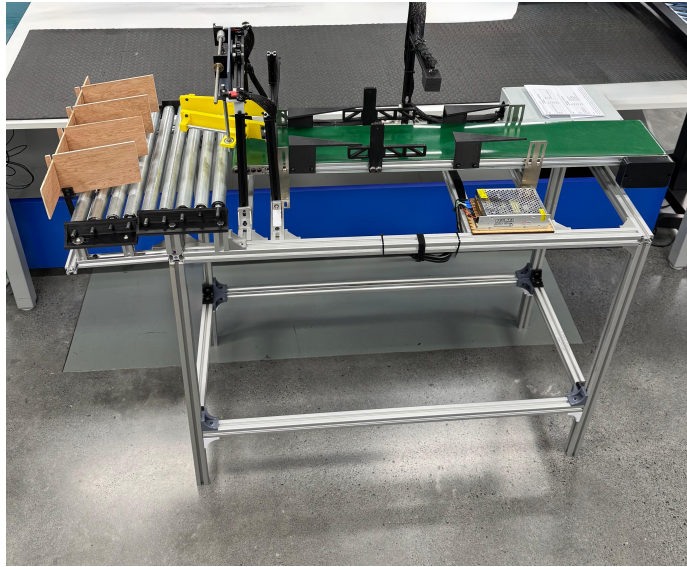
Nota. La imagen muestra el sistema físico ensamblado de recolección de botellas. Elaboración propia.

Los planos pueden encontrarse en el Anexo 13.1.

7.6.4. Resultado final

Con la reorganización eléctrica y las mejoras mecánicas, la clasificadora adquirió un carácter más robusto y profesional. El gabinete de conexiones y la guía de cableado permitieron estandarizar la parte eléctrica, mientras que los nuevos soportes y la mesa de rodillos optimizaron la parte mecánica. El resultado fue una máquina más confiable, segura y visualmente ordenada, lista para su integración con las demás máquinas del laboratorio

Figura 26. Resultado final de Máquina Clasificadora de Botellas



Nota. La imagen muestra el sistema físico terminado de la Máquina Clasificadora. Elaboración propia.

7.7. Integración con PLC

La integración de la máquina clasificadora con el PLC Siemens S7-300 representó la etapa final de su reacondicionamiento.

7.7.1. Programación en PLC

La lógica de control en lenguaje ladder utilizada para la máquina se basó en el programa desarrollado por Martínez (2024)[4]. A este código únicamente se le realizaron ajustes en los tiempos de los temporizadores, con el fin de calibrar la máquina. Esta modificación fue necesaria porque, al aplicar los valores originales, el sistema no lograba una alineación adecuada del sistema de clasificación, por lo que se requirió adaptar los intervalos de tiempo para garantizar un funcionamiento centrado y confiable.

7.7.2. Validación del sistema integrado

Las pruebas del sistema integrado se realizaron con botellas de diferentes colores sobre la banda transportadora. Durante estas pruebas se verificó que la clasificación no solo dependiera del algoritmo en Arduino, sino también de la lógica implementada en el PLC.

El resultado fue un sistema más robusto, en el cual la colaboración entre Arduino y PLC permitió combinar la flexibilidad del microcontrolador con la confiabilidad industrial del controlador programable. El sistema final logró clasificar botellas de manera más confiable,

reduciendo los errores de clasificación que se habían observado en las primeras etapas de desarrollo. Sin embargo, el sistema de almacenamiento de botellas aún presenta una limitación importante: la baja pendiente de la mesa de rodillos, la cual dificulta el desplazamiento natural de las botellas y provoca que no avancen con la fluidez esperada. Esta deficiencia mecánica deberá considerarse en futuras mejoras para optimizar el flujo continuo de envases dentro del proceso.

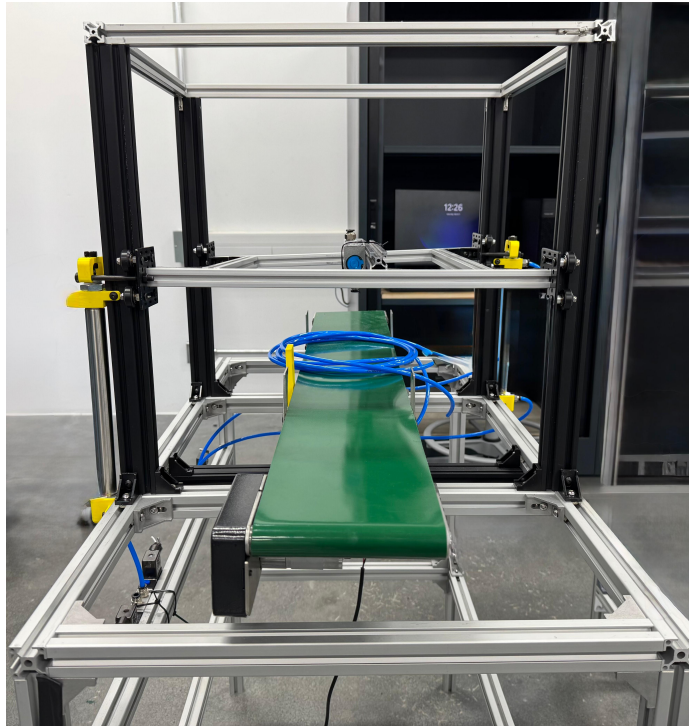
Máquina Limpiadora de Botellas

8.1. Diagnóstico inicial

La máquina limpiadora se recibió en un estado incompleto y con diversas deficiencias que impedían su correcto funcionamiento en el laboratorio de automatización industrial. Se identificaron fallos tanto en la estructura mecánica como en los sistemas neumático, eléctrico y de control. A continuación, se detallan los principales problemas encontrados:

- **Estructura mecánica:** varias uniones y componentes se encontraban flojos o ensamblados de manera provisional, reduciendo la rigidez del sistema y comprometiendo la estabilidad durante el ciclo de limpieza.
- **Sistema neumático:** la distribución de aire no estaba correctamente instalada. Faltaban racores, mangueras y un regulador de presión, lo que impedía un accionamiento controlado y seguro de los cilindros neumáticos y de la válvula de soplado.
- **Sensor de detección:** el sensor capacitivo instalado presentaba baja confiabilidad, generando lecturas inestables y falsos positivos al detectar la presencia de botellas, lo que hacía necesario sustituirlo por un sensor óptico más preciso.
- **Sistema eléctrico:** la máquina carecía de cableado para los relés de control y no contaba con un gabinete de conexiones que organizara y protegiera los conductores, dejando el sistema expuesto a fallos y dificultando la integración con el PLC.
- **Control y programación:** no existía una programación funcional en el PLC Siemens S7-300, por lo que el ciclo de soplado no estaba definido ni automatizado, impidiendo cualquier operación confiable.

Figura 27. Estado inicial de la Máquina Limpiadora de Botellas



Nota. La imagen muestra el estado inicial de la Máquina Limpiadora. Elaboración propia.

8.2. Plan de acción

Con base en el diagnóstico realizado, se diseñó un plan de acción orientado a restaurar y optimizar la operación de la máquina, abordando mejoras mecánicas, neumáticas, eléctricas y de programación:

- **Reforzar la estructura mecánica:** ajustar uniones, sustituir componentes provisionales y garantizar un ensamblaje estable que soporte adecuadamente el uso en el laboratorio.
- **Reconstruir la distribución neumática:** instalar los racores faltantes, reorganizar mangueras, añadir un regulador de presión y asegurar un suministro constante hacia la válvula y el cilindro.
- **Sustituir el sensor capacitivo por un sensor óptico:** implementar un sensor más confiable para mejorar la detección de botellas antes del ciclo de soplado.
- **Realizar el cableado completo del sistema:** instalar conductores nuevos, montar los relés correspondientes y construir un gabinete de conexiones que permita un orden adecuado y facilite el mantenimiento.
- **Instalar y cablear finales de carrera:** colocar finales de carrera para identificar

las posiciones del cilindro, integrarlos al PLC y garantizar un control seguro del movimiento.

- **Desarrollar una nueva programación en PLC:** implementar un programa en Ladder que controle la detección, el posicionamiento y el soplado, asegurando un ciclo totalmente automático y confiable.

8.3. Ajustes y elementos de estructura mecánica

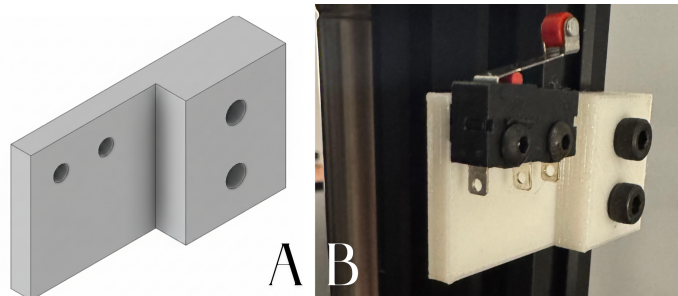
La máquina fue sometida a un proceso de reacondicionamiento general orientado a mejorar su estabilidad y confiabilidad. Se reforzó la estructura utilizando exclusivamente angulares de aluminio, lo cual permitió estandarizar la unión de los perfiles y garantizar mayor rigidez en las conexiones. En los puntos necesarios se añadieron tornillos y tuercas, y en todas las uniones que presentaban holgura se aplicó un ajuste manual, eliminando movimientos indeseados.

En esta fase se diseñaron y fabricaron múltiples piezas de soporte mediante modelado CAD e impresión 3D. Las piezas diseñadas fabricadas fueron:

- Soportes de finales de carrera
- Soportes de válvulas neumáticas de los cilindros
- Soporte de regulador de presión neumática

Los soportes para finales de carrera permitieron la instalación de dos sensores: uno en la parte superior de la máquina y otro en la parte inferior.

Figura 28. Soporte de finales de carrera

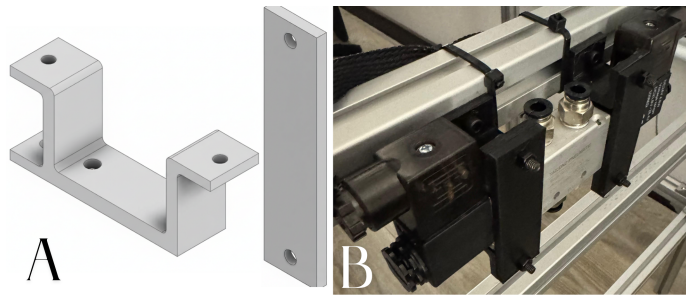


Nota. A: La imagen muestra el diseño CAD de los 2 finales de carrera de la máquina Limpiadora en Autodesk Inventor. Elaboración propia.

B: La imagen muestra el soporte físico ensamblado de final de carrera en la Máquina Limpiadora. Elaboración propia.

El soporte para las válvulas neumáticas está compuesto por dos piezas principales que fijan el mecanismo de manera firme a la estructura.

Figura 29. Soporte de válvulas neumáticas

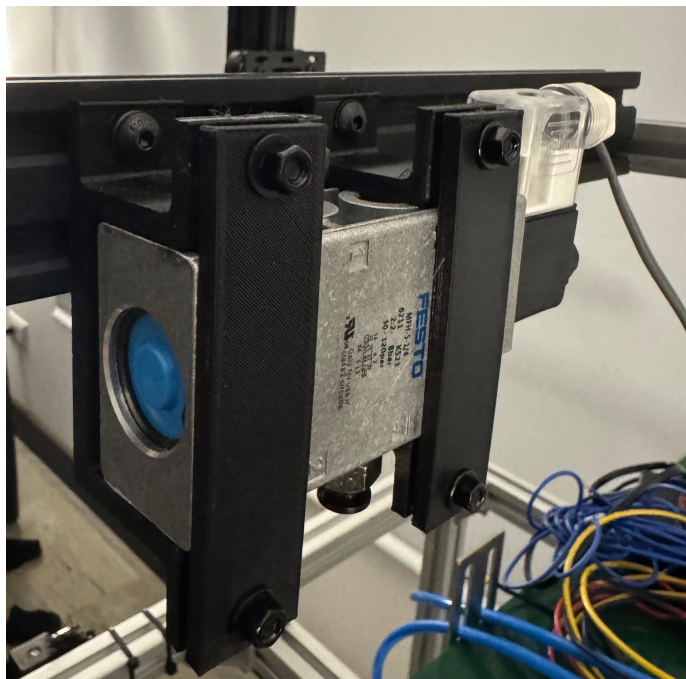


Nota. A: La imagen muestra el diseño CAD del soporte de las válvulas neumáticas. Elaboración propia.

B: La imagen muestra el soporte ensamblado junto con las válvulas neumáticas en la Máquina Limpiadora. Elaboración propia.

También, se desarrolló un soporte para la válvula de soplado ubicada en el centro de la máquina, optimizando tanto su posición como la accesibilidad para mantenimiento. Todos los diseños fueron fabricados en filamento con alta densidad, 50 %, con el fin de incrementar la resistencia de las piezas críticas y garantizar su durabilidad en el entorno de pruebas.

Figura 30. Soporte de válvula de soplado

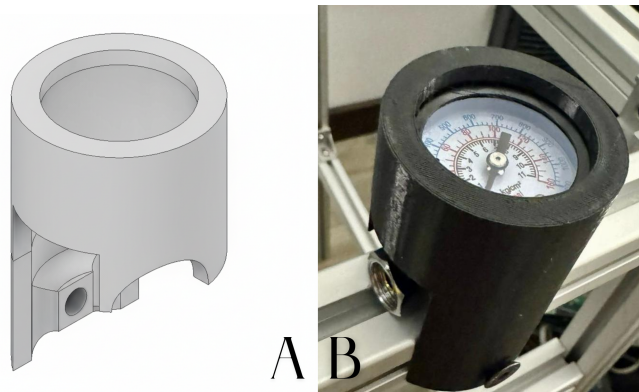


Nota. La imagen muestra el soporte de la válvula de soplado ensamblado en la Máquina Limpiadora. Elaboración propia.

Adicionalmente, se desarrolló un soporte para el regulador de presión neumática Truper implementado en la máquina, asegurando de este modo la estabilidad y funcionalidad de

éste elemento en la estructura.

Figura 31. Soporte de regulador de presión neumática



Nota. A: La imagen muestra el diseño CAD del soporte del regulador de presión neumática. Elaboración propia.

B: Soporte de regulador de presión neumática junto con regulador ensamblado en la Máquina Limpiadora. Elaboración propia.

Los planos pueden encontrarse en el Anexo 13.1.

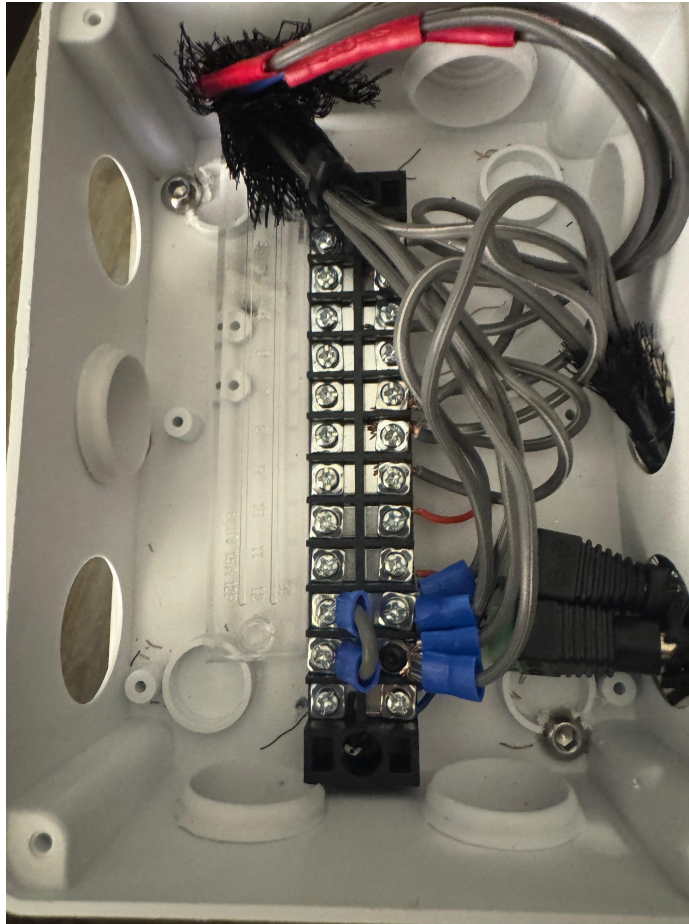
8.4. Conexión neumática

El sistema neumático fue reestructurado con la incorporación de un regulador de presión Truper que permite mantener valores de presión neumática estables y seguros para su funcionamiento. Desde este regulador se distribuyó el aire comprimido hacia todas las válvulas mediante racores en T, de manera que los cilindros pudieran operar en paralelo sin pérdidas significativas de presión. Esta configuración aseguró que la plataforma de soplado y las compuertas neumáticas trabajaran de forma equilibrada, reduciendo la brusquedad en los movimientos y prolongando la vida útil de los actuadores.

8.5. Caja de conexiones y cableado de la máquina

La máquina fue recibida sin cableado en la sección de válvulas, por lo que se construyeron nuevas conexiones para los relés encargados de su activación. Estas líneas fueron organizadas dentro de una caja de conexiones instalada en la parte lateral de la estructura, la cual se habilitó con cortes y fijaciones para facilitar el paso de cables y el montaje de componentes.

Figura 32. Gabinete de conexiones de Máquina Limpiadora



Nota. La imagen muestra el interior del gabinete de conexiones de la Máquina Limpiadora. Elaboración propia.

El cableado general se ordenó mediante mallas plásticas protectoras, lo que permitió mejorar la estética y la seguridad operativa. Dentro de la caja se centralizaron todos los conductores provenientes de los sensores y válvulas, integrando además borneras y terminales para facilitar labores de mantenimiento. Finalmente, se elaboró una guía de conexión que documenta de manera clara la interconexión entre la máquina, el PLC y los periféricos asociados, asegurando trazabilidad y facilidad en futuras intervenciones técnicas.

La guía de conexiones puede encontrarse en el Anexo 13.4.

8.6. Implementación de sensor fotoeléctrico

Con el objetivo de optimizar la detección de envases, se sustituyó el sensor capacitivo original por un sensor fotoeléctrico tipo reflex. Este dispositivo fue instalado en la misma posición que el sensor anterior y conectado a la caja de control. La elección del sensor

respondió a la necesidad de contar con un sistema de detección más confiable y menos susceptible a factores externos como humedad, suciedad o variaciones en la superficie de los envases. Gracias a esta implementación, la máquina mejoró significativamente la precisión de activación del sistema de soplado.

8.7. Cambios en la programación del PLC

La programación implementada en lenguaje Ladder del PLC Siemens S7-300 para esta máquina fue elaborada desde cero con el fin de integrar la nueva lógica de los finales de carrera y sensores ópticos. Se configuró que el sistema detuviera o habilitara los movimientos de la plataforma en función de las señales recibidas por estos dispositivos, lo que permitió evitar impactos en los extremos de recorrido de los cilindros neumáticos. La lógica del programa quedó de la siguiente forma:

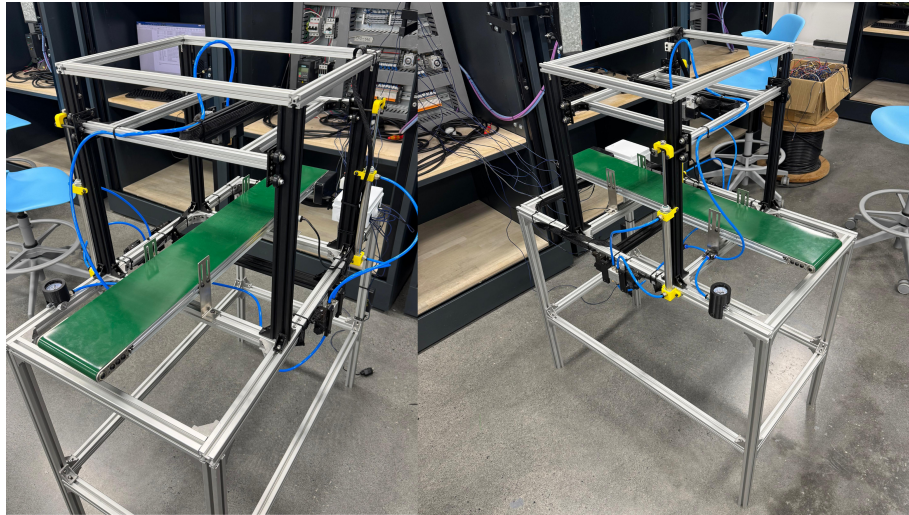
- Detección del sensor óptico.
- Parar banda transportadora.
- Bajar plataforma de soplado.
- Activar válvula de soplado.
- Subir plataforma de soplado a posición inicial.
- Reanudar banda transportadora.

Este nuevo programa mejoró la seguridad operativa y la confiabilidad del proceso, ya que la máquina ahora responde de manera automática a las condiciones físicas de límite en su estructura. Adicionalmente, la lógica de programación implementada al sensor fotoeléctrico permitió sincronizar con mayor precisión las acciones de soplado y apertura de compuertas. Esto puede encontrarse en el Anexo 13.5.

8.8. Resultado final

El reacondicionamiento de la Máquina Limpiadora permitió devolverle funcionalidad y seguridad en su operación. Como resultado, la Máquina Limpiadora ahora opera de forma confiable y estética, cumpliendo su función didáctica de manera segura y eficiente para prácticas en el laboratorio de Automatización Industrial.

Figura 33. Resultado final de la Máquina Limpiadora



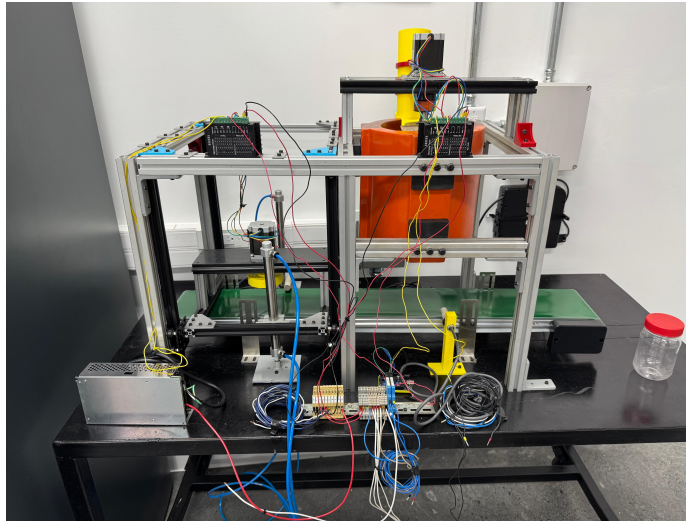
Nota. La imagen muestra el sistema físico terminado de la Máquina Limpiadora. Elaboración propia.

9.1. Diagnóstico inicial

La máquina enroscadora se recibió en un estado operativo limitado y con múltiples deficiencias en los sistemas mecánico, neumático, eléctrico y de control. Estas condiciones impedían su funcionamiento confiable dentro del laboratorio de automatización industrial. A continuación, se detallan los principales problemas identificados:

- **Estructura mecánica:** varios componentes estructurales y soportes del sistema de enroscado estaban elaborados en impresión 3D, presentando baja rigidez, desgaste prematuro y deformaciones que afectaban la alineación del mecanismo.
- **Sistema neumático:** la máquina no contaba con un regulador de presión ni con una distribución neumática adecuada. Se observó ausencia de una organización apropiada para alimentar los cilindros utilizados en la plataforma de roscado.
- **Finales de carrera:** no existían finales de carrera en las posiciones críticas del mecanismo de roscado, lo que impedía conocer los límites del movimiento y aumentaba el riesgo de colisiones.
- **Sistema eléctrico:** el cableado se encontraba desordenado y sin canalización adecuada. Tampoco existía un gabinete eléctrico que centralizara los drivers TB6600, relés y demás conexiones, lo que generaba inestabilidad y dificultaba el mantenimiento.
- **Sensores:** los sensores capacitivos instalados no ofrecían una detección confiable de la presencia del envase, provocando que los ciclos de roscado y distribución de tapaderas no se activaran. Esto hacía necesario el reemplazarlo por sensores ópticos más adecuados al proceso.
- **Sistema de roscado:** la pieza de roscado se encontraba rota.

Figura 34. Estado inicial de la Máquina Roscadora



Nota. La imagen muestra el estado inicial de la Máquina Roscadora. Elaboración propia.

9.2. Plan de acción

Con base en el diagnóstico realizado, se diseñó un plan de acción orientado a restaurar la funcionalidad de la máquina y mejorar su precisión y estabilidad operativa. El plan contempló mejoras mecánicas, neumáticas, eléctricas y de control:

- **Revisión de la programación del microcontrolador Arduino UNO:** evaluación del código existente para identificar entradas y salidas del sistema, además de oportunidades de optimización y mejora de confiabilidad del sistema.
- **Diseño y fabricación de un PCB para el control de los motores NEMA23:** desarrollo de una placa de circuito impreso dedicada para integrar y gestionar las señales de control de los motores paso a paso.
- **Reemplazo de piezas impresas en 3D:** sustituir los componentes estructurales críticos por piezas maquinadas en aluminio para incrementar la rigidez, reducir vibraciones y mejorar la durabilidad del sistema de enrosque.
- **Rediseño del sistema neumático:** instalar un regulador de presión, reorganizar el cableado neumático y añadir los racores necesarios para garantizar un suministro adecuado a los cilindros encargados de la colocación de tapas.
- **Instalación de finales de carrera:** colocar y cablear finales de carrera en las posiciones clave del sistema circular de enroscado para permitir un control seguro del movimiento y evitar colisiones.
- **Reorganización del cableado eléctrico:** instalar canalizaciones, reorganizar conductores, etiquetar líneas y garantizar conexiones seguras, estables y fáciles de mantener.

- **Implementación de dos gabinetes eléctricos:**
 - **Gabinete 1:** instalación de drivers TB6600, PCB de control, relés y fuente de alimentación.
 - **Gabinete 2:** instalación de borneras para la conexión ordenada entre la máquina y los tableros del laboratorio.
- **Sustitución de sensores capacitivos por sensores ópticos:** mejorar la detección de envases previo a los procesos de distribución y roscado para asegurar activaciones precisas.
- **Desarrollo de una nueva programación en PLC:** crear un programa en Ladder para controlar la secuencia completa: detección, posicionamiento, colocación de tapa y enroscado, integrando de forma confiable la comunicación con el microcontrolador.

9.3. Programación del microcontrolador PIC16F887

Inicialmente, la máquina roscadora operaba con una programación desarrollada en Arduino por José Orellana [6]. Tras un análisis de este código, se identificó que la generación de la señal de control para los drivers TB6600 se realizaba mediante instrucciones de retardo, lo cual resultaba poco eficiente y limitaba la escalabilidad del sistema.

Con el objetivo de optimizar el control, se decidió sustituir el Arduino por un microcontrolador PIC16F887, el cual ofrecía mayor robustez, eficiencia en el uso de recursos y una mejor integración en el gabinete de conexiones, al mismo tiempo que facilitaba el diseño de un PCB dedicado.

Se elaboró un programa desde cero empleando el compilador XC8, en el cual se incorporaron los siguientes elementos:

- Watchdog Timer (WDT): implementado para evitar que el sistema quedara bloqueado en caso de un error en la ejecución, asegurando un reinicio automático.
- Master Clear Reset (MCLR): habilitado para permitir reinicios manuales o automáticos del microcontrolador en situaciones críticas.
- Generación de PWM por hardware: se utilizaron los módulos CCP1 y CCP2 del PIC16F887 para generar dos señales PWM independientes y estables, garantizando la correcta operación de los drivers TB6600.
- Canal de depuración serial: integrado únicamente durante la etapa de pruebas en protoboard, para monitorear en tiempo real el comportamiento del sistema. Este canal no fue incluido en el diseño del PCB final.

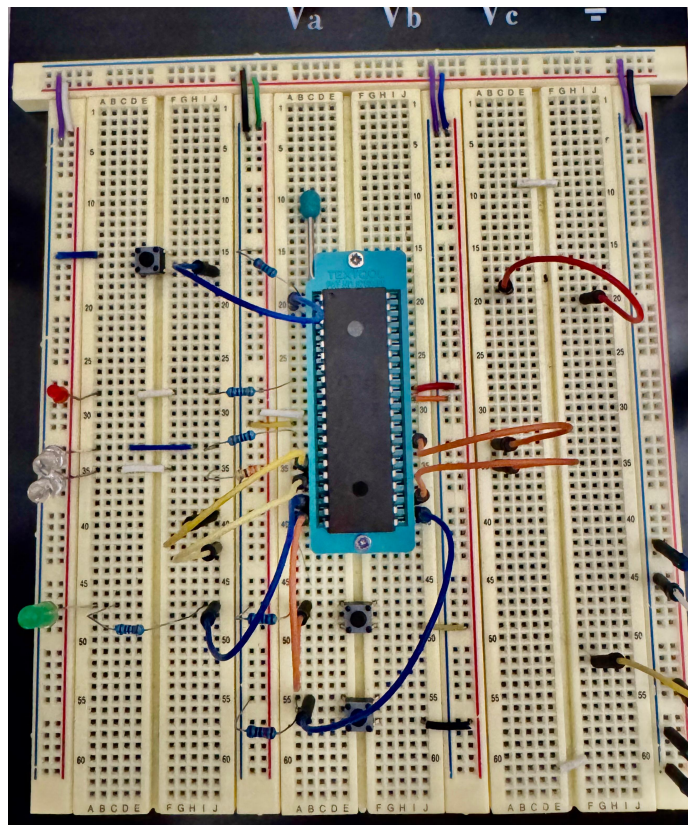
Seis salidas digitales:

- Un LED verde para indicar el inicio del sistema; al permanecer encendido confirma que el microcontrolador se encuentra inicializado.

- Dos LEDs blancos que muestran en cuál de los dos canales se está generando la señal PWM, o si ambos se encuentran activos.
- Un LED amarillo que indica un reinicio por acción del WDT. Aunque se espera que no se active durante el funcionamiento normal, su inclusión facilita las tareas de diagnóstico y mantenimiento.
- Dos salidas de control Enable (EN): destinadas a habilitar cada driver TB6600; el estado activo corresponde a nivel bajo (LOW, 0 V).
- Dos entradas digitales: encargadas de habilitar la generación de las señales PWM. Cuando ambas se encuentran en nivel alto (HIGH), los módulos CCP1 y CCP2 comienzan a emitir las señales correspondientes, las salidas Enable pasan a estado activo (LOW) y se encienden los LEDs asociados a los canales habilitados.

La nueva programación permitió un control más confiable y profesional del sistema de enroscado, eliminando las limitaciones del enfoque anterior y asegurando una operación estable en el entorno industrial-didáctico.

Figura 35. Circuito de PCB preliminar de la Máquina Roscadora



Nota. La imagen muestra el circuito físico preliminar del PCB para la Máquina Roscadora. Elaboración propia.

9.4. Diseño y fabricación del PCB de control de motores

Con el fin de integrar de manera ordenada y compacta la lógica de control desarrollada en el microcontrolador, se diseñó un PCB dedicado para la máquina roscadora. Este circuito incluyó todos los elementos definidos en la programación, junto con componentes adicionales destinados a mejorar la estabilidad y confiabilidad del sistema.

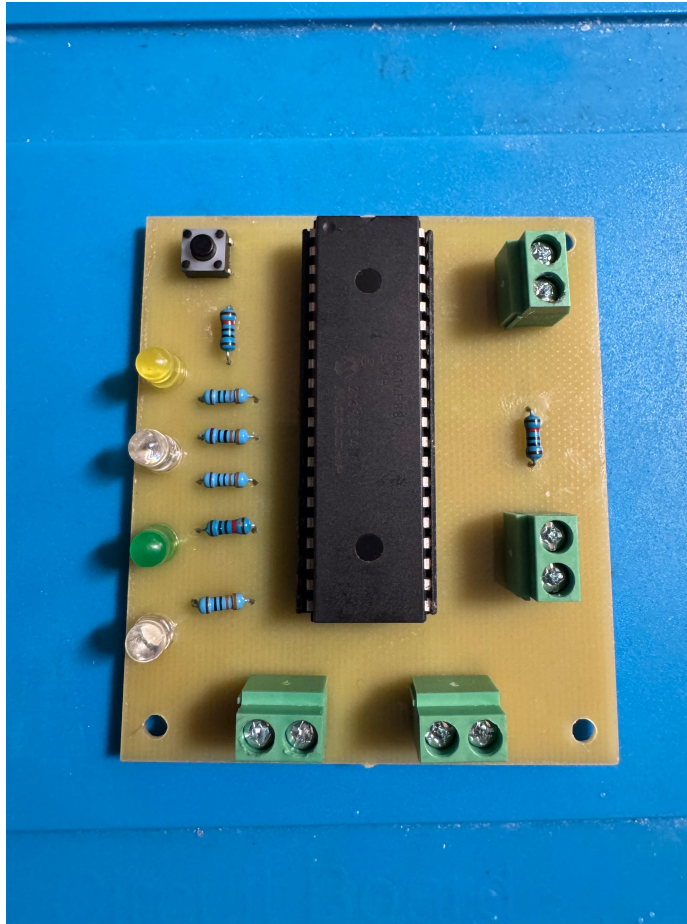
El PCB fue diseñado alrededor de un socket de 40 pines compatible con el microcontrolador PIC16F887, lo que permite la sustitución rápida del dispositivo en caso de mantenimiento. Para garantizar la correcta lectura de señales digitales se implementaron dos resistencias de 10k ohms en configuración pull-down en las entradas del sistema. Asimismo, se incorporaron cuatro resistencias de 330 ohms en serie con los LEDs indicadores, asegurando el funcionamiento seguro de los diodos emisores de luz.

En cuanto a la distribución de conexiones, el diseño contempló:

- Bornera de dos puertos para la alimentación de 5 V de la placa.
- Bornera de dos puertos destinada a la salida de los dos canales PWM.
- Bornera de dos puertos para las señales Enable de los drivers TB6600.
- Bornera de dos puertos correspondiente a las entradas digitales con resistencias pull-down.

Adicionalmente, se incluyó un botón con resistencia de pull-up de 10k ohms, empleado como entrada de control o reinicio manual del sistema. Para el montaje físico, la placa fue diseñada con tres orificios de 4 mm de diámetro, que permiten fijarla de manera segura en el gabinete de conexiones.

Figura 36. Placa de circuito impreso de Máquina Roscadora



Nota. La imagen muestra el PCB del nuevo sistema de control de motores de la Máquina Roscadora. Elaboración propia.

Las pruebas iniciales se realizaron en protoboard, verificando la estabilidad del programa y la respuesta del microcontrolador. Posteriormente, al ensamblar y energizar el PCB final, se confirmó que el comportamiento coincidía con el prototipo, validando el diseño y asegurando su confiabilidad en operación.

9.5. Ajuste mecánico general y reemplazo de piezas estructurales

La estructura de la máquina presentaba elementos estructurales críticos fabricados en impresión 3D como soportes angulares de entre perfiles T-slot 3030 en la estructura de la máquina y entre perfiles V-slot 2020 en la plataforma de roscado. Estas piezas mostraban desgaste, deformaciones y baja rigidez, lo que provocaba vibraciones y desalineación durante el ciclo.

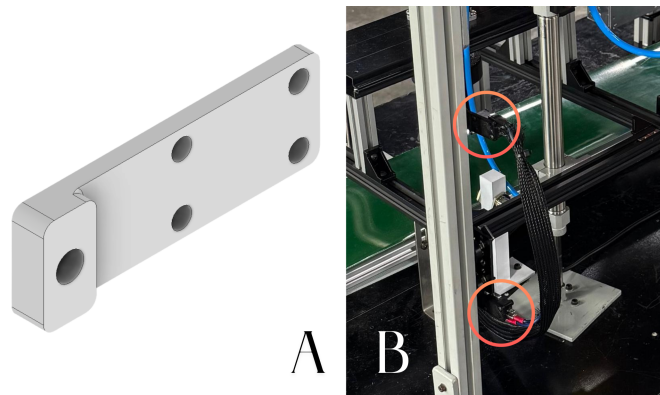
Para garantizar estabilidad estructural y prolongar la vida útil del mecanismo, se reemplazó las piezas estructurales impresas en 3D por piezas maquinadas en aluminio. Este cambio permitió Aumentar la rigidez y estabilidad del sistema de roscado y la máquina en general.

9.6. Piezas nuevas diseñadas e impresas en 3D

Aunque los elementos estructurales principales se reemplazaron por aluminio, se fabricaron varias piezas secundarias mediante impresión 3D con PLA para asegurar la funcionalidad, orden y estética del sistema. Las piezas diseñadas e implementadas son:

- Dos soportes de finales de carrera para la plataforma de roscado.
- Dos soportes para las válvulas neumáticas Festo, ubicadas en la parte superior del sistema.
- Un soporte para el regulador de presión neumática, instalado a un costado de la máquina.
- Un nuevo roscador para acoplar al motor NEMA23 en la plataforma de roscado.

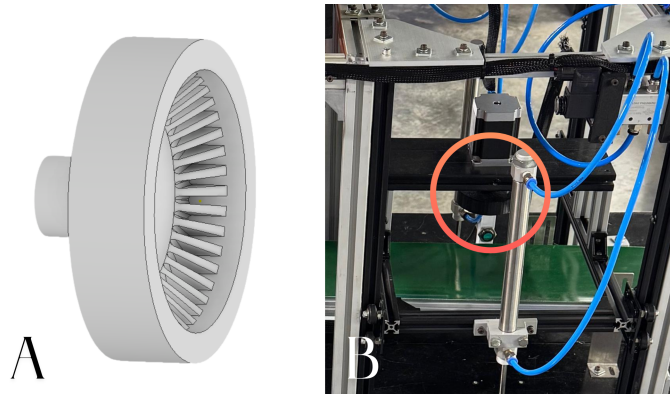
Figura 37. Soporte de finales de carrera



Nota. A: La imagen muestra el diseño CAD de los soportes de final de carrera. Elaboración propia.

B: Finales de carrera ensamblados en Máquina Roscadora. Elaboración propia.

Figura 38. Acople para roscado de tapaderas



Nota. A: La imagen muestra el diseño CAD del acople roscador de tapaderas. Elaboración propia.
B: Roscador ensamblado en Máquina Roscadora. Elaboración propia.

Estas piezas fueron impresas con densidad del 40–60 %, garantizando resistencia suficiente para su función sin comprometer la estética ni aumentar el peso total. Los planos pueden encontrarse en el Anexo 13.1.

9.7. Reorganización eléctrica y gabinetes de conexiones

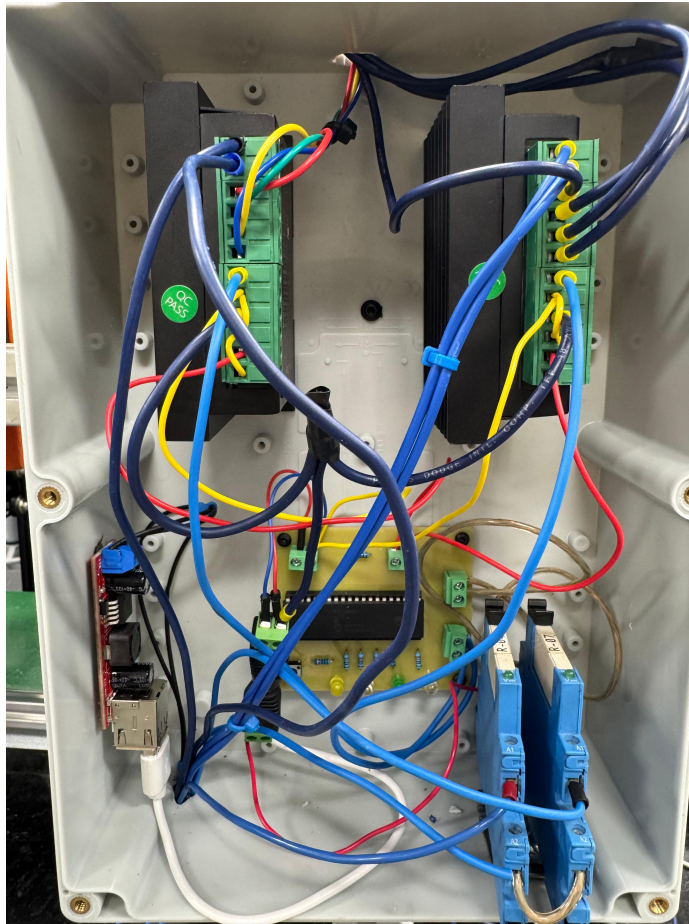
El sistema eléctrico original presentaba un cableado desordenado, expuesto y sin canalización, lo que dificultaba la depuración, y la conexión de la máquina a los tableros del laboratorio de Automatización Industrial.

Para abordar esta problemática se instalaron dos gabinetes de conexiones, cada una con una función específica:

9.7.1. Gabinete 1 - Control de motores NEMA23

- Dos controladores TB6600 para los motores paso a paso NEMA23.
- Un módulo step-down para regular la alimentación de 24 V del laboratorio hacia 5 V para el PCB.
- El PCB diseñado para el PIC16F887, completamente integrado al sistema.
- Dos relés de 24 V con riel Din, que permiten la comunicación segura entre el PLC Siemens S7-300 y el microcontrolador, actuando como aislamiento eléctrico.

Figura 39. Gabinete de conexiones de control de motores



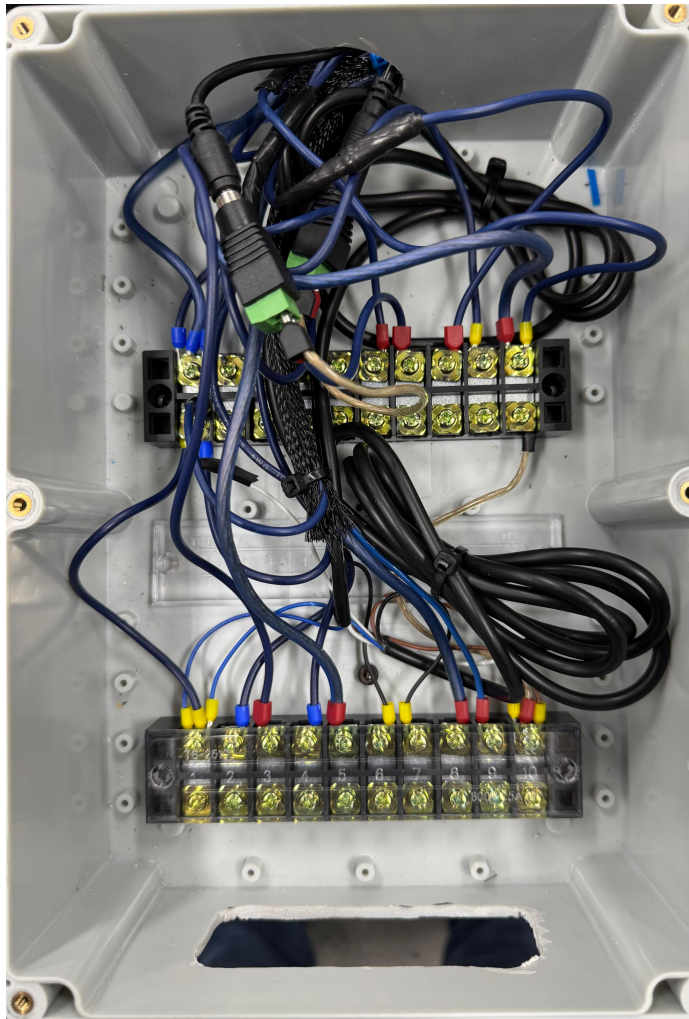
Nota. La imagen muestra el gabinete de conexiones para el control de motores. Dentro se encuentran el PCB, módulo regulador de voltaje, dos relés y los dos controladores TB6600 para los motores NEMA23. Elaboración propia.

9.7.2. Gabinete 2 - Conexión hacia el tablero

La segunda caja tiene una función puramente organizativa y está destinada a la interfaz entre la máquina y los tableros del laboratorio. Contiene:

- Dos borneras de 10 pines cada una, donde se centralizan todas las señales de sensores, entradas, salidas del PLC y líneas de alimentación.

Figura 40. Gabinete de conexiones de conexión con tablero del laboratorio



Nota. La imagen muestra el gabinete de conexiones para conexión con PLC Siemens S7-300. Dentro del gabinete se encuentran dos borneras de 10 pines. Elaboración propia.

Esta separación permitió un cableado limpio, trazable y fácil de mantener. La guía de conexiones puede encontrarse en el Anexo 13.4.

9.8. Sustitución de sensores capacitivos por sensores ópticos

Los sensores capacitivos originales mostraban múltiples fallos de detección, variaciones por proximidad y sensibilidad excesiva al material de los envases, lo que generaba pérdidas de sincronización entre la colocación de tapas y el enroscado.

Para garantizar una detección más precisa y robusta se sustituyeron por sensores ópticos fotoeléctricos tipo difuso, cuyo haz de luz infrarrojo permite:

- Detección inmediata al paso de la botella.
- Menor sensibilidad a variaciones en el material del envase.

Los sensores fueron montados sobre soportes y conectados a las borneras del gabinete 2.

9.9. Implementación de finales de carrera

El sistema circular de enroscado originalmente carecía de límites físicos y eléctricos que permitieran conocer la posición del mecanismo. Esto provocaba movimientos bruscos y pérdida de precisión.

Para corregirlo se instalaron dos finales de carrera, uno para la parte superior y otro para la parte inferior de la plataforma de roscado. Ambos sensores fueron implementados por medio de soportes impresos en 3D y ubicados estratégicamente según el diseño mecánico.

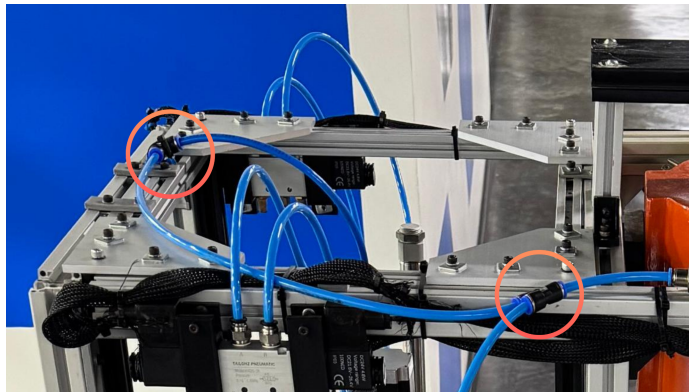
9.10. Conexión neumática

La máquina requería una distribución de aire adecuada para accionar los dos cilindros Festo involucrados en el roscado. Se instaló un nuevo regulador de presión neumática para suavizar los movimientos y evitar golpes durante el descenso.

A partir del regulador, la distribución se reorganizó utilizando:

- Racores en L para cambios de dirección, permitiendo una estética limpia.
- Racores en T para dividir la línea principal y enviar aire simétricamente a ambos cilindros.

Figura 41. Racores implementados



Nota. La imagen muestra los racores en L y T implementados en la Máquina Roscadora. Elaboración propia.

Esto permitió un flujo balanceado y aumentó la suavidad del movimiento.

9.11. Programación del PLC

La lógica original desarrollada por José Orellana [6] fue revisada y modificada para adaptarse a los nuevos sensores y al nuevo orden de señales. La lógica del programa consiste en:

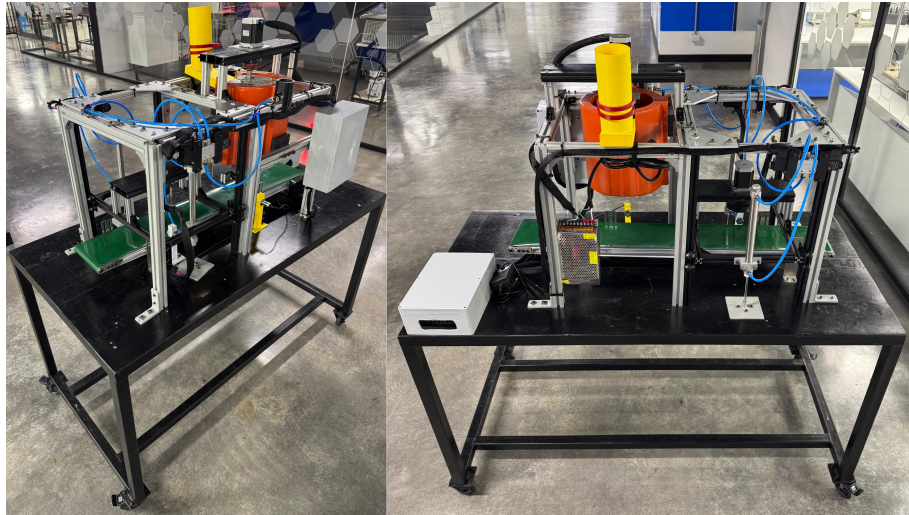
- Detección del envase en sensor óptico 1.
- Detener banda transportadora.
- Señal digital hacia PIC16F887 para accionamiento de motor de distribución de tapaderas.
- Reanudar banda transportadora.
- Detección del envase en sensor óptico 2.
- Detener banda transportadora.
- Bajar plataforma de roscado.
- Señal digital hacia PIC16F887 para accionamiento de motor de roscado de tapaderas.
- Subir plataforma de roscado a posición inicial.
- Reanudar banda transportadora.

Con estas mejoras, la máquina logró operar de manera consistente y segura dentro del entorno académico. Esto puede encontrarse en el Anexo 13.5.

9.12. Resultado final

Tras la implementación de los ajustes mecánicos, eléctricos y neumáticos, junto con la nueva lógica de control en PLC, la Máquina Roscadora logró un funcionamiento estable y confiable. El proceso completo —detección, colocación de tapa y enroscado— se ejecuta ahora sin interrupciones, con movimientos más suaves y detección más precisa.

Figura 42. Resultado final de la Máquina Roscadora



Nota. La imagen muestra el sistema físico terminado de la Máquina Roscadora. Elaboración propia.

Como resultado, la máquina quedó apta para demostraciones, prácticas y exhibiciones dentro del laboratorio de Automatización Industrial.

- Se cumplió el objetivo general del proyecto, ya que se reacondicionó y mejoró el funcionamiento de la Máquina Limpiadora de Botellas, la Máquina Clasificadora de Botellas y la Máquina Roscadora de Tapaderas, restaurando su operatividad y adecuándolas para su uso seguro en actividades didácticas.
- Se diseñaron y fabricaron correctamente las placas de circuitos impresos (PCB) para la Máquina Clasificadora y la Máquina Roscadora, logrando una integración eléctrica más ordenada, estable y documentada.
- Se sustituyeron los sensores capacitivos por sensores ópticos en las máquinas correspondientes, mejorando significativamente la precisión de detección y la confiabilidad en la secuencia de los procesos.
- Se añadieron e integraron finales de carrera en los sistemas neumáticos de la Máquina Limpiadora y la Máquina Roscadora, incrementando la seguridad operativa y el control del movimiento.
- Se actualizó la programación del PLC Siemens S7-300 para incorporar la lógica de los nuevos sensores y finales de carrera, logrando una coordinación más precisa entre los actuadores y las señales de control.
- Se organizó el cableado de las tres máquinas y se implementaron gabinetes de conexiones, obteniendo sistemas eléctricos más seguros, accesibles y acordes con prácticas de automatización industrial.
- Se incorporaron reguladores de presión en las máquinas que lo requerían, mejorando la estabilidad y suavidad de los movimientos neumáticos.
- Se añadió exitosamente un sistema de almacenamiento de botellas en la Máquina Clasificadora, completando su funcionalidad y acercándola al diseño original propuesto.
- Aunque los objetivos del proyecto fueron cumplidos, persiste una limitación mecánica en la **Máquina Clasificadora**: la mesa de rodillos presenta una pendiente insuficiente,

lo que afecta la fluidez del desplazamiento de las botellas. Si bien no compromete el funcionamiento general, se considera un punto a mejorar en futuros trabajos.

Finalmente, todas las máquinas quedaron funcionales, estéticamente ordenadas y listas para ser utilizadas en demostraciones, cursos y prácticas del laboratorio, validando el cumplimiento de todos los objetivos específicos planteados.

- Sustituir el sensor de color TCS3200 de la máquina clasificadora por una cámara OpenMV, lo que permitiría un procesamiento de imagen más robusto y una mayor flexibilidad para futuras aplicaciones didácticas.
- Incorporar un PLC dedicado para cada máquina, de manera que el control sea independiente, escalable y se facilite la integración de nuevas funciones sin sobrecargar el PLC principal.
- Rediseñar completamente el sistema de clasificación de botellas, considerando parámetros físicos como peso y tamaño exacto de las piezas, para que el mecanismo sea más confiable y se acerque al funcionamiento de un sistema industrial.
- Implementar un sensor óptico adicional en la máquina clasificadora que permita pausar la banda transportadora cuando no haya envase presente debajo del sensor de color, y reanudar su movimiento únicamente al detectar una botella. Esto optimizaría la clasificación y reduciría errores.
- Añadir una cubierta de caucho o hule a la pieza de enroscado, con el fin de generar la fricción necesaria para asegurar que las tapas se enrosquen correctamente sobre las botellas.

- [1] M. Nancy, «Diseño de máquina de limpieza de botellas para el laboratorio de automatización industrial de la Universidad del Valle de Guatemala,» 2021. dirección: <https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/4710/Trabajo%20de%20graduaci%c3%b3n%20de%20Nancy%20Alejandra%20Mazariegos.pdf>.
- [2] S. Yefry, «Fabricación y puesta en marcha de una máquina limpiadora de botellas a escala para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala,» 2024.
- [3] R. Dennis, «Diseño de una máquina de clasificación de frascos por color para el laboratorio de automatización industrial de la Universidad del Valle de Guatemala,» 2022. dirección: <https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/xmlui/bitstream/handle/123456789/4541/Trabajo%20de%20graduaci%c3%b3n%20de%20Dennis%20Abraham%20Reyes%20Molina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [4] M. Frank, «Construcción y puesta en marcha de una máquina clasificadora de botellas para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala,» 2024.
- [5] I. Andrea, «Diseño de una máquina de roscado de tapaderas para el laboratorio de automatización industrial de la Universidad del Valle de Guatemala,» 2022. dirección: <https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/xmlui/bitstream/handle/123456789/5101/ANDREA%20MARCELA%20IXQUIAC%20MADRIGALES%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [6] O. José, «Construcción y puesta en marcha de una máquina de recipientes para el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala,» 2024.
- [7] Compressed Air and Gas Institute. «Compressed Air System Design. » dirección: https://www.cagi.org/assets/documents/pdfs/handbook/Chapter%204%20handbook_Final2021.pdf.
- [8] Festo SE & Co. KG, *Round Cylinders DSNU/ESNU*, 2015. dirección: <https://www.festo.com>.

- [9] FESTO. «Round Cylinder DSNU-S-20-200-P-A.» Consulta de especificaciones técnicas del cilindro neumático DSNU-S-20-200-P-A, visitado 16 de nov. de 2025. dirección: <https://www.zoro.com/festo-round-cylinder-dsnu-s-20-200-p-a-dsnu-s-20-200-p-a/i/G002743353/>.
- [10] Festo SE & Co. KG, *Pneumatic valve VUWG*, 2025. dirección: https://www.festo.com/media/catalog/203922_documentation.pdf, 4sExperto.
- [11] Pneumax. «Green Line Pneumatic Fittings Catalogue. » dirección: <https://www.pneumaxspa.com>.
- [12] Omron Corporation. «Basic Switches – General-purpose Limit Switches (D4N Series). » dirección: <https://industrial.omron.eu>.
- [13] A. Pasquale, *Microcontrollers*. College of DuPage, 2025. dirección: <https://doctor-pasquale.com/wp-content/uploads/2021/02/The-Yellow-Book.pdf>.
- [14] S. Monk, *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. McGraw-Hill Education, 2016, ISBN: 9781259641633.
- [15] A. J. Taufiq, I. H. Kurniawan y T. A. Y. Nugraha, «Analysis of Arduino Uno Application on Control System Based on Industrial Scale,» 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/771/1/012015.
- [16] Texas Advanced Optoelectronic Solutions (TAOS), *TCS3200, TCS3210 Programmable Color Light-to-Frequency Converter*, 2009. dirección: <http://www.taosinc.com>.
- [17] La Electrónica Guatemala. «Módulo sensor de color TCS230 / TCS3200.» Consulta de especificaciones técnicas del sensor de color TCS230/TCS3200, visitado 16 de nov. de 2025. dirección: <https://laelectronica.com.gt/modulo-sensor-de-color-tcs230-tcs3200>.
- [18] TDK Corporation, *Piezoelectronic Buzzers, Pin Terminal / Lead, Without Oscillator Circuit (PS Series)*, 2011.
- [19] La Electrónica Guatemala. «Buzzer magnético de 5V 80 dB.» Consulta de especificaciones técnicas del buzzer magnético de 5V, visitado 16 de nov. de 2025. dirección: <https://laelectronica.com.gt/buzzer-magnetico-de-5v-80-db>.
- [20] OMRON Corporation, *Technical Explanation for General-purpose Relays*, Technical guide, 2011. dirección: https://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/36/generalrelay_tg_e_10_2.pdf.
- [21] Naylamp Mechatronics. «Relay 5VDC SRD-05VDC-SL-C.» Consulta técnica de especificaciones del relé SRD-05VDC-SL-C, visitado 16 de nov. de 2025. dirección: <https://naylampmechatronics.com/drivers/263-relay-5vdc-srd-05vdc-sl-c.html>.
- [22] Microchip Technology Inc., *PIC16F882/883/884/886/887 Data Sheet: 28/40/44-Pin Enhanced Flash-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology*, 2003. dirección: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41291d.pdf>.
- [23] Microelectronica SH. «PIC16F887-IP,» visitado 25 de sep. de 2025. dirección: <https://www.microelectronicash.com/pic16f887-ip--det--PIC16F887-IP>.
- [24] Oriental Motor Co., Ltd. «Stepper Motors Technical Support: NEMA 23 Series. » dirección: <https://www.orientalmotor.com/stepper-motors>.

- [25] P. Marwedel, *Embedded System Design: Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things*. Springer, 2021, ISBN: 978-3-030-60910-8. DOI: 10.1007/978-3-030-60910-8.
- [26] LST PCB. «PCB Avanzado vs PCB Estándar,» visitado 25 de sep. de 2025. dirección: <https://www.lstpcb.com/es/news/advanced-pcb-vs-standard-pcb/>.
- [27] M. P. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson, 2016, ISBN: 9780134605464.
- [28] Siemens AG, *S7-300 Programmable Controller: System Manual*, 2022. dirección: <https://support.industry.siemens.com>.
- [29] Siemens. «SIMATIC S7-300,» visitado 25 de sep. de 2025. dirección: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-300.html>.
- [30] T. Antonsen, *PLC Controls with Ladder Diagram (LD), Monochrome : IEC 61131-3 and introduction to Ladder programming*. Bookboon, jun. de 2021, ISBN: 9788743033356. dirección: <https://bookboon.com/en/plc-controls-with-ladder-diagram-ld-ebook>.
- [31] S. Juds, *Photoelectric Sensors and Controls: Selection and Application*. CRC Press, 2013, ISBN: 9780824799766. dirección: https://books.google.com.gt/books?id=BkdBo1n_o04C.
- [32] Spares4Less. «Sick Reflexions-Lichttaster VT180-P142 (6008791),» visitado 25 de sep. de 2025. dirección: <https://www.spares4less.com/Sick-Reflexions-Lichttaster-VT180-P142-6008791-NOV>.
- [33] Omron Corporation, *Capacitive Proximity Sensor E2K-C: Datasheet*, 2019. dirección: https://www.omronkft.hu/pdf_en/e2k_c.pdf.
- [34] R. Moheimani, P. Hosseini, S. Mohammadi y H. Dalir, «Recent Advances on Capacitive Proximity Sensors: From Design and Materials to Creative Applications,» 2022, ISSN: 2311-5629. DOI: 10.3390/c8020026. dirección: <https://www.mdpi.com/2311-5629/8/2/26>.
- [35] c3controls. «Applications of Electrical Terminal Blocks in Industrial Automation.» dirección: <https://www.c3controls.com/white-paper/applications-of-electrical-terminal-blocks-in-industrial-automation>.
- [36] La Electrónica Guatemala. «Tira de bornera de hierro de 10 contactos y 25A.» Consulta de especificaciones técnicas de borneras de 10 contactos, visitado 16 de nov. de 2025. dirección: <https://laelectronica.com.gt/tira-de-bornera-de-hierro-de-10-contactos-y-25a>.
- [37] MISUMI Group Inc. «Aluminum Extrusions (2020, 3030 Series) Technical Catalog.» dirección: <https://us.misumi-ec.com/vona2/mech/M1500000000/M1501000000/M1501010000/?curSearch=%7B%22field%22%3A%22%40search%2CseriesList%22%2C%22categoryCode%22%3A%22M1501010000%22%2C%22sort%22%3A1%2C%22allSpecFlag%22%3A0%2C%22page%22%3A1%2C%22brandModeFlag%22%3A1%2C%22pageSize%22%3A%2245%22%2C%22unitType%22%3A%221%22%7D&listDisplay=mc-list>.
- [38] OpenBuilds LLC. «OpenBuilds V-Slot Aluminum Extrusion System: Technical Guide.» dirección: <https://builds.openbuilds.com/projectresources/>.

13.1. Planos de piezas diseñadas e implementadas

Este anexo reúne los planos desarrollados para las piezas implementadas en la Máquina Clasificadora de Botellas, Máquina Limpiadora de Botellas y Máquina Roscadora de Tapaderas.

Los documentos completos pueden consultarse en el siguiente enlace:

- Repositorio en Github de planos de piezas implementadas.

13.2. Programación de microcontrolador Arduino UNO en C de Máquina Clasificadora

En este anexo se incluyen el programa elaborados en lenguaje C para el Arduino UNO en la Máquina Clasificadora:

- Repositorio en Github de programación de Arduino Uno.

13.3. Programación de microcontrolador PIC16F887 en C de Máquina Roscadora

En este anexo se incluyen los programas elaborados en lenguaje C para el microcontrolador PIC16F887 en la Máquina Roscadora:

- Repositorio en Github de programación de PIC16F887.

13.4. Guías de conexiones

En este anexo se incluyen las guías de conexiones elaboradas para las Máquinas Clasificadora de Botellas, Limpiadora de Botellas y Roscadora de Tapaderas:

- Repositorio en Github de guías de conexiones.

13.5. Programación de PLCs en Ladder

En este anexo se incluyen los programas elaborados en lenguaje Ladder para las Máquinas Limpiadora y Roscadora:

- Repositorio en Github de programación de PLC en Ladder.

Guía de conexiones eléctricas de Máquina Clasificadora de Botellas.

Circuito impreso y borneras en gabinete de conexiones

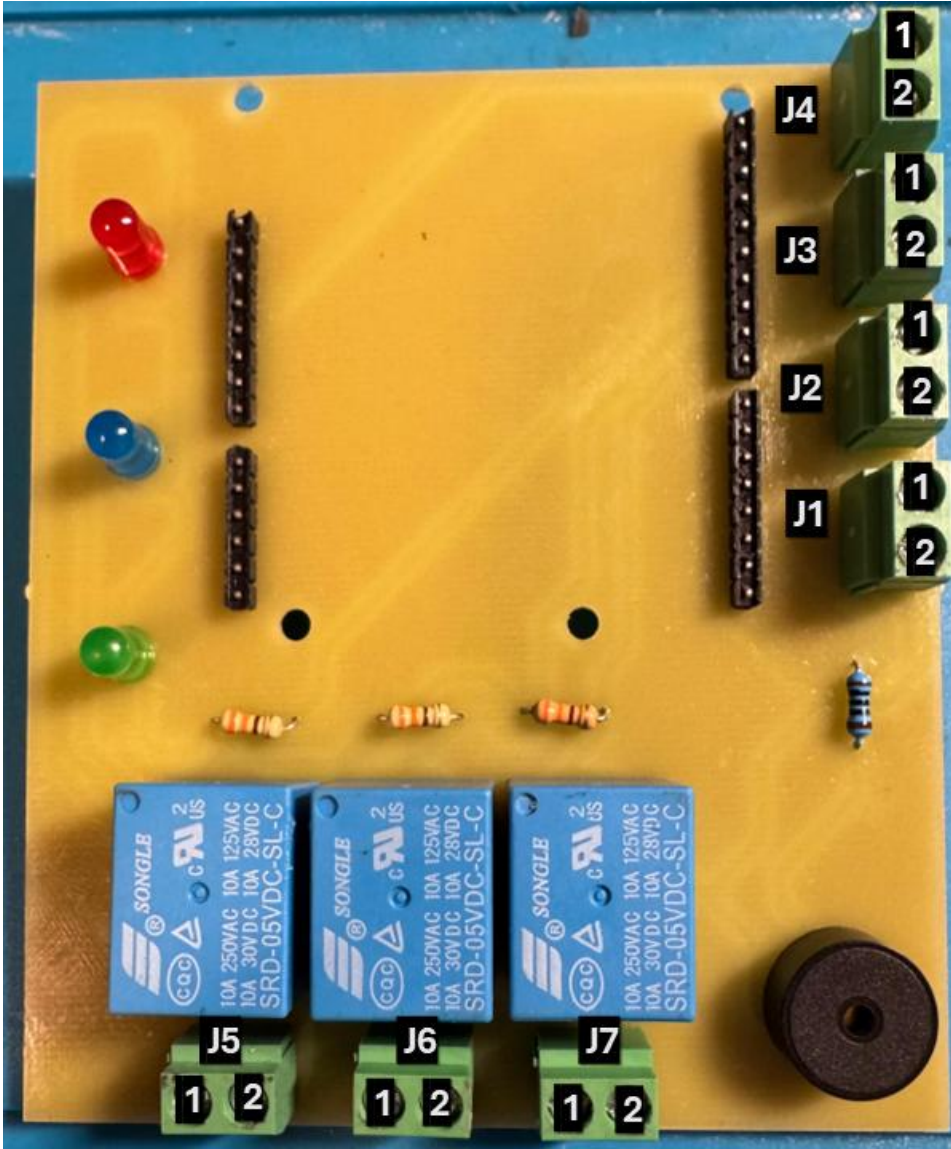


Figura 1: Circuito impreso (PCB)

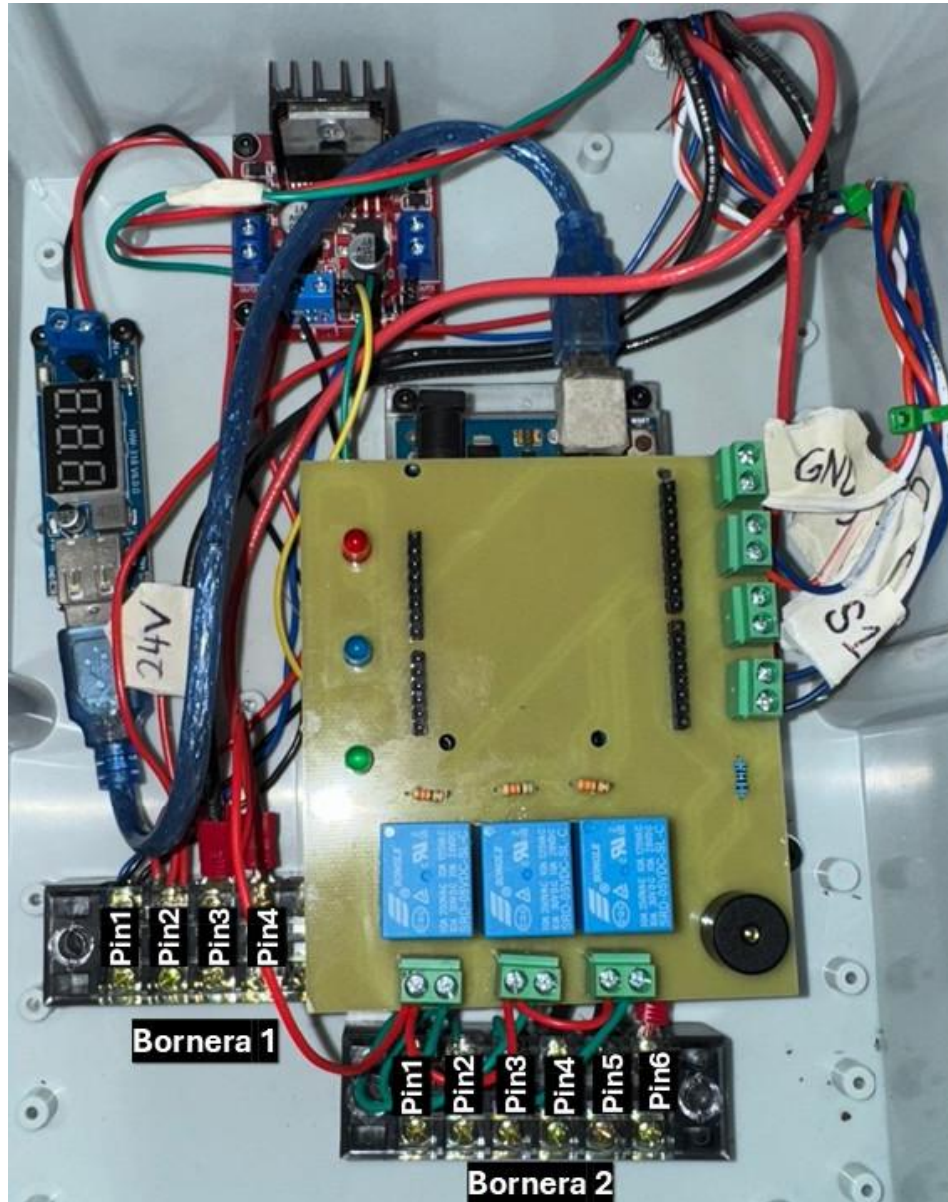


Figura 2: Borneras y conexiones en gabinete de conexiones.

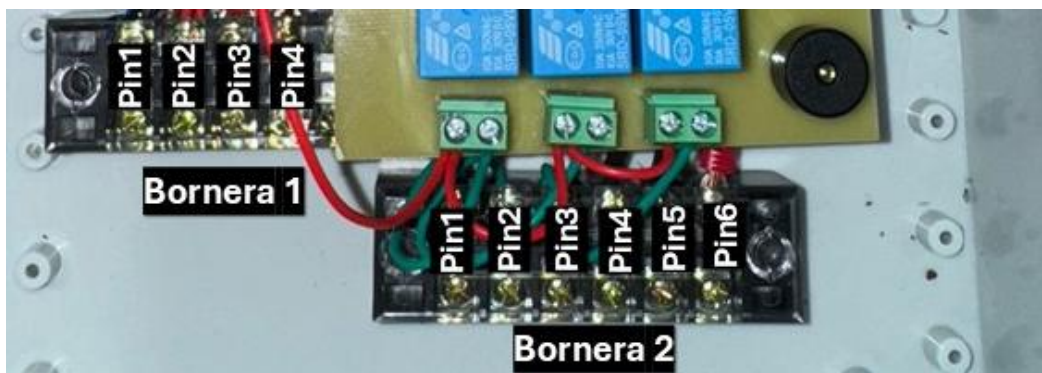


Figura 3: Borneras principales y pines

Tablas de conexiones de circuito impreso

Conexión de sensor de color TCS3200 con circuito impreso

Pin del Sensor	Función	Bornera	Pin	Arduino UNO Rev 3
GND	Tierra	J1	1	GND
Vcc	Alimentación de 5V	J1	2	5V
S3	Selector de filtro	J2	1	Pin Digital 7
S2	Selector de filtro	J2	2	Pin Digital 6
OUT	Señal de frecuencia	J3	1	Pin Digital 8
OE	Habilitar salida (LOW, 0V)	J3	2	GND
S1	Escalado de frecuencia	J4	1	Pin Digital 5
S0	Escalado de frecuencia	J4	2	Pin Digital 4

Conexión de Bornera 2 con circuito impreso

PLC	Bornera de conexiones 2	Bornera PCB	Pin Bornera PCB	Color Detectado
24V	-	J5	1	-
I8.6	Pin 1	J5	2	Verde
24V	-	J6	1	-
No utilizado	No utilizado	J6	2	Celeste
24V	-	J7	1	-
I8.7	Pin 2	J7	2	Rojo

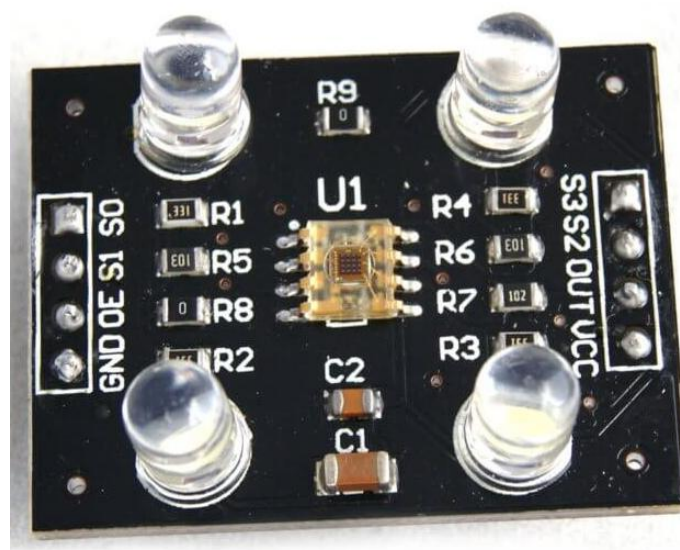


Figura 4: Sensor de color TCS3200

Tabla de conexiones entre borneras principales y PLC

Conexión de Bornera 1 con PLC

PLC	Bornera de conexiones 1	Identificador
-	Pin 1	GND
Pin Común de Relés Q12.3 y Q12.4	Pin 2	12V
24V	Pin 3	24V
I9.0	Pin 4	Final de carrera derecho
-	Pin 5	-
-	Pin 6	-

Conexión de Bornera 2 con PLC y circuito impreso

PLC	Bornera de conexiones 2	Identificador
I8.5	Pin 1	Color verde
I8.7	Pin 2	Color rojo
-	Pin 3	Color celeste
Pin normalmente abierto de Relé Q12.3	Pin 4	In1 Puente H
Pin normalmente abierto de Relé Q12.4	Pin 5	In2 Puente H
I8.4	Pin 6	Final de carrera izquierdo

Nota:

Los colores pueden conectarse en cualquier configuración sin necesidad de desconectar ningún cable del gabinete, solo debe de cambiarse las entradas I8.5 y I8.7. El color sin conexión será dirigido hacia el centro, en este caso el color celeste.

Guía de conexiones eléctricas de Máquina Limpiadora de Botellas.

Borneras en gabinete de conexiones

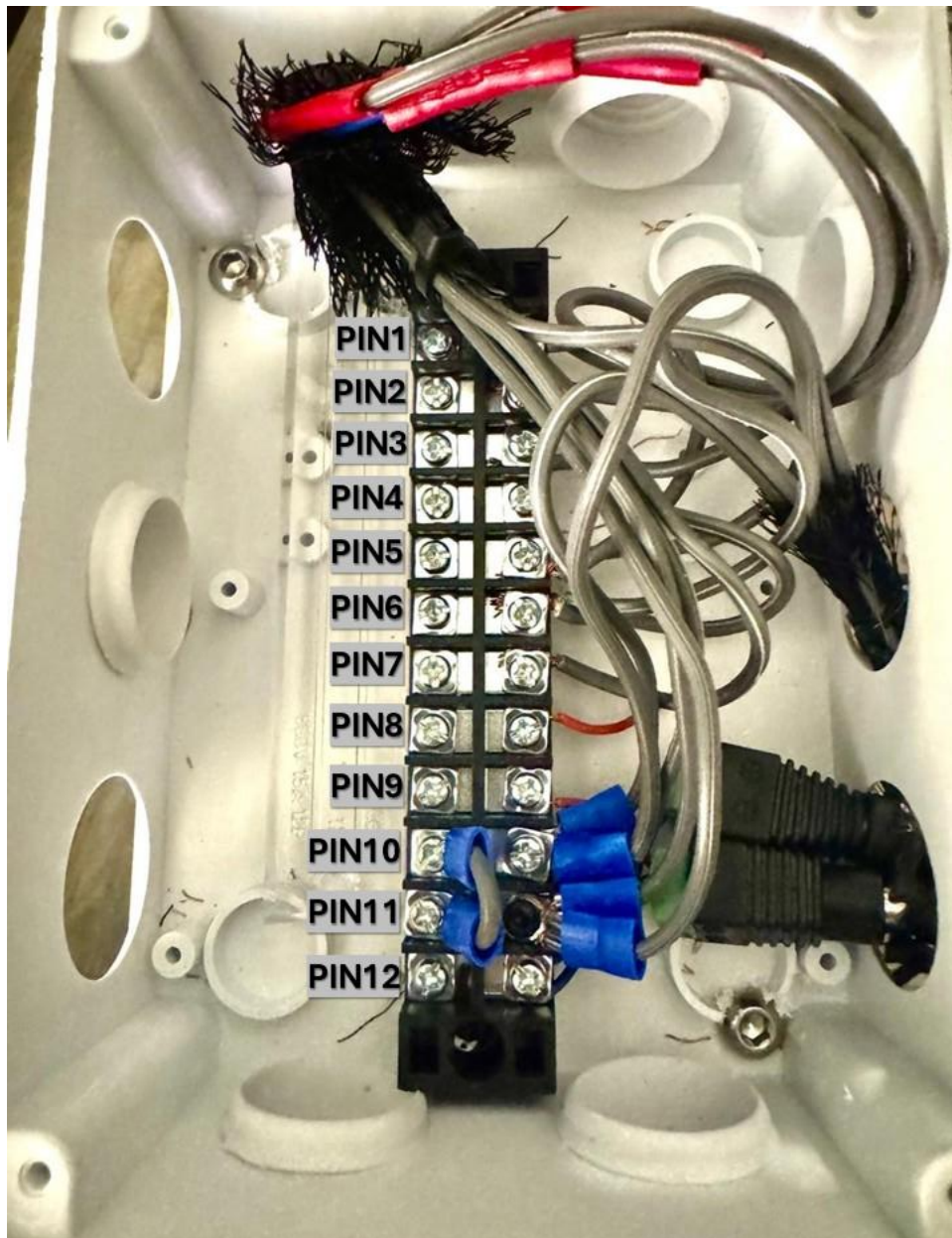


Figura 1: Bornera principal de caja de conexiones

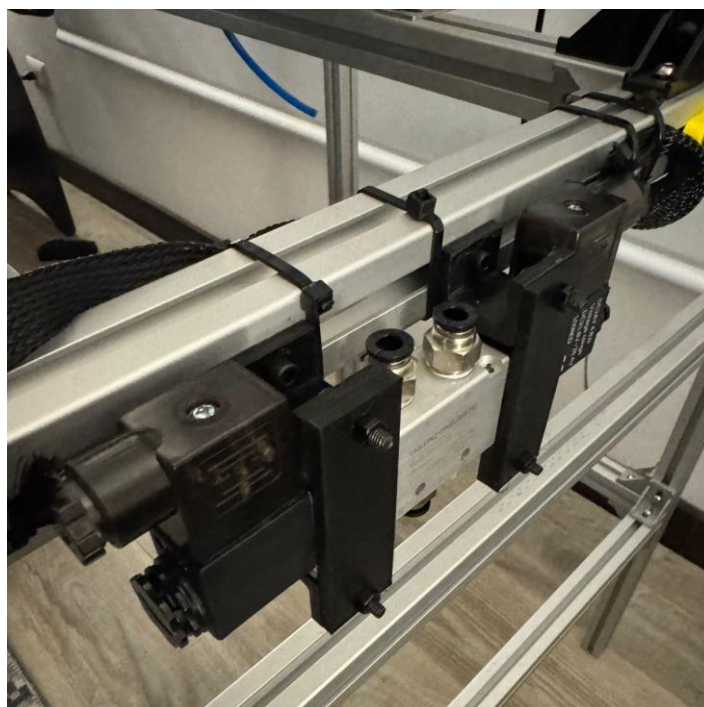


Figura 2: Compuerta neumática derecha

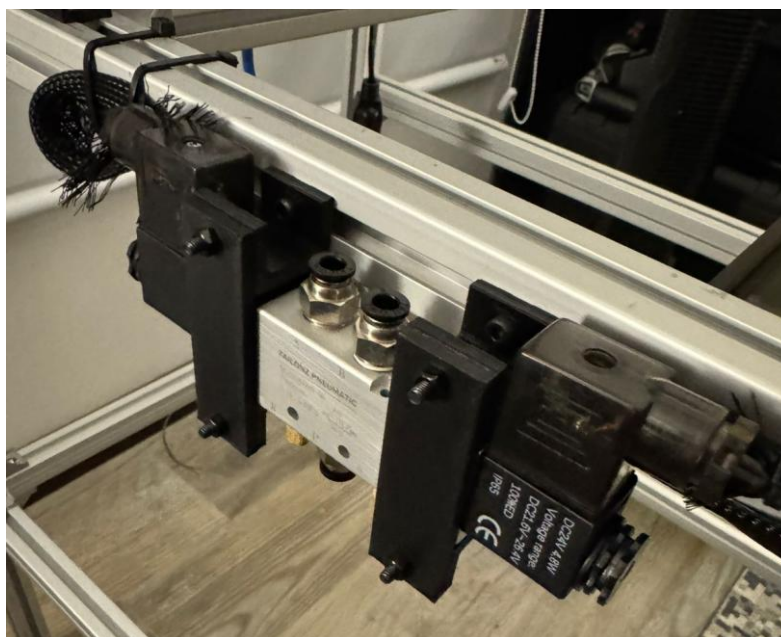


Figura 3: Compuerta neumática izquierda

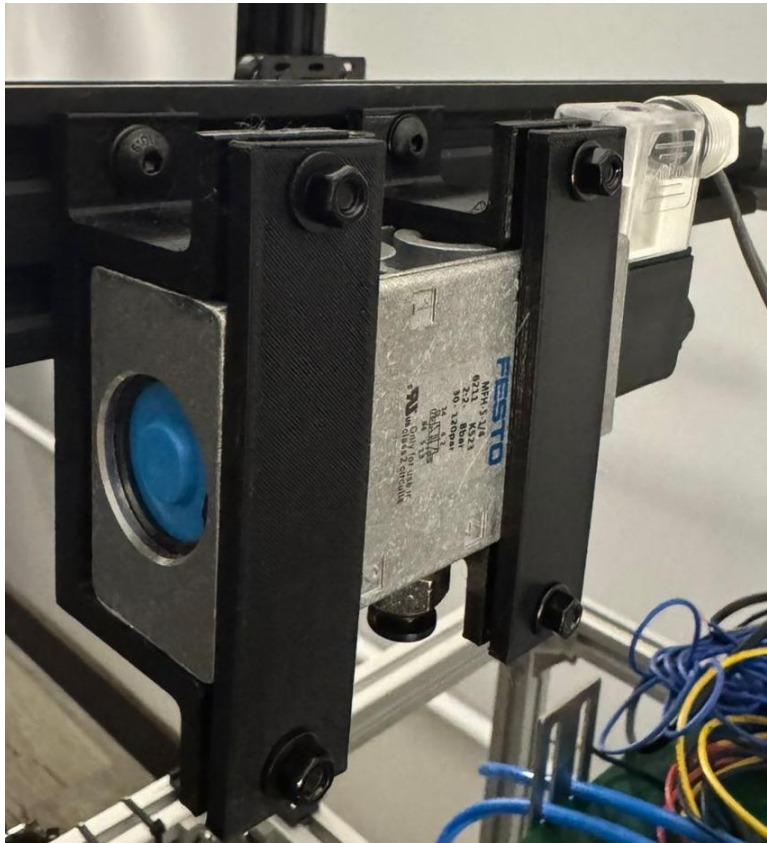


Figura 4: Compuerta neumática de soplado

Conexiones generales de la máquina

Información de entradas y salidas de PLC

Tipo	Dirección	Elemento	Descripción
BOTÓN	I8.0	Botón verde	Botón de encendido de la máquina
BOTÓN	I8.1	Botón rojo	Botón de apagado de la máquina
ENTRADA	I8.2	Final de carrera bajo	Final de carrera en la parte inferior del sistema de soplado
ENTRADA	I8.3	Final de carrera alto	Finales de carrera en la parte superior del sistema de soplado
ENTRADA	I8.5	Salida de sensor óptico	Sensor óptico digital
RELÉ	12.2	Electro-válvula 1	Electro-válvula 5/2 izquierda
RELÉ	12.3	Electro-válvula 2	Electro-válvula 5/2 derecha
RELÉ	12.0	Electro-válvula 3	Electro-válvula 2/2 o 3/2 de sistema de soplado
RELÉ	12.5	Banda Transportadora	Transformador de Banda transportadora.

Conexión de Bornera 1 con PLC

Pin de Bornera	Conexión en PLC	Descripción
PIN 1	24V	Conectar a PIN Común de Q12.2, Q12.3 y Q12.4
PIN 2	I8.2	Final de carrera bajo (Entrada Digital)
PIN 3	I8.3	Final de carrera alto
PIN 4	I8.5	Señal de sensor óptico (Entrada)
PIN 5	NO - Q12.2	Pin normalmente abierto de relé 12.0 - Bajada de plataforma
PIN 6	NO - Q12.3	Pin normalmente abierto de relé 12.1 - Subida de plataforma
PIN 7	NO - Q12.0	Pin normalmente abierto Q12.4 – Soplado de la plataforma
PIN 8	NO - Q12.5	Pin normalmente abierto de relé Q12.5 - Banda transportadora
PIN 9	COM – Q12.5	Pin común de relé Q12.5 - Banda transportadora
PIN 10	GND	Tierra del PLC
PIN 11	GND	Tierra del PLC
PIN 12	GND	Tierra banda transportadora

Nota: Se necesitan 4 líneas de 24V del PLC a los pines COM de los relés Q12.2, Q12.3 y Q12.0.

Guía de conexiones eléctricas de Máquina Roscadora de Tapaderas.

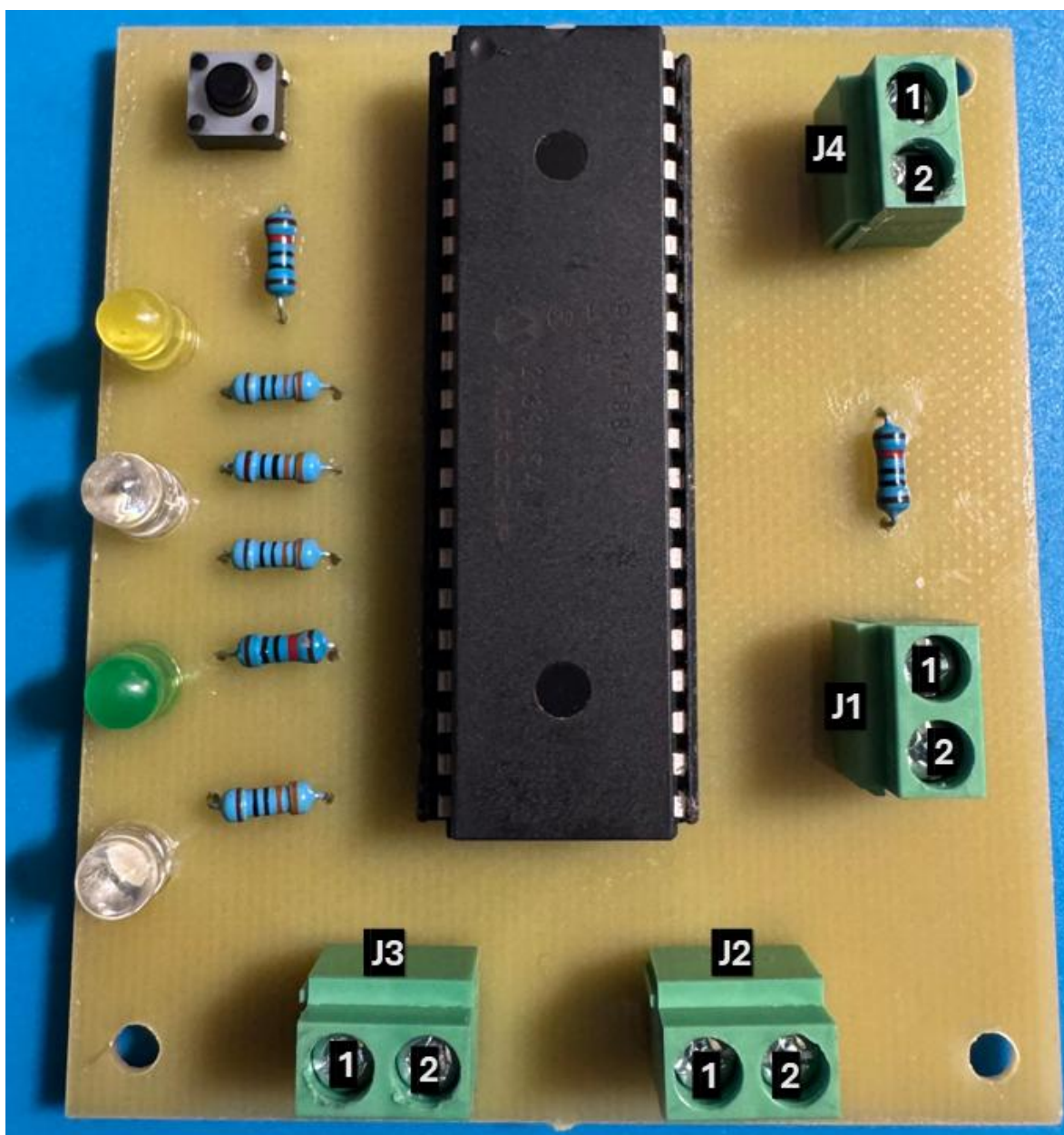


Figura 1: Circuito impreso (PCB)

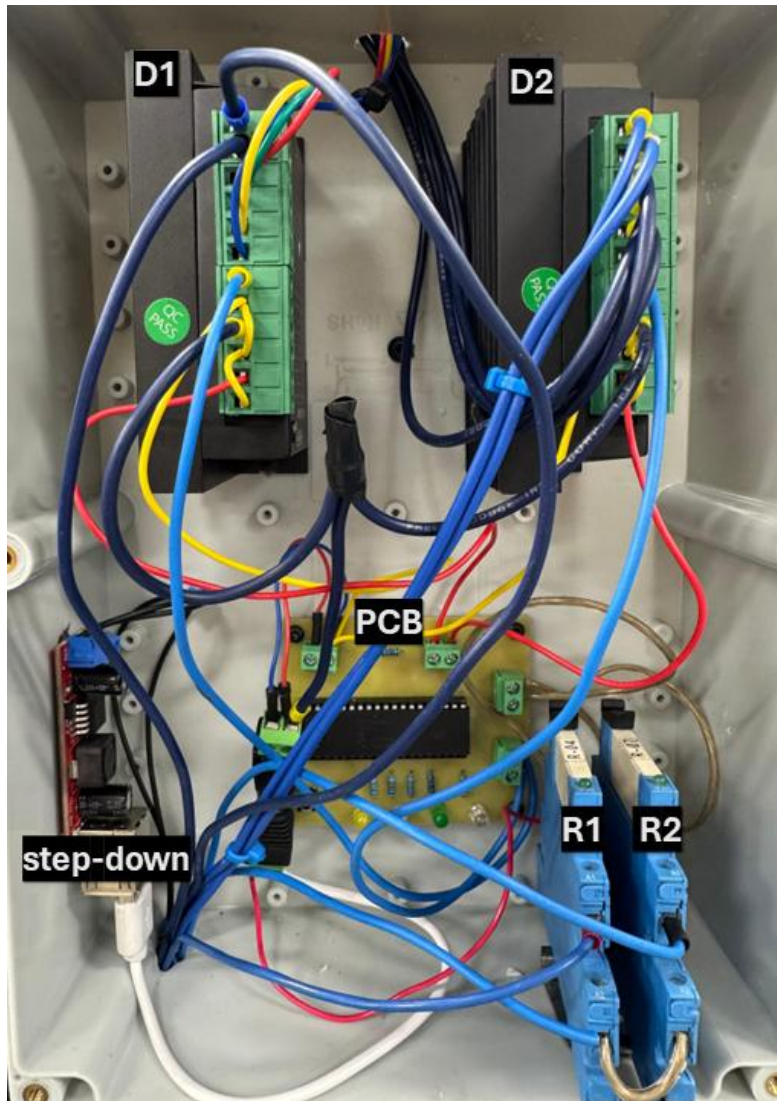


Figura 2: Borneras y conexiones en gabinete de conexiones con motores.

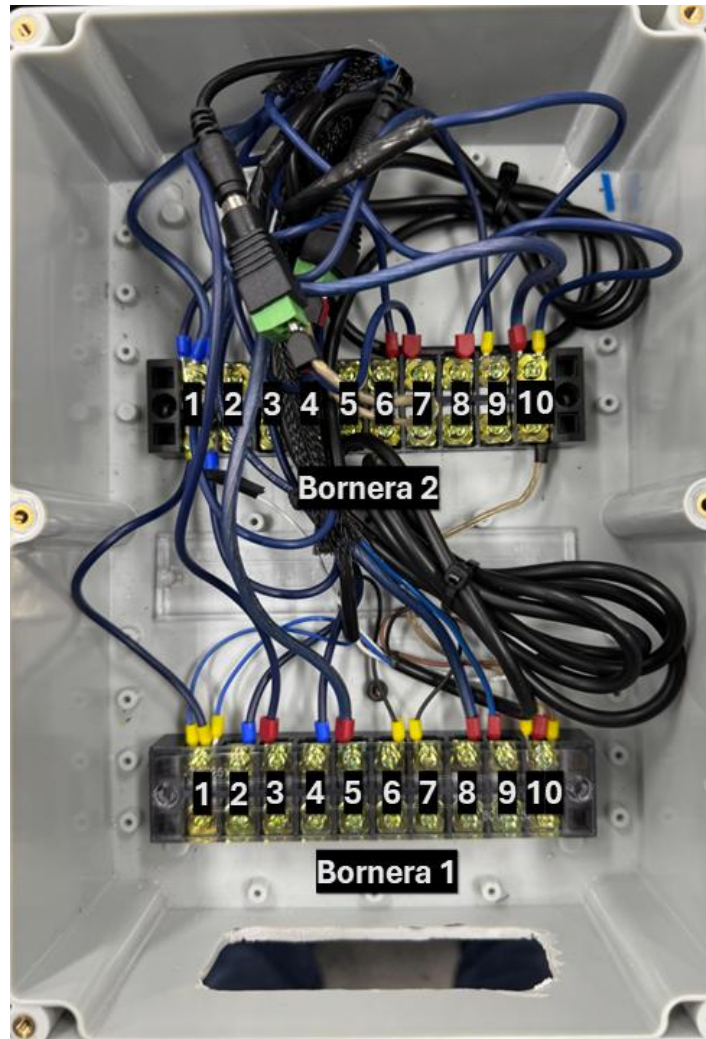


Figura 3: Borneras y conexiones en gabinete de conexiones con PLC

Placa de circuito impreso

Tablas de conexiones

Conexiones de PCB en gabinete de conexión de motores

Pin del PCB	Función	Conexión
J4 PIN 1	Entrada de alimentación de la placa	5V desde regulador de voltaje
J4 PIN 2	GND	GND desde regulador de voltaje
J1 PIN 1	Enable para Driver 1	Enable + en Driver TB6600 1
J1 PIN 2	Enable para Driver 2	Enable + en Driver TB6600 2
J2 PIN 1	Entrada digital de control PWM para motor 1	PIN NO de relé 1

J2 PIN 2	Entrada digital de control PWM para motor 2	PIN NO de relé 2
J3 PIN 1	Pulso de onda cuadrada para Driver 2	Pulse + de Driver TB6600 2
J3 PIN 2	Pulso de onda cuadrada para Driver 1	Pulse + de Driver TB6600 1

Figura 4: Sensor de color TCS3200

Borneras principales y PLC

Conexión de Bornera 1 con PLC

PLC	Bornera de conexiones 1	Identificador
GND	Pin 1	Tierra del PLC
Q12.2 NO	Pin 2	Bajada cilindro 1
Q12.2 NO	Pin 3	Bajada cilindro 2 (interconectado con bajada 1)
Q12.3 NO	Pin 4	Subida cilindro 1
Q12.3 NO	Pin 5	Subida cilindro 2 (interconectado con subida 1)
I8.5	Pin 6	Señal digital de sensor óptico 1
I8.6	Pin 7	Señal digital de sensor óptico 2
Q12.0 NO	Pin 8	Relé 1 gabinete de motores (Tornillo)
Q12.1 NO	Pin 9	Relé 2 gabinete de motores (Roscado)
24V	Pin 10	24V del PLC

Conexión de Bornera 2 con PLC

PLC	Bornera de conexiones 1	Identificador
GND	Pin 1	Interconectado internamente
-	Pin 2	-
-	Pin 3	-
-	Pin 4	-
-	Pin 5	-
Q12.5 NO	Pin 6	Motor de banda transportadora
Q12.5 COM	Pin 7	Fuente de poder de banda transportadora
I8.3	Pin 8	Final de carrera alto
I8.2	Pin 9	Final de carrera bajo

24V	Pin 10	Interconectado internamente
-----	--------	-----------------------------

Nota:

Las salidas Q12.0, Q12.1, Q12.2 y Q12.3 requieren una conexión de 24V en el pin común del relé del tablero del PLC.

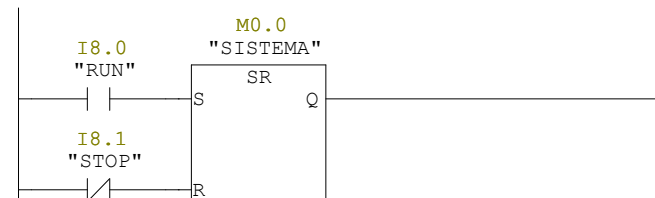
OB1 - <offline>

Name: Family:
 Author: Version: 0.1
 Block version: 2
 Time stamp Code: 10/29/2025 08:17:39 PM
 Interface: 02/15/1996 04:51:12 PM
 Lengths (block/logic/data): 00324 00190 00022

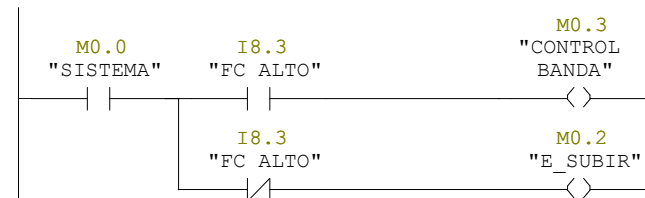
Name	Data Type	Address	Comment
TEMP		0.0	
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0	1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0	1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0	Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0	Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0	Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB1 started

Block: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"

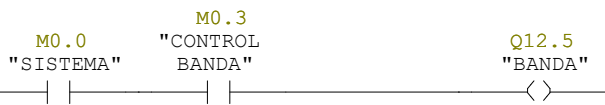
Network: 1 INICIAR SISTEMA



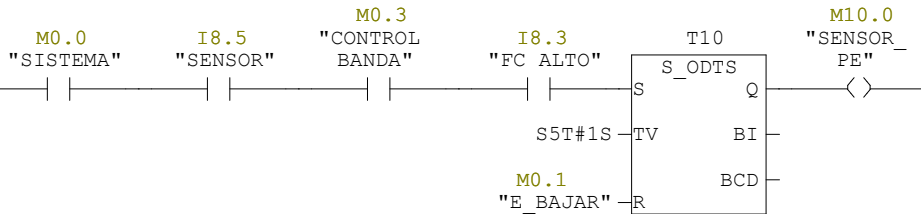
Network: 2 CONTROL DE VALVULAS



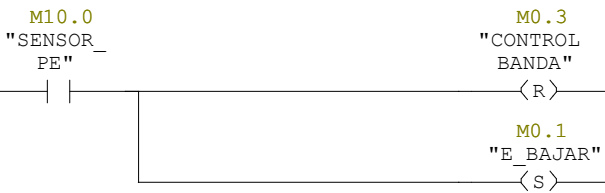
Network: 3 CONTROL DE BANDA TRANSPORTADORA



Network: 4 Flanco del sensor solo con plataforma ARRIBA



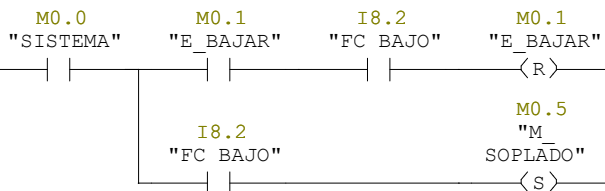
Network: 5 Parar banda y ordenar BAJAR



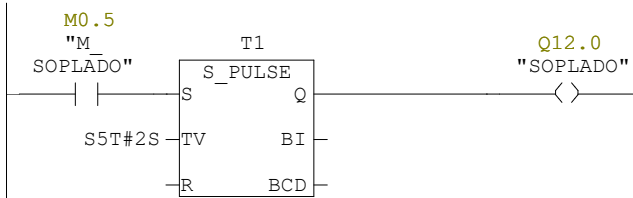
Network: 6 Bajar plataforma



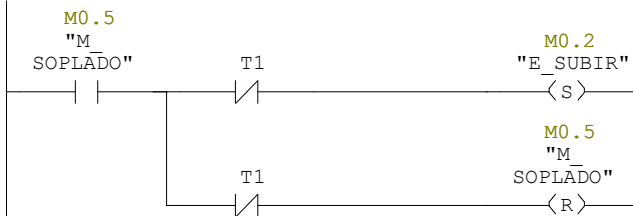
Network: 7 Fase de soplado



Network: 8 Temporizador de soplado



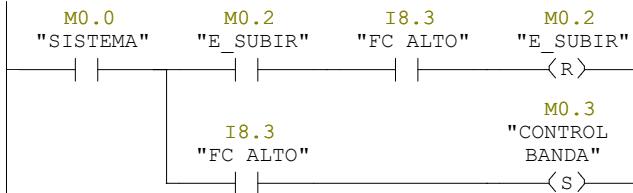
Network: 9 FIN DE SOPLADO



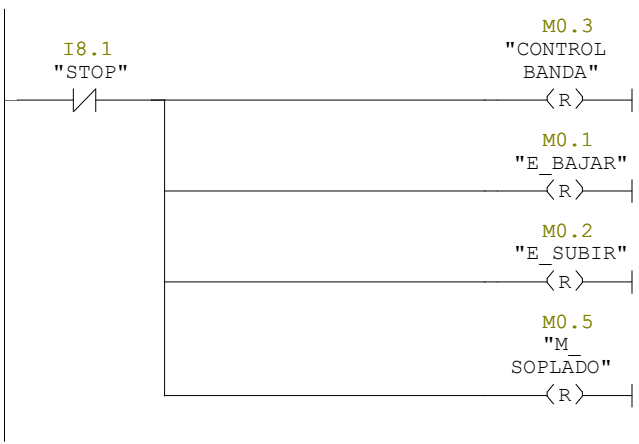
Network: 10 SUBIR PLATAFORMA



Network: 11 REANUDAR BANDA Y CERRAR CICLO



Network: 12 PARO GENERAL



OB1 - <offline>

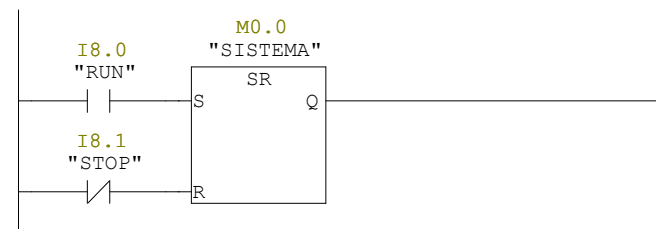
""

Name: **Family:**
Author: **Version:** 0.1
Block version: 2
Time stamp Code: 10/31/2025 01:28:34 PM
Interface: 02/15/1996 04:51:12 PM
Lengths (block/logic/data): 00432 00298 00022

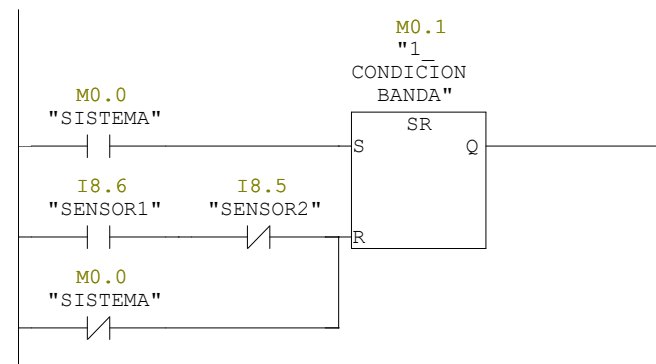
Name	Data Type	Address	Comment
TEMP		0.0	
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0	1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0	1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0	Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0	Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0	Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB1 started

Block: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"

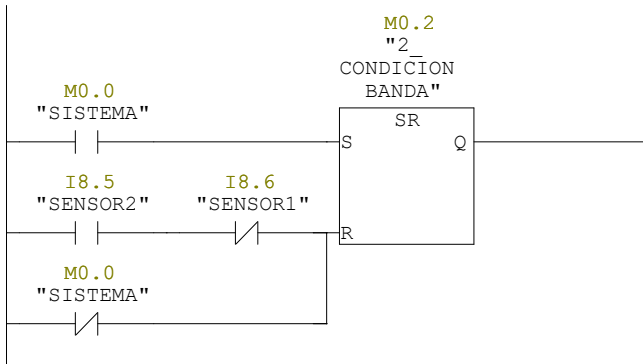
Network: 1 INICIAR SISTEMA



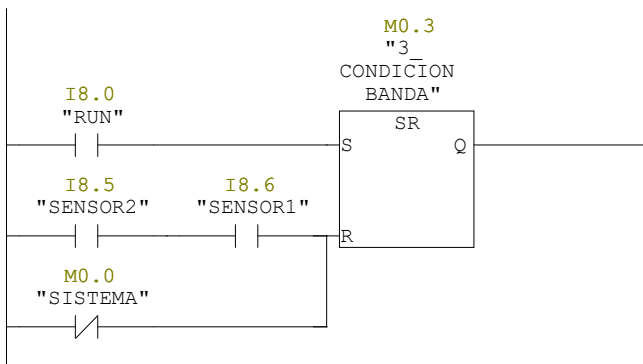
Network: 2 PRIMERA CONDICION DE LA BANDA



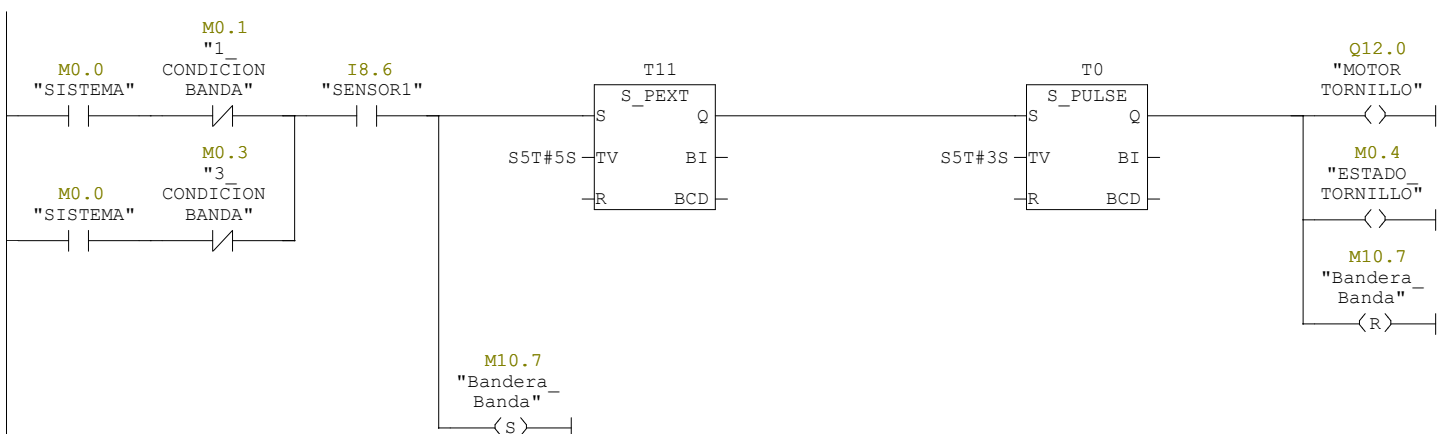
Network: 3



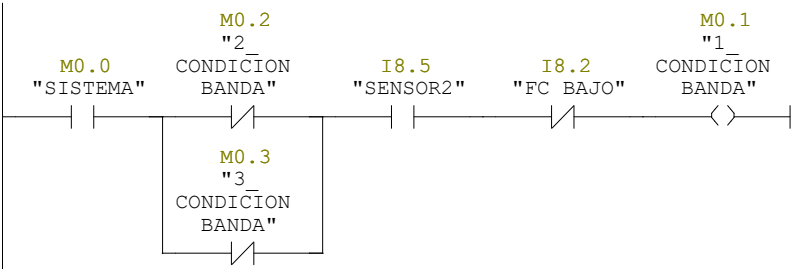
Network: 4



Network: 5 Tornillo



Network: 6 BAJAR SISTEMA



Network: 7



Network: 10

