



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO
AUTOMATIZADO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS POR TAMAÑO.**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniería en
Electromecánica.

Autores:

Fauxi Ludgardo Proaño Amores
Miguel Sebastian Chaquina Cabezas

Tutor:

MSc. Cristian Darwin Borja Borja

LA MANÁ-ECUADOR

ABRIL-2025

AGRADECIMIENTO

El camino hacia el éxito no es sencillo, pero alcanzarlo es una de las mayores satisfacciones. A lo largo de este proceso de formación, se compartieron conocimientos y vivencias que nos moldearon como profesionales, marcando el cierre de una importante etapa de nuestras vidas. Por ello, queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todos los profesionales de la Universidad Técnica de Cotopaxi, quienes nos transmitieron sus saberes y experiencias, los cuales serán fundamentales para nuestro desempeño en la sociedad. Asimismo, extendemos nuestra gratitud a amigos y familiares que nos acompañaron y apoyaron durante esta travesía hacia la consecución de este logro.

*Fauxi
Miguel*

DEDICATORIA

Quiero agradecer a mi madre Ketty Amores y a mi hermano Kenneth que han sido un apoyo incondicional desde el comienzo de mi carrera, el cual fue fundamental para alcanzar unas de mis primeras metas, también agradecer a amigos que me han ayudado a superar cada momento desde que llegue. De igual manera a mi esposa Rebeca y mi hija Nagisa que me han dado un motivo para seguir superándome, a mis docentes y amigos (J, K, S, D) a todos ellos dedico este título, ya que fueron mi fuente de inspiración y superación constante.

Fauxi

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Martín y Rocío por su amor incondicional y por ser el fundamento de mi formación personal y académica, a mi abuelita Gladys por su sabiduría y fortaleza; y a mi hermano, por su apoyo constante. A personas que han sido muy importantes en mi vida como Erika por creer en mí y acompañarme en este proceso. A mis profesores, por su guía y compromiso con mi desarrollo profesional, me gustaría tener presente a mis mascotas las que partieron y las que hoy me acompañan, por su compañía silenciosa y leal a lo largo de este camino. A todas las personas que han confiado en mí, este logro también les pertenece.

"Más allá del límite".

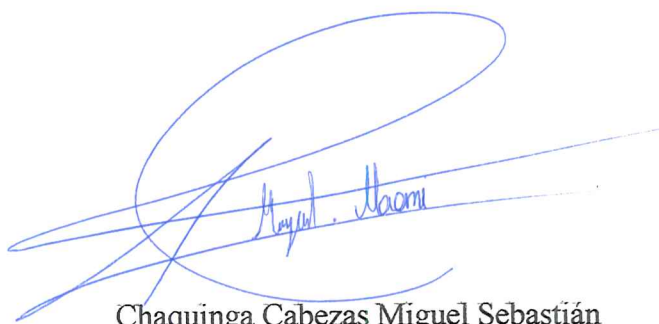
Miguel

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Chaquinga Cabezas Miguel Sebastián con cédula de ciudadanía No. 1723269229, Proaño Amores Fauxi Ludgardo con cédula de ciudadanía No. 0706994019 declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO AUTOMATIZADO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS POR TAMAÑO”**, siendo el Ing. Cristian Darwin Borja Borja, MSc, Tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

La Maná, 17 de marzo del 2026



Chaquinga Cabezas Miguel Sebastián
C.C: 1723269229



Proaño Amores Fauxi Ludgardo
C.C.: 0706994019

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO AUTOMATIZADO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS POR TAMAÑO”, de Chaquinga Cabezas Miguel Sebastián y Proaño Amores Fauxi Ludgardo, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Extensión La Maná, considero que dicho informe investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

La Maná, 17 de marzo del 2026



Ing. Borja Borja Cristian Darwin, MSc.
C.C. 1719252585
TUTOR

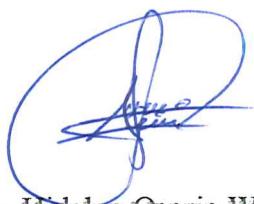
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación, de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, carrera de Ingeniería Electromecánica; por cuanto, los postulantes: Chaquina Cabezas Miguel Sebastián, y Proaño Amores Fauxi Ludgardo con el título de Proyecto de Investigación: **"IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO AUTOMATIZADO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS POR TAMAÑO"**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

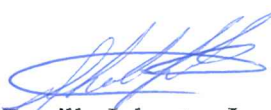
La Maná, 17 de marzo del 2026

Para constancia firma:



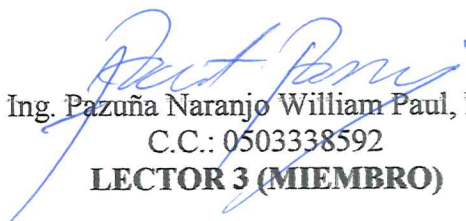
Ing. Hidalgo Osorio William Armando, MSc
C.C.: 0502657885

LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Corrales Bonilla Johnatan Israel, MSc
C.C.: 0503145518

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Pazuña Naranjo William Paul, MSc
C.C.: 0503338592

LECTOR 3 (MIEMBRO)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO AUTOMATIZADO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS POR TAMAÑO.

Autores:

Fauxi Ludgardo Proaño Amores

Miguel Sebastian Chaquina Cabezas

RESUMEN

El presente proyecto de investigación aborda la problemática de carencia de equipamiento especializado para la enseñanza práctica de sistemas de control neumático en el laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. Se diseñó e implementó un sistema neumático automatizado de clasificación de objetos por tamaño, integrando sensores fotoeléctricos, actuadores neumáticos lineales, controlador lógico programable Siemens S7-1200 e interfaz humano-máquina para supervisión del proceso. La metodología aplicada comprendió cinco fases: análisis de requerimientos y diseño conceptual, selección técnica de componentes mediante evaluación multicriterio, programación del controlador utilizando TIA Portal con arquitectura modular, simulación virtual del sistema completo mediante PLCSIM y plataformas de modelado tridimensional, e implementación física con la puesta en marcha progresiva. El sistema resultante clasifica objetos en dos categorías según altura detectada, opera de forma automática continua, permite configuración de parámetros operativos sin reprogramación del PLC, y registra mediante contadores acumulativos el número total de objetos procesados por cada sensor y categoría de clasificación, visualizables en tiempo real a través de la interfaz HMI. La validación del módulo didáctico implementado demostró cumplimiento satisfactorio de especificaciones funcionales establecidas, proporcionando una herramienta pedagógica efectiva que fortalece el desarrollo de competencias prácticas en automatización industrial, control neumático, programación de controladores e instrumentación, cerrando la brecha entre formación teórica y aplicación práctica en condiciones reales de laboratorio.

Palabras claves: Automatización industrial, sistema neumático, clasificación automatizada, controlador lógico programable, módulo didáctico.

ABSTRACT

This research project addresses the lack of specialized equipment for practical teaching of pneumatic control systems in the Electromechanical Engineering laboratory at the Technical University of Cotopaxi, La Maná Extension. An automated pneumatic system for object classification by size was designed and implemented, integrating photoelectric sensors, linear pneumatic actuators, Siemens S7-1200 programmable logic controller, and human-machine interface for process supervision. The applied methodology comprised five phases: requirements analysis and conceptual design, technical component selection through multi-criteria evaluation, controller programming using TIA Portal with modular architecture, virtual simulation of the complete system through PLCSIM and three-dimensional modeling platforms, and physical implementation with progressive commissioning. The resulting system classifies objects into two categories according to detected height, operates continuously in automatic mode, allows configuration of operational parameters without PLC reprogramming, and records through cumulative counters the total number of objects processed by each sensor and classification category, viewable in real-time through the HMI interface. Validation of the implemented didactic module demonstrated satisfactory compliance with established functional specifications, providing an effective pedagogical tool that strengthens the development of practical competencies in industrial automation, pneumatic control, controller programming, and instrumentation, bridging the gap between theoretical training and practical application under real laboratory conditions.

Key words: Industrial automation, pneumatic system, automated classification, programmable logic controller, didactic module.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
1 INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2 INTRODUCCIÓN	2
3 JUSTIFICACIÓN	2
4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
4.1 Beneficiarios principales.....	3
4.2 Beneficiarios secundarios	4
5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5
5.1 Problemática.....	5
5.2 Planteamiento del problema.....	5
6 OBJETIVOS	6
6.1 Objetivo general.....	6
6.2 Objetivos específicos	6
7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS DE RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	8
8.1 Sistema neumático industrial	8
8.2 Sistemas de clasificación neumática	9
8.3 Tipos de secuencia neumática.....	9
8.3.1 Método intuitivo.....	9
8.3.2 Método de cascada	10
8.3.3 Método paso a paso.....	11

8.4	Banda o cinta transportadora.....	11
8.4.1	Banda transportadora de goma.....	12
8.4.2	Banda transportadora de PVC.....	12
8.5	Sensores	13
8.5.1	Sensores inductivos.....	14
8.5.2	Sensores capacitivos	15
8.6	Alimentación y regulación del sistema neumático	16
8.6.1	Compresor.....	17
8.6.2	Compresor de embolo	17
8.6.3	Compresor de flujo.....	18
8.6.4	Unidad de mantenimiento	18
8.6.5	Filtro.....	18
8.6.6	Regulador	19
8.6.7	Lubricador.....	19
8.7	Tipos de actuadores.....	20
8.7.1	Actuador lineal	20
8.7.2	Actuador de giro.....	21
8.7.3	Actuadores especiales o grippers	22
8.7.4	Cilindros neumáticos de simple efecto	22
8.7.5	Cilindros de doble efecto	23
8.7.6	Válvulas	24
8.7.7	Válvula de control 5/2.....	24
8.7.8	Válvula control 3/2.....	24
8.7.9	Electroválvulas neumáticas.....	25
8.8	Mangueras y tubos neumáticos.	26
8.9	Controlador lógico programable	26

8.9.1	Controlador lógico programable compacto.....	27
8.9.2	Controlador lógico programable modular.....	27
8.9.3	PLC Siemens SIMATIC S7 – 1200	27
8.9.4	TIA portal.....	28
9	METODOLOGÍA Y DISEÑOS EXPERIMENTAL.....	29
9.1	Tipo de investigación	29
9.2	Diseño experimental	30
9.2.1	Fase 1: Análisis de requerimientos y diseño conceptual.....	30
9.2.2	Fase 2: Selección técnica de componentes	32
9.2.3	Fase 3: Programación del controlador y desarrollo del software de control.....	35
9.2.4	Fase 4: Simulación virtual y validación del software	38
9.2.5	Fase 5: Implementación física y puesta en marcha del sistema	40
9.3	Variables del estudio.....	46
9.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	46
10	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
10.1	Resultados de la implementación del sistema.....	47
10.1.1	Configuración física del sistema implementado	48
10.1.2	Funcionalidad del sistema de control automatizado	48
10.2	Interfaz humano-máquina y sistema de supervisión	49
10.2.1	Pantalla principal: Control y monitoreo operativo.....	49
10.2.2	Pantalla de monitoreo de actuadores: Estado de cilindros neumáticos.....	51
10.2.3	10.2.3 Pantalla de configuración: Parámetros ajustables del sistema	52
10.2.4	10.2.4 Pantalla de visualización general: Arquitectura tridimensional del sistema...	54
10.3	Evaluación del cumplimiento de objetivos	56
10.4	Aportaciones del sistema al contexto educativo	57
10.4.1	Competencias técnicas desarrollables mediante el módulo	57

10.4.2	Alineación con requerimientos del sector productivo.....	59
10.5	Limitaciones identificadas y oportunidades de mejora.....	59
10.5.1	Limitaciones del sistema actual	59
10.5.2	Propuestas de mejora y expansión del sistema	60
10.6	Comparación con sistemas similares	62
11	IMPACTOS TÉCNICOS, SOCIALES Y ECONÓMICOS	63
11.1	Impacto técnico	63
11.2	Impacto social	64
11.3	Impacto económico	64
12	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	65
12.1	Presupuesto del sistema neumático de clasificación.....	65
12.2	Materiales donados por la universidad.....	65
13	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
13.1	Conclusiones	66
13.2	Recomendaciones.....	67
14	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
15	ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo 1: Datos Personales	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo 2: Evidencias fotográficas	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo 3. Manual del operador.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos	6
Tabla 2. Tabla sobre las ventajas y desventajas de los dos tipos de bandas transportadoras	13
Tabla 3. Diferencias entre los sensores inductivos y capacitivos	15
Tabla 4. Tabla de características del PLC SIMATIC S7 – 1200	27
Tabla 5. Fases metodológicas del proyecto	30
Tabla 6. Categorías de requerimientos del sistema.....	31
Tabla 7. Subsistemas principales del diseño conceptual.....	32
Tabla 8. Criterios generales de evaluación para selección de componentes.....	33
Tabla 9. Componentes principales del sistema y criterios de selección aplicados	34
Tabla 10. Bloques funcionales del programa de control.....	35
Tabla 11. Estados de la máquina de estados finitos del proceso de clasificación.....	36
Tabla 12. Categorías de información intercambiada entre controlador e interfaz de operador	37
Tabla 13. Objetivos y beneficios de la simulación virtual	38
Tabla 14. Escenarios de prueba ejecutados en simulación virtual	39
Tabla 15. Subsistemas eléctricos y principios de instalación	41
Tabla 16. Componentes del sistema neumático y justificación de uso en el proceso	42
Tabla 17. Niveles del protocolo de la puesta en marcha progresiva.....	45
Tabla 18. Técnicas de recolección de datos aplicadas	46
Tabla 19. Resumen de cumplimiento de objetivos específicos del proyecto.....	57
Tabla 20. Competencias técnicas desarrollables mediante prácticas con el módulo	57
Tabla 21. Limitaciones identificadas del sistema implementado	59
Tabla 22. Oportunidades de mejora identificadas.....	61
Tabla 23. Comparación con sistemas didácticos alternativos.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales beneficiarios principales	4
Figura 2. Porcentaje de los beneficiarios secundarios y beneficiarios principales	5
Figura 3. Sistema neumático industrial.....	9
Figura 4. Método intuitivo	10
Figura 5. Método cascada	10
Figura 6. Método paso a paso	11
Figura 7. Banda transportadora de goma	12
Figura 8. Banda trasportadora de PVC	13
Figura 9. Sensores inductivos	14
Figura 10. Sensor capacitivo.....	15
Figura 11. Compresor de aire comprimido	17
Figura 12. Compresor de embolo.....	18
Figura 13. Filtro, regulador y lubricador.....	19
Figura 14. Tipos de actuadores neumáticos	20
Figura 15. Partes de un cilindro neumático.....	21
Figura 16. Motor neumático de aletas/giro	21
Figura 17. Pinza neumática/grippers.....	22
Figura 18. Cilindro de simple efecto.....	22
Figura 19. Cilindro de simple efecto sin muelle	23
Figura 20. Cilindro de doble efecto	23
Figura 21. Válvula 5/2	24
Figura 22. Válvula 3/2	25
Figura 23. Electroválvula 5/2.....	25
Figura 24. Mangueras/tubos neumáticos	26

Figura 25. PLC Siemens SIMATIC S7 – 1200.....	27
Figura 26. Entorno del TIA portal	29
Figura 27. Pantalla principal del HMI – Control operativo y monitoreo del proceso	49
Figura 28. Pantalla de visualización de estado de cilindros neumáticos	51
Figura 29. Panel de configuración de parámetros operativos del sistema	53
Figura 30. Vista general isométrica del sistema de clasificación automatizado	54

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO AUTOMATIZADO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS POR TAMAÑO.”

Fecha de inicio: Octubre del 2025

Fecha de finalización: Marzo del 2026

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

Unidad académica que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado: La transferencia de tecnología sostenible como elemento clave para el desarrollo socioeconómico y la integración social.

Equipo de trabajo:

Tutor del Proyecto: M.Sc. Borja Borja Cristian Darwin

Postulantes: Sr. Proaño Amores Fauxi Ludgardo

Sr. Chaquinga Cabezas Miguel Sebastian

Área de conocimiento: Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación: Procesos Industriales y Automatización.

2 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la automatización industrial se ha convertido en un pilar fundamental para mejorar la eficiencia, productividad y calidad de los procesos en diversas industrias. En este contexto, la neumática desempeña un papel clave debido a su fiabilidad, bajo costo y facilidad de implementación. Sin embargo, en entornos educativos como la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, se ha identificado una carencia de equipos reales que permitan el desarrollo práctico de estos conocimientos, limitando la formación técnica de los estudiantes.

El presente proyecto propone el diseño e implementación de un sistema neumático automatizado para la clasificación de objetos por tamaño, utilizando sensores, actuadores neumáticos y un controlador lógico programable (PLC). Este sistema incluye además la simulación del proceso mediante software especializado, lo cual permite visualizar y validar su funcionamiento previo a la construcción física.

El objetivo principal de este trabajo es proporcionar una solución didáctica, funcional y de bajo costo que fortalezca la enseñanza de los sistemas de control neumático, permitiendo a estudiantes y docentes mejorar sus habilidades en automatización, control de procesos, instrumentación y simulación industrial. Así, se busca cerrar la brecha entre la teoría impartida en las aulas y la práctica en condiciones reales de laboratorio, alineándose con las exigencias actuales del sector productivo.

3 JUSTIFICACIÓN

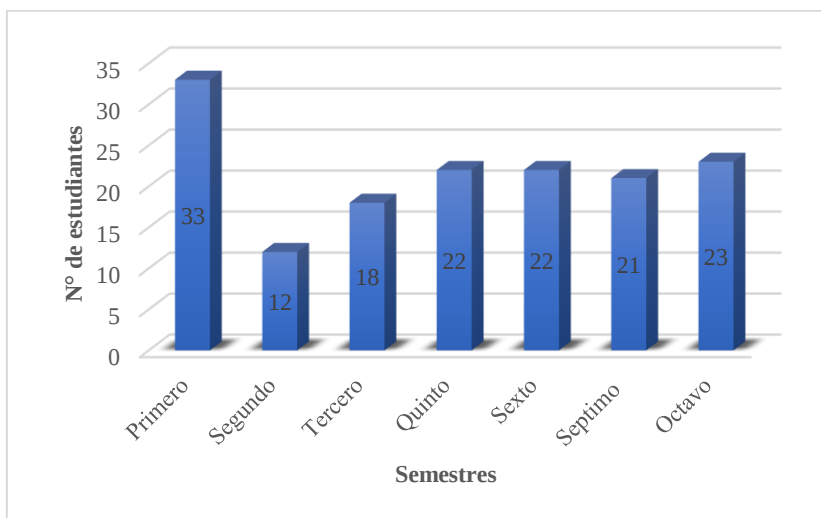
La automatización industrial desempeña un papel importante para la mejora en la productividad, aumentar la precisión de procesos y lo más importante la reducción de costos en los procesos de manufactura y elaboración. El presente proyecto propone implementar un sistema neumático automatizado para la clasificación de objetos por tamaño, para que sea una solución eficiente, segura y de bajo costo ya sea para pequeñas y medianas industrias que aun dependen de métodos de clasificación manual. Este sistema automatizado nos permitirá tener movimientos controlados ya sea a través de actuadores neumáticos como los cilindros, guiados por sensores y un controlador como el PLC, así garantizando un proceso de clasificación con gran precisión y una línea continua sin la necesidad de intervención humana. La importancia de este sistema automatizado radica en la utilización del aire comprimido como una fuente de energía, así ofreciendo una solución limpia y renovable, fiable y de bajo costo. Aparte del sistema automatizado tenemos un plus, el uso de una

simulación de procesos que nos permite tener una visualización del funcionamiento antes de su implementación en tiempo real o antes del postproceso. Este sistema neumático de clasificación que se basa en actuadores, sensores de tamaño y con una interfaz de simulación, nos permitiría facilitar los procesos de clasificación, disminuir errores humanos y garantizar un rendimiento de producción más uniforme. Este sistema neumático automatizado de clasificación como modulo didáctico en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi permitirá a los estudiantes de la carrera tener conocimientos claves en control neumático, instrumentación, programación y simulación industrial, fortaleciendo los conocimientos adquiridos en las clases. La problemática que dio origen a este proyecto fue gracias a que identificamos la ineficiencia y los errores constantes que existen en los procesos manuales de clasificación, donde se pudo evidenciar una necesidad de una alternativa automatizada, aun bajo costo de inversión y con buena fiabilidad, que sea capaz de adaptarse y la vez con una visión de expansión o mejora del sistema.

4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1 Beneficiarios principales

Los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, se constituirán como los beneficiarios directos de la implementación de este módulo neumático automatizado. El sistema, equipado con sensores de precisión para la detección y cilindros para el desplazamiento de objetos según su escala dimensional, permite una simulación real de los procesos industriales modernos, optimizando el aprendizaje práctico en el área de la automatización.

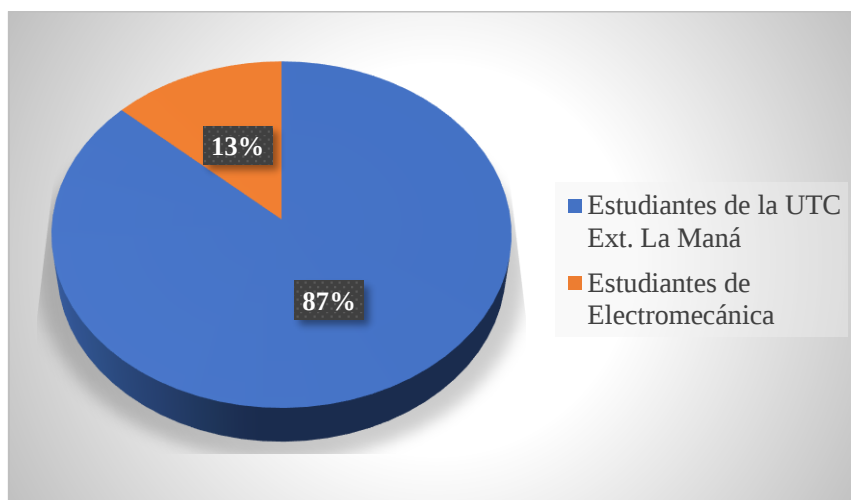
Figura 1. Principales beneficiarios principales

Fuente: Los autores

4.2 Beneficiarios secundarios

Los beneficiarios secundarios de este proyecto comprenden a la comunidad académica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, integrada por un total de 989 estudiantes, quienes se ven favorecidos por el fortalecimiento de la infraestructura tecnológica y el prestigio institucional que aporta la implementación de sistemas automatizados. De manera específica, el impacto técnico recae sobre los 151 estudiantes de la carrera de Electromecánica, quienes dispondrán de un módulo didáctico real para la simulación de procesos neumáticos y el estudio de sensores de selección, permitiéndoles desarrollar competencias prácticas esenciales en el campo de la automatización industrial y el control de sistemas neumáticos.

Figura 2. Porcentaje de los beneficiarios secundarios y beneficiarios principales



Fuente: Los autores

5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1 Problemática

La carrera de Electromecánica de la Extensión La Maná tiene asignaturas que estudian los sistemas de control neumáticos y sistemas hidráulicos, en los cuales dan explicaciones sobre su funcionamiento y su utilidad en las industrias tanto de alimentos como manufactura, así demostrando la utilidad de cada uno de los factores que se necesita para poder realizar estos procesos. Dada la situación sobre estos temas, se necesita un sistema donde se pueda realizar prácticas e implementar los conocimientos adquiridos en clase, ya que el laboratorio de electromecánica no cuenta con un sistema real neumático de los que se hacen uso en la industria, por lo que se ha visto una dificultad en la parte práctica por falta de equipos en el laboratorio. Es necesario implementar un sistema con válvulas, cilindros neumáticos y un PLC para su debida programación que se realizará para que así los estudiantes y docentes tengan una mayor facilidad de dar a conocer las funciones de la materia, así contribuyendo a la universidad y al desarrollo del aprendizaje de los estudiantes que se vayan integrando en la carrera.

5.2 Planteamiento del problema

¿De qué forma este sistema neumático automatizado de clasificación por tamaño podría ayudar en el estudio, la práctica y la comprensión de los sistemas de control neumáticos a los docentes y estudiantes de la carrera de Electromecánica ante la falta de equipos especializados en el laboratorio de la carrera?

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Implementar un módulo didáctico de clasificación neumática automatizada por tamaño, mediante la integración de sensores fotoeléctricos, actuadores neumáticos y un controlador lógico programable S7-1200 con interfaz HMI, para el fortalecimiento de competencias prácticas en automatización y control de procesos neumáticos de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.

6.2 Objetivos específicos

- Diseñar la arquitectura del módulo didáctico de clasificación neumática automatizada, mediante el levantamiento de requerimientos funcionales con docentes de la carrera y el modelado conceptual del sistema en software CAD, para establecer las especificaciones técnicas que orienten la selección de componentes y la implementación física del módulo.
- Seleccionar los componentes del sistema neumático automatizado, incluyendo sensores fotoeléctricos, actuadores de doble efecto, electroválvulas y el controlador lógico programable S7-1200, mediante evaluación multicriterio de alternativas comerciales con criterios técnicos, económicos y pedagógicos, para garantizar su funcionalidad y pertinencia en el entorno educativo del laboratorio.
- Validar el funcionamiento del módulo didáctico mediante simulación virtual en PLCSIM y Factory IO, y a través de la interfaz HMI desarrollada en TIA Portal, para verificar la lógica de control, optimizar temporizaciones y confirmar el comportamiento correcto del proceso de clasificación antes y durante la operación física.

7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS DE RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos

Objetivo	Actividad	Resultado	Metodología
Implementar un módulo didáctico de clasificación neumática automatizada	Desarrollar e integrar todos	Módulo didáctico de clasificación	Investigación aplicada con

por tamaño, mediante la integración de sensores fotoeléctricos, actuadores neumáticos y un controlador lógico programable S7-1200 con interfaz HMI, para el fortalecimiento de competencias prácticas en automatización y control de procesos neumáticos de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná	los subsistemas del módulo didáctico: estructura mecánica, circuito neumático, tablero eléctrico, programación del PLC e interfaz HMI	neumática automatizada operativo, funcional e instalado en el laboratorio de Ingeniería Electromecánica	enfoque tecnológico-experimental, metodología de cinco fases secuenciales
Diseñar la arquitectura del módulo didáctico de clasificación neumática automatizada, mediante el levantamiento de requerimientos funcionales con docentes de la carrera y el modelado conceptual del sistema en software CAD, para establecer las especificaciones técnicas que orienten la selección de componentes y la implementación física del módulo.	Realizar entrevistas con docentes, priorizar funcionalidades con la técnica MoSCoW y modelar el sistema en software CAD	Especificaciones técnicas formales y modelo CAD del módulo con la distribución espacial de todos los subsistemas definida	Investigación de campo, entrevistas estructuradas, técnica MoSCoW y modelado en software CAD
Seleccionar los componentes del sistema neumático automatizado, incluyendo sensores fotoeléctricos, actuadores de doble efecto, electroválvulas y el controlador lógico programable S7-1200, mediante evaluación multicriterio de alternativas comerciales con criterios técnicos, económicos y pedagógicos, para garantizar su funcionalidad y	Identificar alternativas comerciales para cada subsistema y evaluarlas mediante matrices de decisión con criterios técnicos,	Lista técnica de componentes seleccionados con especificaciones y justificación de selección documentada para cada subsistema	Evaluación multicriterio, consulta de catálogos industriales y análisis de requerimientos del proceso

pertinencia en el entorno educativo del laboratorio.	económicos y pedagógicos		
Validar el funcionamiento del módulo didáctico mediante simulación virtual en PLCSIM y Factory IO, y a través de la interfaz HMI desarrollada en TIA Portal, para verificar la lógica de control, optimizar temporizaciones y confirmar el comportamiento correcto del proceso de clasificación antes y durante la operación física	Simular la lógica de control en PLCSIM y Factory IO, ajustar temporizaciones y desarrollar la interfaz HMI en TIA Portal con cuatro pantallas de supervisión	Sistema validado con lógica de control optimizada y operación física del proceso de clasificación confirmada mediante la interfaz HMI	Simulación virtual en PLCSIM y Factory IO, programación en lenguaje Ladder en TIA Portal y pruebas de puesta en marcha progresiva

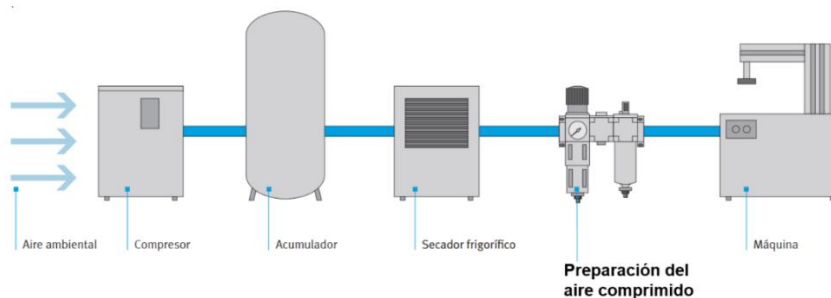
Fuente: Los autores

8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Sistema neumático industrial

Los sistemas neumático industrial son aquellos que usan aire comprimido para así poder generar y transmitir energía, así como se muestra en la Figura 1. Estos sistemas se emplean en fábricas y se utilizan mayormente en áreas de procesos de alimentos ya que no requieren líquidos o grasas para su funcionamiento los que pueden contaminar el entorno, el aire consigue mantener la higiene y una fácil limpieza cumpliendo las normas sanitarias industriales.

La neumática es esencial para una gran variedad de aplicaciones en la industria, como los sistemas de transporte hasta los sistemas automatizados, pero debido a su naturaleza compleja al momento de aplicarla puede ser un gran desafío si no se tiene los conocimientos adecuados para una mayor comprensión general [1].

Figura 3. Sistema neumático industrial**Fuente:** [2]

8.2 Sistemas de clasificación neumática

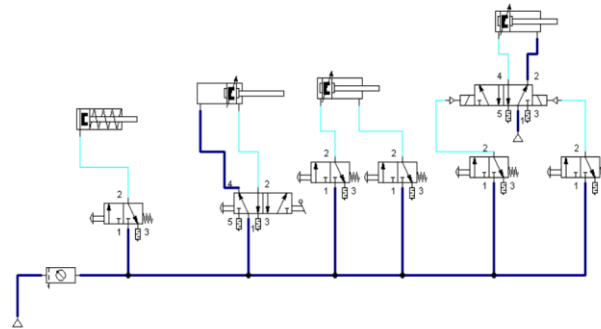
Un sistema de clasificación neumática está conformado por diversos componentes entre ellos un compresor, el cual se encarga de suministrar aire comprimido a todo el sistema neumático. El aire es conducido a través de una red de tuberías que conectan con los actuadores neumáticos o cilindros, estos se encargan de realizar el proceso de clasificación de los objetos. Para el área de transporte y movilización de dichos objetos. Se incorpora una banda transportadora teniendo como función desplazar los elementos a lo largo del sistema de forma continua y controlada [3].

8.3 Tipos de secuencia neumática

Las secuencias neumáticas cuentan de una planificación y diseño de eventos que van a ocurrir en el sistema neumático para poder lograr un proceso estimado esto incluye la apertura y cierre de válvulas, el accionamiento de los actuadores y los cilindros en los momentos requeridos. Una secuencia neumática nos brinda la visualización del funcionamiento a través de una tabla o esquema secuencial. Y estos tipos de secuencia son el método intuitivo, método de cascada y el método paso a paso. Existen varios tipos de secuencias según el diseño del sistema y la complejidad de su aplicación.

8.3.1 Método intuitivo

En la figura 2 el método secuencial intuitivo neumático funciona la intuición manual en la toma de decisiones de una manera secuencial. Este proceso no necesita un análisis y se lo define como método de deducción lógica.

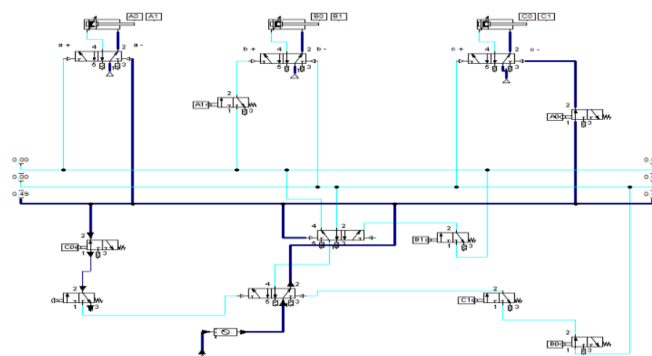
Figura 4. Método intuitivo**Fuente:** Los autores

El método de secuencia intuitiva se basa en que cada movimiento activa el siguiente mediante la intuición humana, pero corre el riesgo de posibles conflictos entre señales al activar las válvulas de control de los actuadores. Esta forma de diseño resulta clara y practica para circuitos sencillos ya que permite tener una lógica sin complicaciones en la toma de decisiones [4].

8.3.2 Método de cascada

El método secuencial cascada en la neumática se usa para realizar un control de manera tanto secuencial y sincrónica de diversos cilindros, esta secuencia divide el sistema en etapas o grupos de válvulas, solo una etapa se activa a la vez garantizando que el orden se cumpla correctamente, cuando una etapa termina se activa la siguiente, así como se muestra en la Figura 3.

Este sistema nos permite poder encontrar la solución de los circuitos neumáticos siguiendo unos pasos determinados y poder así eliminar las condiciones de bloqueo que se presentan en los desgramas de funcionamiento [5].

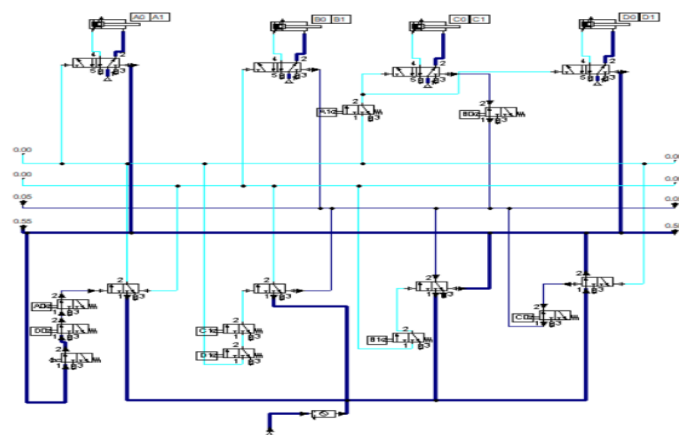
Figura 5. Método cascado**Fuente:** Los autores

El método secuencial por cascada es una técnica usada en la industria para crear secuencias en varios cilindros neumáticos de doble efecto alimentados por válvulas 5/2 el cual le da su accionamiento y retroceso, para diseñar circuitos que ejecuten una secuencia ordenada evitando conflictos entre señales. Este método consiste en dividir la secuencia en grupos donde solo un actuador se activa por grupo y al finalizar un movimiento se genera una señal que activa el siguiente grupo y desactiva el anterior así garantizando que los actuadores se activen en el orden correcto y en secuencia [4].

8.3.3 Método paso a paso

La secuencia paso a paso o step by step se utiliza en los circuitos neumáticos con la finalidad de que para activar un segmento se debe desactivar otro anteriormente así obteniendo una secuencia figura 4, ya que hay pérdidas de presión en el método de cascada cuando contamos con más de dos válvulas es por eso que usamos el método secuencial paso a paso para compensar estas pérdidas de presión ya que solo hay un paso activo a la vez.

Figura 6. Método paso a paso



Fuente: Los autores

El método secuencial paso a paso es utilizado para diseños de circuitos neumáticos ya que se basa en la activación y desactivación secuencial de válvulas así dirigiendo el flujo de aire comprimido de una manera progresiva y controlada teniendo precisión en los dispositivos y equipos neumáticos [4].

8.4 Banda o cinta transportadora

Las bandas transportadoras en la actualidad son muy utilizadas en el sector industrial como un elemento clave para la movilización de los elementos que se estén realizando y estas bandas se diseñan de acuerdo a su funcionen en la industria [6].

La banda transportadora se activa mediante un par de rodillos de PVC los cuales son movidos mediante un motor reductor el cual a su vez manipula el movimiento constante de la cinta. La banda transportadora es una de los sistemas más importantes del siglo XXI gracias a su adaptabilidad en el campo industrial siendo una herramienta muy importante en la automatización de procesos por su fácil configuración y manejo [7].

8.4.1 Banda transportadora de goma

En la figura 5 las bandas transportadoras de goma son normalmente usadas en el transporte tanto en interiores y exteriores de todos tipos de objetos, están compuesto por un núcleo textil de poliéster y nailon que le otorga una mayor resistencia evitando una ruptura prematura, su forma de transporte se puede configurar de manera horizontal o vertical [8].

Figura 7. Banda transportadora de goma



Fuente: [9]

8.4.2 Banda transportadora de PVC

La figura 6 muestra el tipo de banda flexibles y resistentes son normalmente usadas en sistemas de transporte industrial y están compuestas por varias capas de tejidos de poliéster recubiertas con PVC lo que les otorga resistencia mecánica, flexibilidad y durabilidad. Son ideales para transporte continuo de productos. Fácil mantenimiento, se puede limpiar con facilidad lo que les hace aptas para ambientes que requieren higiene y no son aptas para ambientes con temperatura extrema ya sean muy altas o muy bajas.

Figura 8. Banda transportadora de PVC**Fuente:** [10]**Tabla 2.** Tabla sobre las ventajas y desventajas de los dos tipos de bandas transportadoras

Tipos de bandas transportadoras	Ventajas	Desventaja
	Banda tipo PVC	Banda tipo Goma
Flexibilidad	Alta	Normal (son más rígidas en general)
Higiene	Ideal para alimentos (PVC blanco o azul)	No es apta para alimentos
Costo	Mas económico	Mas costosa
Resistencia a la temperatura	No se recomienda a altas temperaturas	Es resistente a altas temperaturas
Mantenimiento	Fácil mantenimiento, fácil de limpiar	Es más complicada la limpieza y aún más si tiene texturas

Fuente: [10]

8.5 Sensores

Un sensor es un dispositivo que tienen la capacidad de medir y detectar condiciones tanto físicas del entorno o ambiente y las convierte en señales eléctricas, las que pueden ser interpretadas por un sistema control como un PLC, microcontrolador o computador. Los sensores nos permiten monitorear variables tales como:

- Humedad
- Temperatura
- Presión
- Nivel de líquidos o fluidos
- Movimiento
- Luz
- Posición
- Proximidad
- Velocidad

Este dispositivo ha facilitado la automatización industrial a lo largo de estos últimos años, ya que permiten a las máquinas obtener información del entorno o de un proceso específico [11].

8.5.1 Sensores inductivos

Los sensores inductivos son dispositivos con la capacidad de detectar objetos de características metálicas, sin necesidad de estar en contacto directo. Estos sensores funcionan a través de una bobina la que genera un campo magnético el cual mide las perturbaciones cuando el objeto entra en el campo magnético como se muestra en la Figura 9 [12].

Figura 9. Sensores inductivos



Fuente: [12]

8.5.2 Sensores capacitivos

En la Figura 10 se muestra que los sensores capacitivos son dispositivos tipo electrónico que actúan ante variaciones en la capacidad de un capacitor, funcionan midiendo los cambios en la capacitancia entre el sensor y el objeto, el sensor genere un campo electrónico desde su cara activa cuando un objeto se aproxima altera la constante dieléctrica del entorno, esta alteración varia la capacitancia y el sensor la detecta, si el cambio supera el límite establecido el sensor activa una señal de salida o pulso a un controlador, estos tienen la capacidad de detectar materiales solidos o líquidos, conductores o no conductores sin la necesidad de estar en contacto directo con el objeto [13].

Figura 10. Sensor capacitivo



Fuente: [14]

A continuación, se mostrará una tabla comparativa entre los sensores capacitivos y los sensores inductivos para poder analizar las diferencias entre ambos.

Tabla 3. Diferencias entre los sensores inductivos y capacitivos

Características	Sensor inductivo	Sensor capacitivo
Material detectado	Solo metales.	Metales y no metales tales como el vidrio, plástico, madera y líquidos.
Principio de operación	Campo electromagnético.	Campo eléctrico, variación de capacitancia.
Distancia de detección	1 a 40 mm.	1 a 25 mm.

Características	Sensor inductivo	Sensor capacitivo
Sensibilidad	No es ajustable en la mayoría de los modelos.	Si muchos de los modelos tienen potenciómetro.
Precisión	Alta.	Media.
Tiempo de respuesta	Rápido en milisegundos o microsegundos.	Rápido en milisegundos.
Condiciones ambientales	Alta resistencia a aceites, polvo, agua.	Sensibles a la humedad, temperatura alta y polvo.
Costo promedio	Medio.	Media a alto.
Consumo de energía	Bajo.	Bajo a medio.
Instalación y mantenimiento	Fácil y bajo mantenimiento.	Fácil, pero estos requieren calibración periódica.
Aplicaciones comunes	Detección de piezas metálicas, conteo, posicionamiento.	Medición de nivel, detección de objetos no metálicos, automatización general.
Interferencia externa	Poca interferencia.	Mayor susceptibilidad a interferencias eléctrica.
Detección a través de materiales no metálicos	No.	Si.
Durabilidad	Muy alta.	Alta.
Requiere calibración	No.	Si.

Fuente: [14]

8.6 Alimentación y regulación del sistema neumático

La alimentación y regulación neumática tiene como inicio un compresor de aire comprimido el cual trabaja con presiones de trabajo típicas entre 6 y 10 bar. Dicho aire debe ser tratado para poder asegurar su pureza y así proteger a los componentes neumáticos del sistema, por lo que es necesario que pase por un conjunto de filtrado, secado y lubricación para poder así quitar las impurezas del mismo. La unidad de mantenimiento (FRL), se ubica al inicio del circuito y garantiza que el aire comprimido este limpio y seco antes de llegar a los actuadores y válvulas neumáticas.

La regulación del sistema neumático es la que se encarga de regular y controlar la presión, el caudal y la dirección del aire comprimido. Para esto se necesita emplear válvulas direccionales que guíen el flujo de aire hacia los actuadores, reguladores de presión los cuales estabilicen el sistema y válvulas de caudal que ajusten la velocidad de movimiento del aire comprimido. Adicional se integran válvulas de antirretorno para una mayor seguridad del sistema neumático así asegurando el funcionamiento y evitando daños por sobre presión y se incorporan sensores y controladora electrónicos que permitan un control preciso y eficiente en el proceso neumático.

8.6.1 Compresor

Un compresor es un dispositivo mecánico que se encarga de tomar el aire del ambiente y comprimirlo como se muestra en la Figura 11, así aumentando su presión para después almacenarlo en un tanque o alimentar directamente un circuito o sistema neumático. En un sistema neumático el compresor tiene una función principal, el de generar y suministrar el aire comprimido que sea necesario para que los actuadores y componentes neumáticos como cilindros o válvulas funcionen correctamente dentro del sistema [15].

Figura 11. Compresor de aire comprimido

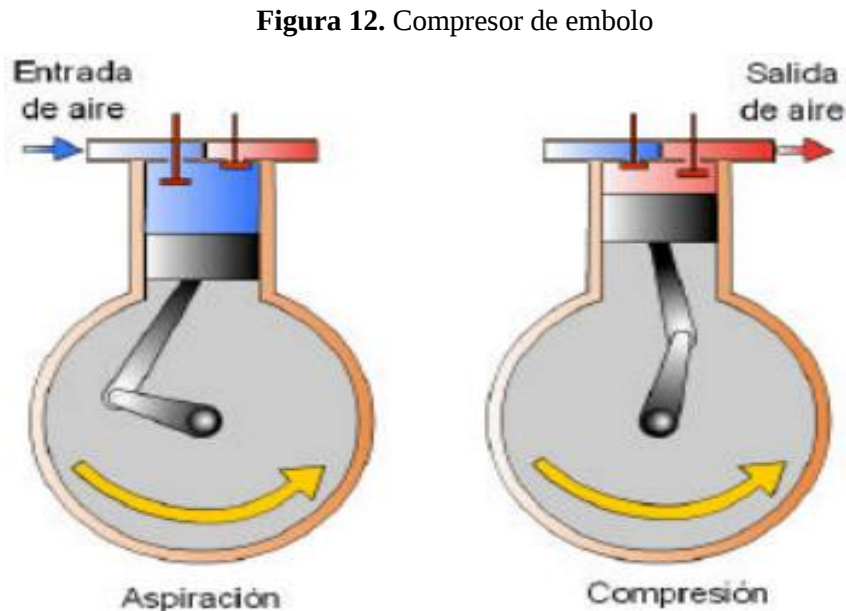


Fuente:[16]

8.6.2 Compresor de embolo

Estos son los compresores más utilizados debido a su flexibilidad, así como se muestra en la Figura 12. El funcionamiento de este tipo de compresores es muy similar al del motor de un automóvil, su

funcionamiento es mediante un eje, una biela y una manivela los cuales producen el movimiento alternativo de un pistón. Al bajar el pistón se introduce el aire comprimido y cuando ha bajado totalmente se cierra la válvula de admisión y comienza a subir el pistón y así sube el aire comprimido [17].



Fuente: [17]

8.6.3 Compresor de flujo

Los compresores de flujo o también conocidos como compresores dinámicos son máquinas las cuales ayudan a aumentar la presión de un fluido mediante la aceleración continua del mismo. En este compresor existen partes rotativas y estáticas por lo que se debe especificar a qué velocidad en RPM pueden rotar cada una de estas partes [18].

8.6.4 Unidad de mantenimiento

La unidad de mantenimiento o (FRL) por sus siglas filtro, regulador y lubricador, así como se muestra en la figura 10 es un conjunto de dispositivos que son instalados después del compresor y antes de los actuadores, es decir se instala cerca del punto de consumo, lo más próximo posible a las válvulas con el objetivo de preparar de una forma adecuada el aire comprimido.

8.6.5 Filtro

El filtro se encarga de eliminar las partículas sólidas como el polvo, óxido, virutas y agua condensada que se encuentra presentes en el aire comprimido, además protege los componentes neumáticos

con el desgaste, bloque de las vías o mal funcionamiento. El filtro consta de un vaso transparente para la observación de la cantidad de agua acumulada, incluye una purga manual o puede ser automática para la eliminación del agua [19].

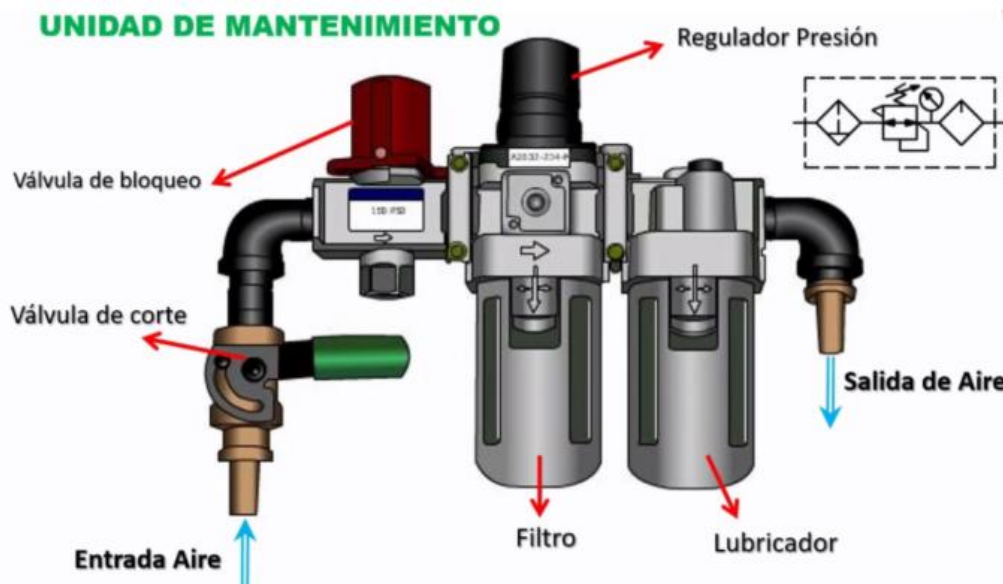
8.6.6 Regulador

El regulador se encarga de controlar la presión de salida del aire comprimido que alimenta el sistema neumático, manteniendo una presión constante a pesar de que haya variaciones en la presión del compresor con el consumo de aire. El regulador está conformado de una perilla de ajuste que se puede girar para aumentar o disminuir la presión, además tiene un manómetro para visualizar la presión de salida evitando una presión excesiva que pueda dañar los componentes o una presión insuficiente para el sistema [19].

8.6.7 Lubricador

El lubricador se encarga de inyectar una neblina de aceite en el aire comprimido para lubricar las partes internas de los cilindros o válvulas neumáticas, este cuenta con un depósito de aceite generalmente transparente, el caudal del aceite se puede regular según las necesidades del sistema, en sistemas modernos o de aire limpio ya no se requiere lubricador [19].

Figura 13. Filtro, regulador y lubricador

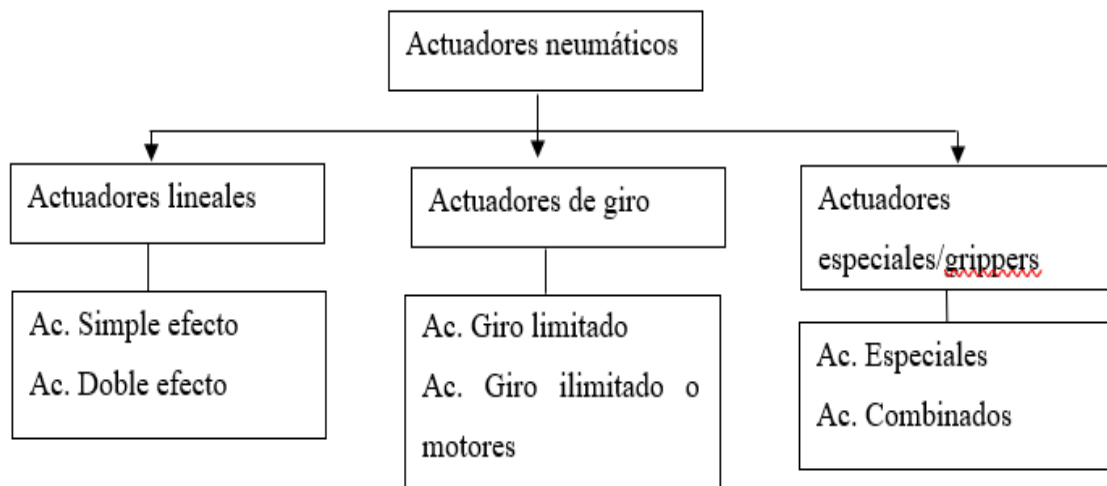


Fuente: [20]

8.7 Tipos de actuadores

Los actuadores neumáticos son dispositivos mecánicos que transforman la energía del aire comprimido en movimiento mecánico, estos pueden trabajar tanto de forma lineal, de forma giratoria o de rotación y actuadores especiales como los Grippers [21].

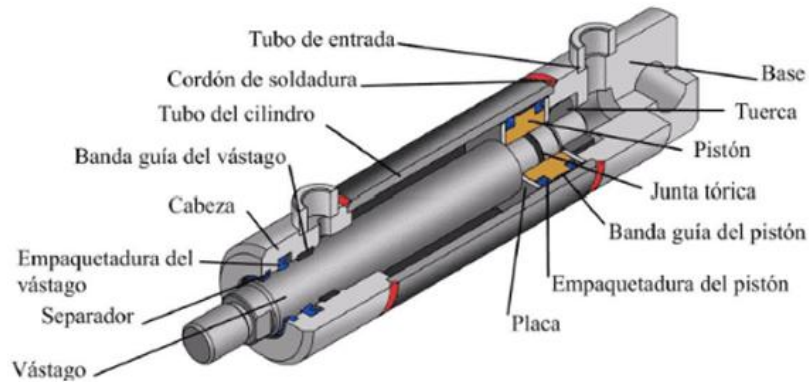
Figura 14. Tipos de actuadores neumáticos



Fuente:[21]

8.7.1 Actuador lineal

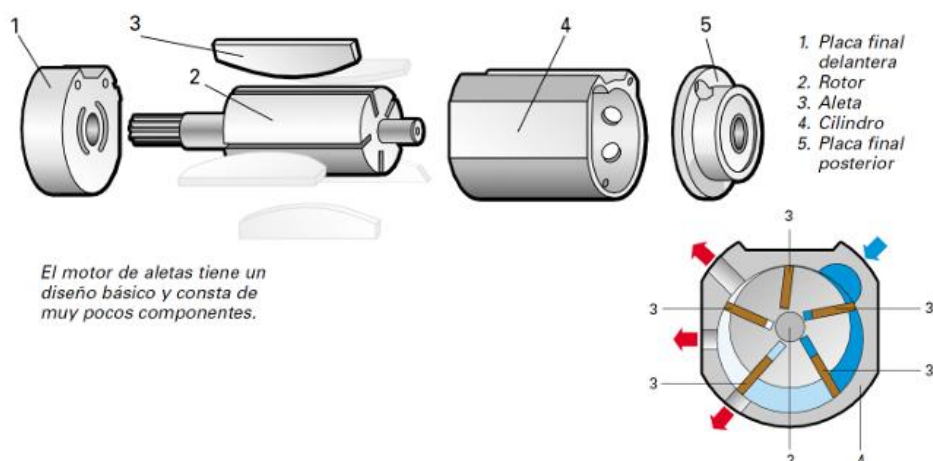
En la Figura 15 se muestra un actuador neumático lineal es un dispositivo que transforma la energía del aire comprimido en un movimiento lineal rectilíneo, el cilindro lineal es uno de los más usados en la automatización industrial gracias a su simplicidad, su bajo costo y eficiencia. Son usados mayormente en aplicaciones en las cuales se necesita una fuerza de empuje y movimiento lineal entre los actuadores lineales hay diversos tipos diseñados para diferentes trabajos entre ellos los de simple efecto y los de doble efecto [22].

Figura 15. Partes de un cilindro neumático

Fuente: [22]

8.7.2 Actuador de giro

Un actuador neumático de giro o también llamado actuador rotativo neumático es un dispositivo que transforma la energía del aire comprimido en un movimiento rotacional limitado o ilimitado. A diferencia de los actuadores lineales que hacen la función de empujar o jalar, los actuadores de giro rotan sobre un eje en una cantidad determinada de grados típicamente van de 90° a 360° grados, el aire comprimido ingresa en la cámara del actuador, por la presión del aire mueve los mecanismos internos (paletas, pistones y engranajes), ese movimiento se transforma en un giro del eje de salida, en la Figura 16 se muestra un motor neumático de giro [23].

Figura 16. Motor neumático de aletas/giro

Fuente: [24]

8.7.3 Actuadores especiales o grippers

Un actuador especial o gripper, así como en la Figura 17 es un sistema neumático que simula el funcionamiento de una garra o una pinza, su función es sujetar, agarrar o liberar objetos durante los procesos neumáticos como manipulación robótica, ensamblaje o empaque. Los grippers se alimentan con aire comprimido, tiene un mecanismo interno conformado de palancas, pistones y levas los cuales mueven las garras para abrir o cerrar mediante la suministración de aire comprimido [25].

Figura 17. Pinza neumática/grippers

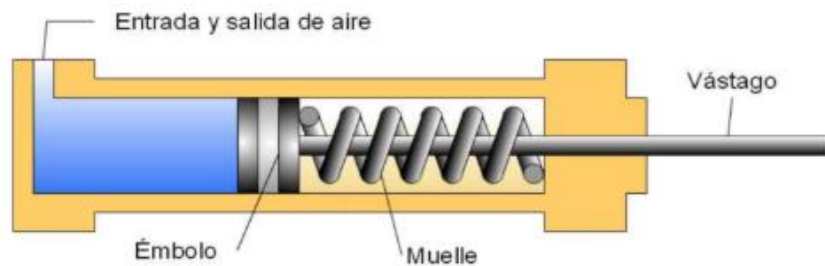


Fuente: [26]

8.7.4 Cilindros neumáticos de simple efecto

El cilindro neumático de simple efecto es un actuador de tipo lineal que tiene una sola alimentación de aire comprimido y en la Figura 18 se detalla las partes del cilindro, el aire comprimido entra por esa alimentación y empuja el pistón hacia afuera cuando se corta el suministro de aire comprimido un resorte interno llamado retorno por muelle hace que el pisto regrese a su posición original [23].

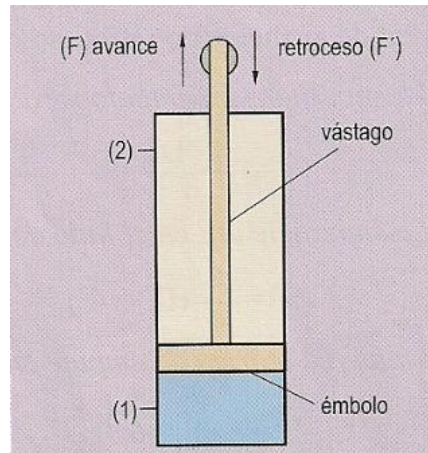
Figura 18. Cilindro de simple efecto



Fuente: [27]

La Figura 19 muestra que hay cilindros de simple efecto que no viene incorporadas el muelle por la siguiente razón, el cilindro se debe ubicar de forma vertical para que exista el retroceso o retorno por el propio peso del vástago [23].

Figura 19. Cilindro de simple efecto sin muelle

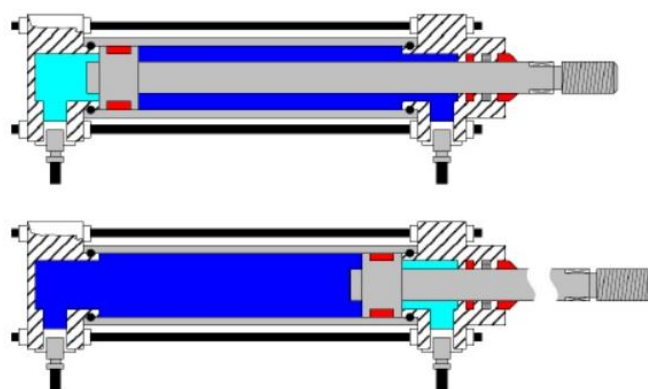


Fuente: [28]

8.7.5 Cilindros de doble efecto

El cilindro neumático de doble efecto es un actuador de tipo lineal que al igual que el de simple efecto necesita aire comprimido para su funcionamiento, este cilindro cuenta con dos alimentaciones de aire una para empujar el émbolo hacia afuera llamada activación y otra para empujarlo hacia adentro llamada retracción, el movimiento depende del control del flujo de aire comprimido mediante válvulas neumáticas, así como se muestra en la Figura 20.

Figura 20. Cilindro de doble efecto



Fuente: [29]

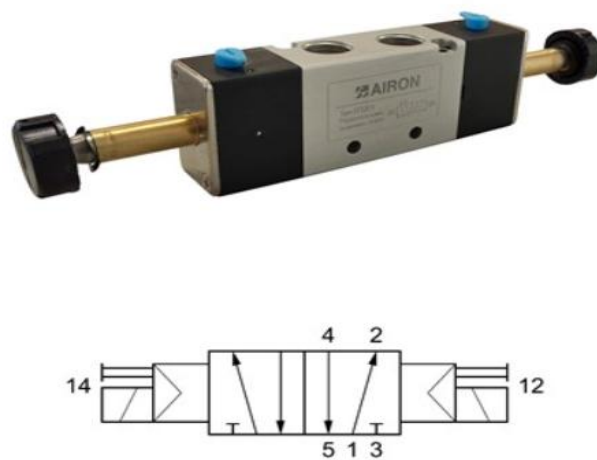
8.7.6 Válvulas

Las válvulas neumáticas son un mecanismo que tienen la capacidad de controlar el flujo de aire comprimido dentro del circuito, son esenciales para la operación de actuadores como los cilindros neumáticos y otros componentes que se requiera en el circuito o para la automatización. Las válvulas dirigen el aire abriendo o cerrando el paso de corriente de aire, regula la presión e incluso el caudal de aire [30].

8.7.7 Válvula de control 5/2

La Figura 21 muestra la válvula 5/2 es una de las varias válvulas neumáticas de control direccional, esta válvula cuenta con 5 vías o puertos y 2 posiciones, esta válvula es comúnmente usada en circuitos neumáticos para dar control a cilindros de doble efecto. el funcionamiento de la válvula 5/2 se basa en dirigir el aire a un lado del pistón del cilindro de doble efecto, mientras del otro lado del pistón sale el aire, cuando la válvula cambia de posición hace lo contrario [4].

Figura 21. Válvula 5/2



Fuente:[31]

8.7.8 Válvula control 3/2

La válvula 3/2 es una válvula neumática que nos brinda control direccional con 3 vías o puertos y 2 posiciones como se señala en la Figura 22, esta válvula se la utiliza normalmente para el control y activación de cilindros de simple efecto. El funcionamiento de la válvula 3/2 se basa en controlar el paso de aire comprimido hacia un actuador de simple efecto, y permite que escape el aire cuando ya no se requiere [4].

Figura 22. Válvula 3/2**Fuente:** [32]

8.7.9 Electroválvulas neumáticas

En la Figura 23 se muestra la electroválvula neumática, son válvulas de control con la característica de activarse eléctricamente o por pulsos eléctricos mediante una bobina o solenoide. La función de la electroválvula es abrir o cerrar el paso de aire comprimido en el circuito o sistema neumático, así permitiendo controlar actuadores o cilindros incluso motores de manera remota o a distancia. La electroválvula es básicamente un equivalente de una válvula 3/2 o 5/2 con la característica que esta se acciona con electricidad en lugar de un botón o palanca [33].

Figura 23. Electroválvula 5/2**Fuente:**[34]

8.8 Mangueras y tubos neumáticos.

La Figura 24 muestra unos de los componentes claves para la neumática. Las mangueras y tubos neumáticos son los componentes esenciales en una amplia gama de aplicaciones en la neumática, estos están en los dispositivos médicos hasta la automatización industrial. Son los que permiten el transporte del aire comprimido para así poder accionar las herramientas, actuadores y los otros equipos neumáticos. La selección de las mangueras y tubos neumáticos depende de la aplicación específica de la misma [35].

Estos implementos son equipos utilizados en los circuitos de aire comprimido para poder realizar las conexiones entre los componentes y poder así conducir el arie comprimido por las tuberías. Estas tuberías pueden estar hechas de Poliuretano, Nylon, Poliamida, Polietileno, Teflón entre otros materiales [36].

Figura 24. Mangueras/tubos neumáticos



Fuente: [37]

8.9 Controlador lógico programable

Los controladores lógicos programables (PLC) son una pieza fundamental en la industria de la automatización, ya que estos son los cerebros que controlan los procesos de forma automática y personalizada así permitiendo eficiente de gran manera la forma en que se desarrollan los procesos así disminuyendo los costos de producción y aumentando la velocidad y generación de productos a gran medida siendo lo más eficiente posible [38].

8.9.1 Controlador lógico programable compacto

Estos son los PLC que emplean poco espacio en la elaboración y presentan una estructura básica de su hardware con un controlador programable la cual es el CPU. Entre las principales características tenemos que son micro o mini controladores.

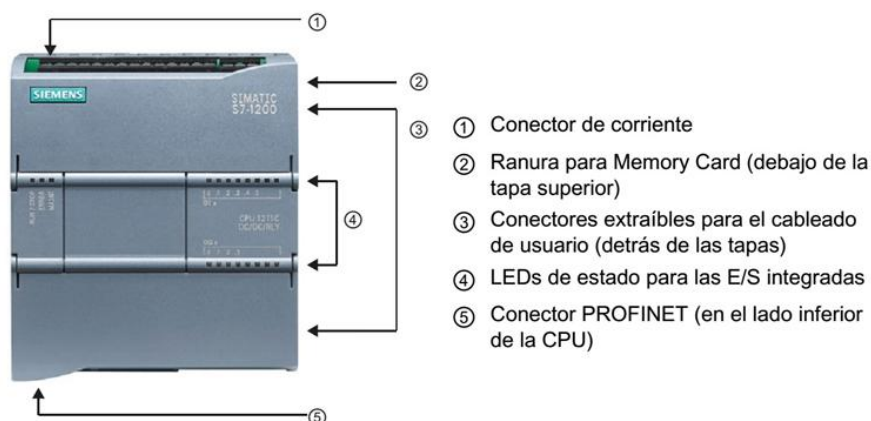
8.9.2 Controlador lógico programable modular

Algunos PLC se pueden caracterizar según su modularidad, esto significa que pueden estar armados o configurados acorde a las necesidades así obteniendo un grado más elevado de flexibilidad del mismo. Las configuraciones son diversas, así como las tareas de automatización, así que cuando se instala los controladores modulares se debe hacer la selección de cada uno de ellos componentes iniciando por el controlador lógico programable (PLC), así los componentes se adecuan al tiempo de ejecución, a la capacidad de la memoria del usuario y al software necesario [39].

8.9.3 PLC Siemens SIMATIC S7 – 1200

El PLC Siemens SIMATIC S7 - 1200 como se señala en la Figura 25 está dentro de una gama de PLCs compactos, modulares y escalables, está diseñado para aplicaciones de automatización de una complejidad baja a media. Este PLC es perteneciente a la familia SIMATIC de Siemens el cual ofrece una solución integral para el control de procesos industriales gracias a su fácil procesamiento, comunicación con los demás instrumentos y expansión. El PLC SIMATIC S7 - 1200 es una solución flexible y un grado alto de fiabilidad en la automatización industrial moderna [40].

Figura 25. PLC Siemens SIMATIC S7 – 1200.



Fuente:[40]

Tabla 4. Tabla de características del PLC SIMATIC S7 – 1200

Característica	Detalle
Tipo de PLC	Compacto, modular, programable
Fabricante	Siemens AG (Alemania).
Programación	STEP 7 (TIA PORTAL) – IEC 61131-3 (Ladder, SCL, AWL, FUP, GRAFCET y CEM).
Memoria de trabajo	Desde 25KB hasta 125KB (según el modelo).
Entrada/salidas integradas	Entradas digitales, salidas digitales, entradas analógicas
Protocolos de comunicación	PROFINET, Modbus TCP/IP, RS – 485, MQTT, OPC UA (con módulos).
Puertos integrados	1 o 2 puertos ethernet (según el modelo).
Funciones tecnológicas	Control PID, contadores, temporizadores.
Seguridad funcional	Modelo FAILSAFE S7 con certificación.

Fuente: *Los autores*

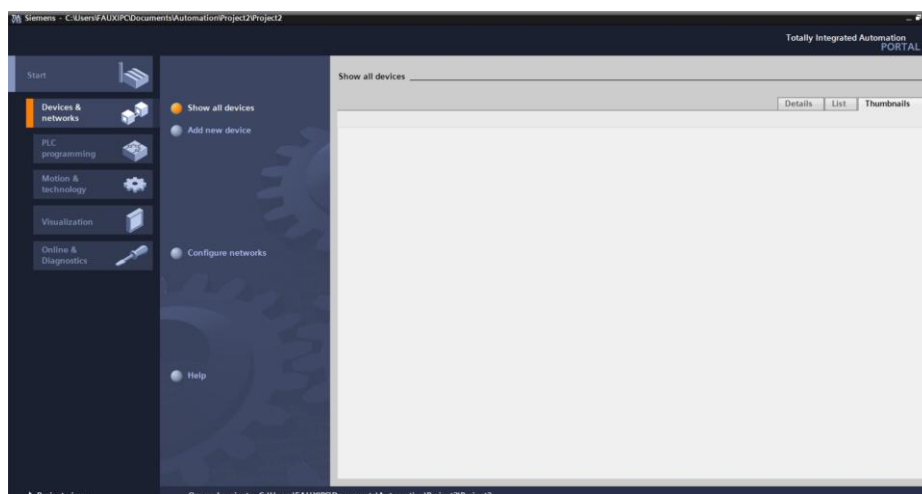
8.9.4 TIA portal

En la Figura 26 se muestra el entorno de TIA portal es un entorno desarrollado por Siemens, que permite al usuario realizar la programación, configuración, simulación, monitoreo y el mantenimiento de los sistemas de automatización industrial, que se basa en una interfaz gráfica intuitiva que cumple estándares internacionales como IEC 61131-3.

Características de TIA portal:

- Interfaz gráfica intuitiva y moderna.
- Cuenta con diversos lenguajes de programación (Ladder, SCL, AWL, FUP, GRAFCET y CEM).
- Permite reutilizar los bloques de código.
- Cuenta con diagnóstico en tiempo real de entradas, salidas y errores.
- Gestiona las bibliotecas reutilizables.
- Simulación completa sin hardware físico.
- Es compatible con la filosofía de la industria 4.0 y digital twins [41].

Figura 26. Entorno del TIA portal



Fuente: [42]

9 METODOLOGÍA Y DISEÑOS EXPERIMENTAL

9.1 Tipo de investigación

El presente proyecto de titulación se enmarca dentro de la investigación aplicada con enfoque tecnológico-experimental, orientada a resolver problemáticas concretas del entorno educativo mediante el desarrollo de soluciones ingenieriles que integran conocimientos teóricos con implementación práctica verificable. La investigación aplicada se caracteriza por su énfasis en la resolución de problemas prácticos mediante la aplicación del conocimiento científico, lo cual se alinea con los objetivos establecidos para el desarrollo del módulo didáctico de clasificación neumática automatizada.

El enfoque metodológico empleado fue predominantemente cuantitativo-experimental, sustentado en la recopilación sistemática de datos numéricos y medibles que permitieron evaluar objetivamente el desempeño del sistema automatizado. Se establecieron métricas cuantificables relacionadas con la eficiencia operativa, la precisión en la clasificación, los tiempos de respuesta y el consumo de recursos energéticos, variables fundamentales para caracterizar el comportamiento del sistema desarrollado.

La metodología integró componentes de investigación documental, necesaria para establecer los fundamentos teóricos sobre sistemas neumáticos industriales, tecnologías de censado automático, controladores lógicos programables y arquitecturas de control distribuido. Esta fundamentación teórica se complementó con investigación experimental que permitió validar hipótesis de diseño,

optimizar parámetros operativos y verificar el cumplimiento de especificaciones funcionales tanto en entorno de simulación virtual como en implementación física.

La naturaleza experimental del proyecto facilitó el establecimiento de relaciones causales entre variables de entrada del sistema y variables de respuesta medibles. Esta caracterización permitió la optimización iterativa del sistema mediante ciclos sucesivos de diseño, simulación, implementación, evaluación y ajuste, siguiendo los principios de la mejora continua aplicada a proyectos de ingeniería.

9.2 Diseño experimental

El diseño experimental se estructuró siguiendo una metodología sistemática de cinco fases secuenciales e interdependientes, cada una con objetivos específicos, actividades definidas, criterios de aceptación y entregables verificables. Esta estructura metodológica aseguró un desarrollo ordenado y trazable desde la conceptualización teórica hasta la implementación física operativa del sistema.

Tabla 5. Fases metodológicas del proyecto

Fase	Nombre	Objetivo Principal	Entregable Clave
1	Análisis de requerimientos y diseño conceptual	Identificar necesidades y especificar funcionalidades del sistema	Documento de especificación de requerimientos
2	Selección técnica de componentes	Definir componentes óptimos mediante evaluación multicriterio	Lista de componentes con justificación técnica
3	Programación del controlador	Desarrollar el software de control del sistema automatizado	Programa validado del controlador lógico
4	Simulación virtual y validación	Verificar funcionamiento en entorno simulado sin riesgos	Reportes de pruebas de simulación
5	Implementación física y puesta en marcha	Materializar el sistema y validar operación real	Sistema operativo con documentación técnica

Fuente: Los autores

9.2.1 Fase 1: Análisis de requerimientos y diseño conceptual

Esta fase inaugural del proyecto comprendió la identificación sistemática y documentación detallada de los requerimientos funcionales, no funcionales y restrictivos del sistema automatizado de clasificación. Se adoptó la metodología de ingeniería de requerimientos que establece actividades fundamentales de elicitación, análisis, especificación y validación, garantizando que el diseño del sistema responda efectivamente a las necesidades identificadas.

Elicitación de requerimientos: Se realizaron entrevistas estructuradas con docentes responsables de asignaturas relacionadas con neumática, hidráulica y sistemas de control, identificando las competencias específicas que deben desarrollar los estudiantes mediante prácticas de laboratorio. Se ejecutaron sesiones de observación directa en las instalaciones del laboratorio para evaluar el espacio disponible, la infraestructura de servicios existente y las condiciones ambientales de operación.

Análisis de requerimientos: Los requerimientos elicitados se clasificaron sistemáticamente y se priorizaron mediante la técnica MoSCoW, que establece niveles de criticidad claramente diferenciados.

Tabla 6. Categorías de requerimientos del sistema

Categoría	Tipo	Descripción	Ejemplo
Funcional	Must have	Capacidades esenciales del sistema sin las cuales no cumple su propósito	Clasificación automática de objetos por tamaño
Funcional	Should have	Capacidades importantes que mejoran significativamente la utilidad	Interfaz de monitoreo para visualización del proceso
Funcional	Could have	Capacidades deseables si los recursos lo permiten	Registro estadístico de producción histórica
No Funcional	Desempeño	Atributos cuantificables de calidad operativa	Precisión mínima de clasificación, tiempo máximo de ciclo
No Funcional	Seguridad	Requisitos de protección de personas y equipos	Cumplimiento de normativas eléctricas, paro de emergencia
No Funcional	Usabilidad	Facilidad de operación y aprendizaje del sistema	Interfaz intuitiva, documentación clara para estudiantes
Restictivo	Presupuestario	Límites económicos del proyecto	Costo total dentro del presupuesto asignado
Restictivo	Temporal	Plazos de desarrollo y entrega	Completar en el periodo académico establecido
Restictivo	Logístico	Disponibilidad y accesibilidad de recursos	Componentes disponibles comercialmente en el mercado local

Especificación de requerimientos: Se elaboró documentación técnica formal estableciendo con precisión las funcionalidades esperadas, interfaces de usuario y hardware, restricciones de diseño y atributos de calidad medibles. Este documento constituyó la referencia para las fases posteriores y el criterio de aceptación para validaciones finales.

Diseño conceptual: Se desarrolló la arquitectura conceptual del sistema definiendo subsistemas principales que interactúan coordinadamente para lograr la función global de clasificación automatizada.

Tabla 7. Subsistemas principales del diseño conceptual

Subsistema	Función Principal	Componentes Principales	Interfaces
Transporte	Desplazar objetos de forma continua y controlada	Banda transportadora, motor, sistema de transmisión	Recibe comandos del controlador, envía señales de estado
Detección	Identificar características de objetos en tránsito	Sensores automáticos, sistema de soporte	Envía señales digitales al controlador
Clasificación	Desviar objetos según categoría detectada	Actuadores neumáticos, válvulas de control	Recibe comandos del controlador, ejecuta movimientos
Control	Coordinar operación global del sistema	Controlador lógico programable, módulos de entrada/salida	Interconecta todos los subsistemas
Supervisión	Permitir interacción humano-máquina	Interfaz de operador, elementos de comando manual	Comunicación bidireccional con controlador

Fuente: Los autores

El criterio de clasificación se fundamenta en la discriminación dimensional mediante detección multinivel, donde sensores ubicados a diferentes alturas permiten determinar si un objeto supera o no un umbral predefinido. Esta información procesada por el controlador determina la activación selectiva de actuadores para desviar cada objeto hacia la ruta correspondiente.

9.2.2 Fase 2: Selección técnica de componentes

La selección de componentes se ejecutó mediante evaluación multicriterio que considera simultáneamente aspectos técnicos, económicos, logísticos y pedagógicos. Se desarrollaron matrices

de decisión ponderadas permitiendo una selección objetiva basada en criterios explícitos con ponderaciones definidas según la relevancia para el éxito del proyecto.

Metodología de selección: Para cada categoría de componentes se siguió un proceso estructurado: identificación de alternativas comercialmente disponibles, establecimiento de criterios de evaluación relevantes, asignación de pesos relativos a cada criterio, calificación de cada alternativa en cada criterio, cálculo de puntuación ponderada total, y selección de la alternativa con mayor puntuación justificando técnicamente la decisión.

Tabla 8. Criterios generales de evaluación para selección de componentes

Criterio	Peso Relativo	Justificación	Método de Evaluación
Capacidad técnica	Alto	Debe cumplir funciones requeridas con margen de seguridad	Comparación de especificaciones técnicas con requerimientos
Disponibilidad local	Alto	Facilita aprovisionamiento rápido y soporte técnico	Verificación con distribuidores autorizados en el país
Costo de adquisición	Medio	Debe ajustarse al presupuesto disponible	Cotizaciones formales de proveedores
Facilidad de programación/configuración	Medio	Reduce tiempo de desarrollo y facilita mantenimiento	Evaluación de software y documentación disponible
Uso en ámbito académico	Medio	Facilita transferencia de conocimientos a estudiantes	Revisión de programas académicos de universidades
Capacidad de expansión	Bajo	Permite futuras ampliaciones del sistema	Análisis de opciones de módulos adicionales
Soporte técnico	Bajo	Disponibilidad de asistencia en caso de problemas	Evaluación de servicios del fabricante/distribuidor

Fuente: Los autores

Selección del controlador lógico programable: Se evaluaron controladores compactos considerando factores como suficiencia de entradas y salidas para las señales del proceso, compatibilidad con software de programación de uso extendido, disponibilidad de soporte técnico

local, relación costo-beneficio, y facilidad de integración en entornos educativos. La alternativa seleccionada optimiza el balance entre capacidades técnicas requeridas y criterios pedagógicos del proyecto.

Selección del sistema de accionamiento: Para el movimiento de la banda transportadora se seleccionó motor eléctrico trifásico acoplado a sistema de transmisión mecánica apropiado, dimensionado considerando potencia requerida y velocidad lineal deseada. Se incorporó variador de frecuencia para control preciso de velocidad, permitiendo ajustes operativos y arranques/paros suaves que prolongan la vida útil mecánica.

Tabla 9. Componentes principales del sistema y criterios de selección aplicados

Componente	Función en el Sistema	Criterios Técnicos Principales	Criterios Adicionales
Controlador lógico	Ejecutar lógica de control, procesar señales, coordinar actuadores	Capacidad de E/S, velocidad de procesamiento, memoria disponible	Software de programación, soporte educativo
Motor eléctrico	Accionar banda transportadora con velocidad controlada	Potencia adecuada, eficiencia energética, compatibilidad con variador	Disponibilidad de repuestos, relación costo-beneficio
Variador de frecuencia	Regular velocidad del motor, protección eléctrica	Rango de frecuencia, funciones de protección, comunicación industrial	Facilidad de parametrización, compatibilidad con motor
Actuadores neumáticos	Desviar físicamente objetos clasificados	Fuerza de empuje, velocidad de actuación, carrera necesaria	Facilidad de instalación, bajo mantenimiento
Electroválvulas	Controlar flujo de aire a actuadores neumáticos	Número de vías y posiciones, compatibilidad con señales PLC	Tiempo de respuesta, consumo energético
Sensores	Detectar presencia y características de objetos	Principio de detección apropiado, tiempo de respuesta, fiabilidad	Facilidad de ajuste, inmunidad a interferencias
Interfaz HMI	Permitir interacción operador-sistema	Tamaño de pantalla, capacidad gráfica,	Facilidad de programación, robustez industrial

Componente	Función en el Sistema	Criterios Técnicos Principales	Criterios Adicionales
		protocolos de comunicación	

Fuente: Los autores

Selección de tecnología de censado: Se evaluaron principios de detección inductivo, capacitivo y fotoeléctrico considerando ventajas y limitaciones de cada tecnología. La selección se fundamentó en la versatilidad para detectar objetos de diversos materiales, inmunidad a factores ambientales, tiempo de respuesta compatible con la velocidad del proceso, y facilidad de instalación y ajuste.

9.2.3 Fase 3: Programación del controlador y desarrollo del software de control

La programación del sistema de control se ejecutó utilizando entornos de desarrollo profesionales para controladores lógicos, empleando lenguajes estandarizados por normativas internacionales. Se adoptó metodología de programación estructurada y modular que organiza el software en bloques funcionales con responsabilidades claramente definidas.

Arquitectura modular del software: El programa se estructuró siguiendo principios de ingeniería de software que promueven modularidad, reutilización y separación de responsabilidades. Esta arquitectura facilita desarrollo, depuración, mantenimiento y comprensión del sistema, aspectos especialmente valiosos en contextos educativos.

Tabla 10. Bloques funcionales del programa de control

Bloque	Responsabilidad	Entradas Principales	Salidas Principales	Característica Destacada
Bloque principal	Coordinar ejecución cíclica del programa completo	Configuración de ciclo de escaneo	Invocación de bloques funcionales	Ejecuta en bucle continuo
Gestión de modos	Administrar modos automáticos/manual y transiciones	Selectores de modo, condiciones de seguridad	Estado de modo activo, permisos de operación	Garantiza transiciones seguras
Procesamiento de sensores	Adquirir y validar señales de sensores	Señales digitales de campo	Señales filtradas y validadas	Elimina ruido y rebotes

Bloque	Responsabilidad	Entradas Principales	Salidas Principales	Característica Destacada
Lógica de clasificación	Determinar categoría de cada objeto detectado	Señales validadas de sensores	Decisión de clasificación, flags internos	Implementa máquina de estados
Control de actuadores	Activar y coordinar movimientos de actuadores	Comandos de la lógica de clasificación	Señales de control a válvulas	Gestiona temporizaciones críticas
Control de motor	Regular velocidad y estado del motor	Setpoint de velocidad, comandos start/stop	Señales al variador de frecuencia	Implementa rampas de aceleración
Interfaz de comunicación	Intercambiar datos con sistema de supervisión	Datos desde interfaz de operador	Variables de estado del proceso	Implementa protocolo industrial
Gestión de alarmas	Detectar, registrar y señalar condiciones anómalas	Señales de todos los subsistemas	Alarmas activas, acciones correctivas	Prioriza seguridad del sistema

Fuente: Los autores

Implementación de la lógica de control: La lógica fundamental se implementó mediante máquina de estados finitos que define estados discretos del proceso y condiciones que provocan transiciones entre ellos. Esta estructura garantiza comportamiento predecible y seguro, evitando condiciones imprevistas que podrían causar operación errática.

Tabla 11. Estados de la máquina de estados finitos del proceso de clasificación

Estado	Descripción	Condición de Entrada	Acción Principal	Transición de Salida
Reposo	Sistema inactivo esperando comando de inicio	Sistema inicializado sin fallas	Monitoreo de señales de inicio	Al recibir comando Start → Estado Operación
Operación	Sistema ejecutando ciclo automático continuo	Comando Start recibido y validado	Supervisión continua de sensores	Al detectar objeto → Estado Detección
Detección	Objeto presente en zona de sensores	Sensor primario activado	Evaluación de sensores secundarios	Según combinación →

Estado	Descripción	Condición de Entrada	Acción Principal	Transición de Salida
				Estado Pequeño o Grande
Objeto Pequeño	Objeto clasificado en categoría pequeña	Combinación de sensores corresponde a pequeño	Preparación de actuador correspondiente	Tras retardo → Estado Actuación Pequeño
Objeto Grande	Objeto clasificado en categoría grande	Combinación de sensores corresponde a grande	Preparación de actuador correspondiente	Tras retardo → Estado Actuación Grande
Actuación	Actuador ejecutando desvío de objeto	Condiciones de seguridad verificadas	Activación de válvula neumática	Al confirmar posición → Estado Retorno
Retorno	Actuador regresando a posición inicial	Actuador completó desvío del objeto	Activación de retracción	Al confirmar posición inicial → Estado Operación
Alarma	Condición anómala detectada requiere intervención	Detección de fallo o condición insegura	Paro seguro, activación de señales de alarma	Tras intervención del operador → Estado Reposo

Fuente: Los autores

El algoritmo de clasificación evalúa señales de sensores aplicando lógica combinatorial que determina la categoría del objeto. Basándose en esta determinación, el sistema activa el actuador correspondiente con temporización apropiada para interceptar el objeto en la posición correcta. Se implementaron filtros temporales que validan estabilidad de señales antes de aceptarlas como válidas, evitando decisiones erróneas por transitorios eléctricos.

Comunicación con interfaz de operador: Se implementó comunicación entre controlador y sistema de interfaz humano-máquina utilizando protocolos de comunicación industrial estandarizados. Se definió área de memoria compartida conteniendo variables de estado del proceso, parámetros de configuración ajustables, contadores estadísticos y señales de comando bidireccionales.

Tabla 12. Categorías de información intercambiada entre controlador e interfaz de operador

Categoría	Dirección	Tipo de Datos	Propósito	Frecuencia de Actualización
Estado del sistema	Controlador → Interfaz	Variables de estado, banderas lógicas	Informar al operador sobre condiciones actuales	Tiempo real (ciclo de comunicación)
Parámetros operativos	Interfaz → Controlador	Valores numéricos de configuración	Permitir ajustes sin reprogramar	Bajo demanda del operador
Datos de producción	Controlador → Interfaz	Contadores acumulados, estadísticas	Monitoreo de rendimiento del sistema	Periódicamente o bajo demanda
Comandos de control	Interfaz → Controlador	Señales de comando discretas	Inicio, paro, cambio de modo, reset	Eventos generados por operador
Alarmas y diagnóstico	Controlador → Interfaz	Códigos de error, mensajes descriptivos	Notificar condiciones que requieren atención	Inmediatamente al ocurrir

Fuente: Los autores

9.2.4 Fase 4: Simulación virtual y validación del software

La simulación virtual se implementó como etapa previa a la instalación física, permitiendo validar exhaustivamente el comportamiento del software de control en entorno seguro donde es posible experimentar sin riesgo de daños a equipos o personas. Se utilizaron herramientas profesionales que emulan tanto el procesador del controlador como el proceso físico controlado.

Simulación del controlador: Se utilizó software que emula fielmente el comportamiento del procesador del controlador, permitiendo ejecutar el programa desarrollado y observar su comportamiento ante diferentes condiciones de entrada. El simulador permite forzar estados de entradas digitales, modificar valores de variables internas, y observar en tiempo real las salidas generadas por el programa, facilitando la depuración lógica y verificación de secuencias.

Tabla 13. Objetivos y beneficios de la simulación virtual

Aspecto	Simulación de Controlador	Simulación de Proceso	Beneficio Principal
Alcance	Lógica de control aislada	Sistema completo integrado	Validación progresiva de complejidad creciente
Enfoque	Verificación de algoritmos y secuencias	Comportamiento dinámico del proceso	Detección de diferentes tipos de errores

Aspecto	Simulación de Controlador	Simulación de Proceso	Beneficio Principal
Riesgo	Sin riesgo de daños	Sin riesgo de daños	Experimentación libre y exhaustiva
Velocidad	Ejecución en tiempo simulado acelerado	Ejecución en tiempo real o acelerado	Reducción de tiempos de prueba
Costo	Sin consumo de materiales	Sin consumo de energía ni aire comprimido	Economía en fase de desarrollo
Iteraciones	Ilimitadas	Ilimitadas	Optimización mediante ensayo-error sin consecuencias

Fuente: Los autores

Simulación del proceso físico: Se utilizó plataforma de simulación tridimensional que permite modelar procesos industriales completos con física realista. Se construyó modelo virtual del sistema de clasificación replicando la configuración planificada: banda transportadora, sensores en posiciones estratégicas, actuadores neumáticos, y contenedores de recolección.

La comunicación entre el programa del controlador ejecutándose en el simulador y el modelo virtual del proceso se estableció mediante protocolos de comunicación industrial, permitiendo integración completa donde las salidas del programa controlan el modelo virtual y las señales del modelo (sensores virtuales) son procesadas por el programa como si fueran señales reales.

Tabla 14. Escenarios de prueba ejecutados en simulación virtual

Escenario	Objetivo de la Prueba	Condiciones Establecidas	Resultados Esperados	Criterio de Aceptación
Operación nominal	Verificar funcionamiento básico del sistema	Objetos alternados con separación adecuada	Clasificación correcta de todos los objetos	100% de precisión
Alta frecuencia	Evaluar límites de capacidad del sistema	Reducción progresiva de separación entre objetos	Identificación de velocidad máxima operativa	Sistema mantiene control sin errores
Objetos límite	Validar robustez de discriminación	Objetos con dimensiones próximas al umbral	Clasificación consistente y repetible	Decisiones coherentes sin ambigüedad

Escenario	Objetivo de la Prueba	Condiciones Establecidas	Resultados Esperados	Criterio de Aceptación
Fallos de sensores	Verificar detección y manejo de fallas	Simulación de desconexión o mal funcionamiento	Activación de alarmas, paro seguro del sistema	Sistema detecta y responde apropiadamente
Recuperación	Validar procedimientos de restablecimiento	Reinicio después de condición de alarma	Retorno a operación normal tras intervención	Sistema recupera estado operativo seguro
Transición de modos	Verificar cambios entre automático y manual	Comando de cambio durante operación	Transición suave sin pérdida de control	Cambio seguro sin errores residuales
Paro de emergencia	Validar respuesta a condición crítica	Activación de señal de emergencia	Detención inmediata de todos los movimientos	Tiempo de respuesta dentro de límites
Operación extendida	Evaluar estabilidad a largo plazo	Ejecución continua durante período prolongado	Operación estable sin degradación	Sin errores acumulativos ni derivas

Fuente: Los autores

Los resultados de simulación permitieron identificar oportunidades de optimización en temporizaciones, ajustes en umbrales de detección, y mejoras en la lógica de manejo de condiciones excepcionales. Las modificaciones implementadas basándose en los hallazgos de simulación mejoraron significativamente la robustez y confiabilidad del sistema antes de proceder a la implementación física.

9.2.5 Fase 5: Implementación física y puesta en marcha del sistema

La materialización física del sistema implicó ejecución coordinada de actividades de fabricación, instalación e integración siguiendo rigurosamente normativas técnicas aplicables y mejores prácticas de ingeniería. El proceso se organizó en etapas progresivas de construcción mecánica, instalación eléctrica, montaje neumático, integración de componentes y puesta en marcha sistemático.

Construcción de la estructura mecánica: Se diseñó bastidor estructural utilizando software de diseño asistido por computadora, permitiendo verificar interferencias geométricas y analizar rigidez estructural antes de la fabricación. Se seleccionó sistema de perfiles estructurales modulares que

facilita ensamblaje, modificaciones futuras y desmontaje si es necesario para transporte o reconfiguración.

El proceso de ensamblaje siguió secuencia lógica optimizada comenzando por la base, continuando con estructura vertical de soporte, y finalizando con instalación de superficies de trabajo y elementos de montaje de componentes. La estructura resultante proporciona estabilidad mecánica adecuada, facilita acceso para mantenimiento, y cumple criterios de portabilidad establecidos en los requerimientos.

Instalación eléctrica: El sistema eléctrico se organizó en tablero de control que centraliza equipos de protección, control y potencia. La distribución interna se estructuró por niveles funcionales separando claramente circuitos de potencia, control y señalización, facilitando identificación de componentes y diagnóstico de fallas.

Tabla 15. Subsistemas eléctricos y principios de instalación

Subsistema	Componentes Principales	Normativa Aplicable	Principio de Seguridad
Alimentación principal	Dispositivos de protección, medición y seccionamiento	Código eléctrico nacional	Protección contra sobrecargas y cortocircuitos
Circuito de potencia	Motor, variador de frecuencia, cableado dimensionado	Normas de instalaciones industriales	Coordinación de protecciones, puesta a tierra
Circuito de control	Controlador, fuente regulada, módulos de E/S	Normativa de baja tensión	Aislamiento galvánico, protección contra transitorios
Circuito de maniobra	Botonera, luces piloto, elementos de comando	Estándares de interfaz hombre-máquina	Accesibilidad, códigos de color normalizados
Seguridad	Paro de emergencia, enclavamientos, señalización	Normativa de seguridad en máquinas	Redundancia, modo de fallo seguro

Fuente: Los autores

El cableado se ejecutó siguiendo código de colores internacional para instalaciones industriales, implementando identificación clara de conductores mediante etiquetado alfanumérico coherente con documentación técnica. Se utilizaron canaletas, ductos y organizadores para mantener orden, facilitar trazabilidad y permitir futuras ampliaciones.

Instalación del circuito neumático: La red de distribución de aire comprimido se diseñó siguiendo normativas para sistemas neumáticos industriales. Se implementó esquema con línea principal y derivaciones secundarias, minimizando pérdidas de carga y garantizando presión uniforme en puntos de consumo.

El procedimiento de instalación incluyó: ubicación apropiada del compresor con ventilación adecuada, instalación de unidad de acondicionamiento de aire (filtrado, regulación de presión, lubricación), tendido de tubería principal con pendiente apropiada para drenaje de condensado, instalación de válvulas de control en proximidad a actuadores, montaje de actuadores sobre sistemas de guiado que garantizan movimiento rectilíneo, e instalación de sensores de posición para confirmación de estados.

Tabla 16. Componentes del sistema neumático y justificación de uso en el proceso

Componente	Función en el Proceso	Justificación de Selección	Criterio de Dimensionamiento	Aspecto Crítico de Instalación
Compresor de pistón monofásico	Suministrar aire comprimido para accionar el cilindro de desvío cada vez que el Sensor 2 detecta una caja grande	Su ciclo de trabajo es intermitente: el cilindro actúa por periodos cortos con largos tiempos de reposo, por lo que un compresor de baja potencia es suficiente y más económico	Presión nominal de 6 bar; caudal estimado según el volumen del cilindro y la frecuencia máxima de actuación	Instalarlo en zona ventilada y drenar el condensado del depósito periódicamente para evitar corrosión
Unidad FRL	Filtrar la humedad y	El entorno del laboratorio	Caudal superior al consumo del	Montaje vertical con el vaso hacia

Componente	Función en el Proceso	Justificación de Selección	Criterio de Dimensionamiento	Aspecto Crítico de Instalación
	partículas del aire, y mantener la presión de trabajo estable entre 4 y 6 bar	presenta humedad variable que deteriora sellos y electroválvulas; la FRL protege el sistema y estabiliza la fuerza de empuje del desviador	actuador; filtración $\geq 40 \mu\text{m}$; regulador de 0 a 10 bar con manómetro	abajo para drenaje automático; acceso frontal libre para mantenimiento
Electroválvula 5/2 monoestable (24 VDC)	Dirigir el flujo de aire hacia el cilindro según la señal digital del PLC	El retorno por resorte garantiza que, ante un fallo eléctrico, el cilindro regrese a posición retraída automáticamente, despejando la banda y evitando bloqueos	Bobina de 24 VDC compatible con las salidas del PLC S7-1200; tiempo de conmutación menor al tiempo de tránsito de la caja entre sensores	Instalar cerca del actuador para reducir el tiempo de respuesta; proteger el cableado de la bobina contra vibraciones
Cilindro neumático de doble efecto	Ejecutar el movimiento lineal del desviador que redirige físicamente las cajas grandes hacia el canal lateral	Permite controlar de forma independiente la velocidad de extensión y retracción, logrando una actuación suave que no golpee ni desestabilice las cajas durante el desvío	Fuerza calculada según el peso máximo de la caja y el rozamiento con la banda; carrera definida por la geometría del canal lateral	Alineación precisa del vástago con el desviador; amortiguadores en fin de carrera; montaje rígido para absorber cargas laterales

Componente	Función en el Proceso	Justificación de Selección	Criterio de Dimensionamiento	Aspecto Crítico de Instalación
Tubería de poliuretano Ø 6 mm	Transportar el aire desde la FRL hasta la electroválvula y desde esta hasta los puertos del cilindro	Su flexibilidad, resistencia a 10 bar y compatibilidad con racores push-in simplifican el mantenimiento y permiten reconfigurar el circuito sin herramientas	Diámetro interior calculado para velocidad de flujo menor a 10 m/s; tramos lo más cortos posible para reducir el volumen muerto	Respetar radios mínimos de curvatura para no estrangular el flujo; fijar con abrazaderas cada 25 a 30 cm
Sensores de posición magnéticos (reed switch)	Detectar las posiciones de fin de carrera del cilindro y confirmar al PLC que el actuador completó su movimiento antes del siguiente ciclo	Se montan directamente en la ranura T del cilindro sin modificarlo, son compatibles con las entradas de 24 VDC del S7-1200 y evitan que el controlador emita una nueva orden antes de que el cilindro haya retornado completamente	Tensión de 24 VDC; tiempo de respuesta menor a 2 ms para sincronizarse con la velocidad de la banda	Ajustar su posición a lo largo de la ranura hasta confirmar detección precisa en ambos extremos de carrera; proteger el cable contra rozamiento con partes móviles

Fuente: Los autores

Las pruebas de estanqueidad del circuito neumático se ejecutaron siguiendo protocolos estándares: presurización a presión de prueba durante tiempo especificado, inspección visual de todas las

conexiones, medición de caída de presión, y corrección de fugas detectadas hasta alcanzar criterio de aceptación establecido.

Puesta en marcha y pruebas de aceptación: La puesta en marcha se ejecutó siguiendo protocolo estructurado de complejidad progresiva, avanzando desde verificaciones básicas hasta operación automática completa. Cada nivel debía superarse satisfactoriamente antes de autorizar avance al siguiente.

Tabla 17. Niveles del protocolo de la puesta en marcha progresiva

Nivel	Alcance	Tipo de Pruebas	Objetivo	Criterio General de Aceptación
Nivel 1 - Verificaciones estáticas	Sistema desenergizado	Continuidad eléctrica, aislamiento, resistencia de tierra, cableado	Confirmar integridad de instalación eléctrica	Cumplimiento de normativas eléctricas aplicables
Nivel 2 - Energización inicial	Sistema energizado sin carga	Tensiones presentes, arranque de equipos, comunicaciones	Verificar funcionamiento básico de componentes	Todos los equipos encienden correctamente
Nivel 3 - Pruebas funcionales individuales	Subsistemas operados individualmente	Movimiento de actuadores, lectura de sensores, control de motor	Validar operación aislada de cada subsistema	Cada subsistema responde apropiadamente
Nivel 4 - Integración y operación automática	Sistema completo integrado	Secuencias automáticas, clasificación de objetos, manejo de alarmas	Demostrar funcionamiento global coordinado	Sistema ejecuta función completa correctamente
Nivel 5 - Validación extendida	Operación sostenida	Pruebas de duración, variación de condiciones, casos límite	Confirmar robustez y confiabilidad operativa	Desempeño estable dentro de especificaciones

Fuente: Los autores

Durante la puesta en marcha se realizaron ajustes finos de parámetros operativos basándose en observaciones del comportamiento real del sistema. Estos ajustes incluyeron calibración de sensibilidad de sensores, optimización de temporizaciones en la lógica de control, determinación de

velocidad óptima de operación, y configuración de parámetros del variador de frecuencia para arranques y paros suaves.

9.3 Variables del estudio

La caracterización experimental del sistema requirió identificación, medición y control de variables que influyen en el desempeño operativo. Se estableció taxonomía formal de variables según su rol metodológico: variables independientes (manipulables por el investigador), variables dependientes (indicadores de desempeño medidos), y variables de control (mantenidas constantes para validez experimental).

9.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La adquisición de datos experimentales se ejecutó mediante estrategia que combina métodos cualitativos y cuantitativos, garantizando validez, confiabilidad y trazabilidad de resultados.

Tabla 18. Técnicas de recolección de datos aplicadas

Técnica	Tipo de Datos	Instrumentos/ Herramientas	Aplicación en el Proyecto	Ventaja Principal
Observación estructurada	Cualitativos	Listas de verificación, formatos de registro	Documentar eventos durante pruebas experimentales	Captura de aspectos no cuantificables
Medición instrumental	Cuantitativos	Multímetros, cronómetros, instrumentos calibrados	Obtener valores numéricos de variables físicas	Precisión y trazabilidad metrológica
Registro automatizado	Cuantitativos	Sistema SCADA, dataloggers integrados	Capturar datos continuos sin intervención manual	Volumen de datos, continuidad temporal
Análisis documental	Cualitativos	Manuales técnicos, normativas, literatura científica	Fundamentar decisiones de diseño	Respaldo teórico y normativo
Experimentación controlada	Cuantitativos	Procedimientos experimentales estandarizados	Evaluar efectos de variables independientes	Establecimiento de relaciones causales

Fuente: Los autores

Observación directa estructurada: Se diseñaron instrumentos de observación en formato de listas de verificación siguiendo metodologías de auditoría de calidad. Los instrumentos registran sistemáticamente eventos relevantes durante sesiones experimentales incluyendo marcas temporales, identificación de objetos procesados, decisiones del sistema, resultados observados y anotaciones cualitativas sobre comportamiento del sistema.

Medición instrumental: Se utilizaron instrumentos de medición calibrados garantizando trazabilidad metrológica a patrones de referencia. Los instrumentos se seleccionaron considerando el rango de medición requerido, la resolución necesaria, y la incertidumbre aceptable para cada variable medida. Se estableció programa de calibración periódica para mantener validez de las mediciones.

Registro automatizado: El sistema de interfaz humano-máquina se configuró con capacidades de adquisición de datos, registrando automáticamente variables seleccionadas a intervalos definidos. Los datos se almacenan en memoria interna y se exportan periódicamente en formatos estándares para análisis posterior mediante software especializado.

Técnicas de análisis estadístico: Los datos cuantitativos se procesaron mediante técnicas de estadística descriptiva (medidas de tendencia central, dispersión) y estadística inferencial (pruebas de hipótesis, análisis de varianza, estudios de capacidad del proceso). Se utilizó software estadístico profesional para asegurar rigurosidad en los análisis y obtener resultados confiables que soporten las conclusiones del proyecto.

10 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

10.1 Resultados de la implementación del sistema

La implementación del sistema neumático automatizado de clasificación por tamaño se ejecutó conforme a la metodología establecida, logrando la integración exitosa de todos los subsistemas definidos en la fase de diseño conceptual. El módulo didáctico resultante constituye una solución funcional que materializa los objetivos planteados, proporcionando una herramienta práctica para la enseñanza de sistemas de control neumático en el laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná.

10.1.1 Configuración física del sistema implementado

El sistema físicamente implementado integra los tres subsistemas principales definidos en el diseño conceptual: subsistema de transporte mediante banda transportadora accionada por motor trifásico con control de velocidad variable, subsistema de detección basado en sensores fotoeléctricos dispuestos estratégicamente, y subsistema de clasificación mediante actuadores neumáticos lineales que ejecutan el desvío selectivo de objetos. La estructura mecánica diseñada proporciona estabilidad adecuada y cumple con los criterios de portabilidad establecidos en los requerimientos no funcionales, permitiendo su movilización dentro de las instalaciones del laboratorio según las necesidades de las prácticas académicas.

El tablero de control eléctrico centraliza todos los componentes de automatización, incluyendo el PLC Siemens S7-1200 como unidad central de procesamiento, el variador de frecuencia para control del motor, las protecciones eléctricas dimensionadas según normativa, y la fuente de alimentación regulada para los circuitos de control. El sistema neumático se configura con compresor de aire comprimido, unidad de mantenimiento FRL para acondicionamiento del aire, electroválvulas direccionales para control de cilindros, y la red de distribución neumática con tubería apropiada. La integración de estos componentes siguió estrictamente las normativas técnicas aplicables y las mejores prácticas de ingeniería de instalación.

10.1.2 Funcionalidad del sistema de control automatizado

El sistema de control implementado en el PLC ejecuta la lógica de clasificación mediante una máquina de estados finitos que garantiza secuencias predecibles y seguras. La programación modular desarrollada en TIA Portal facilita la comprensión del funcionamiento por parte de los estudiantes, quienes pueden modificar parámetros operativos y observar directamente el impacto de estos cambios en el comportamiento del sistema, cumpliendo así con el propósito didáctico fundamental del proyecto.

El algoritmo de clasificación evalúa las señales provenientes de los sensores fotoeléctricos aplicando lógica combinatoria. Cuando un objeto transita por la banda transportadora, el sensor inferior detecta su presencia independientemente de su altura. El sensor superior, posicionado a una altura de umbral predefinida, determina si el objeto supera esta dimensión crítica. La combinación de ambas señales permite al controlador identificar la categoría del objeto: si únicamente el sensor inferior se activa, el

objeto se clasifica como pequeño y el sistema activa el primer cilindro neumático para desviarlo hacia el contenedor correspondiente; si ambos sensores se activan simultáneamente, el objeto se clasifica como grande y el sistema activa el segundo cilindro para dirigirlo hacia el contenedor alternativo.

La implementación de filtros digitales en el procesamiento de señales de sensores elimina transitorios eléctricos y ruido, garantizando que solo se registren detecciones válidas. Los temporizadores programados coordinan la activación de los actuadores neumáticos con la posición del objeto sobre la banda, asegurando que el desvío ocurra en el momento preciso para una clasificación efectiva. El sistema incorpora además lógicas de seguridad que detectan condiciones anómalas y ejecutan paros seguros cuando sea necesario, protegiendo tanto el equipo como a los usuarios.

10.2 Interfaz humano-máquina y sistema de supervisión

El sistema implementado incorpora una interfaz humano-máquina (HMI) desarrollada específicamente para facilitar la interacción entre el operador y el proceso automatizado. La comunicación entre la interfaz y el controlador lógico programable se establece mediante protocolo industrial Modbus RTU, garantizando intercambio confiable de información en tiempo real. La arquitectura de la interfaz se estructura en cuatro pantallas especializadas, cada una diseñada para cumplir funciones específicas de operación, monitoreo, configuración y visualización del sistema.

10.2.1 Pantalla principal: Control y monitoreo operativo

La pantalla principal del sistema (Figura 27) constituye el punto de acceso primario para el control del proceso automatizado. Esta interfaz integra elementos de comando, visualización de estado y navegación, organizados siguiendo principios ergonómicos de diseño industrial.

Figura 27. Pantalla principal del HMI – Control operativo y monitoreo del proceso



Fuente: Los autores

La interfaz presenta en su zona superior un display digital que muestra la frecuencia actual del variador de frecuencia, permitiendo verificar en tiempo real la velocidad de operación del motor trifásico que acciona la banda transportadora. Este parámetro resulta fundamental para el control del proceso, ya que determina directamente la velocidad de transporte de los objetos y, consecuentemente, el tiempo disponible para la detección y clasificación.

El panel de control del variador integra botones para comandos directos: RUN inicia la operación del motor, STOP/RESET detiene el sistema o reinicia condiciones de alarma, MODE permite alternar entre modos de operación, y ENTER confirma configuraciones. Esta funcionalidad proporciona control independiente del sistema de accionamiento, útil para propósitos de mantenimiento y diagnóstico.

La botonera principal de comando del sistema está compuesta por tres elementos: botón START de color verde que inicia el ciclo automático de clasificación, botón STOP de color rojo que ejecuta un paro ordenado del proceso, y botón RESET de color amarillo que reinicializa el sistema después de condiciones anómalas. La codificación cromática de estos controles sigue estándares industriales internacionales, facilitando la operación intuitiva del sistema.

En el sector derecho de la pantalla se ubican tres indicadores luminosos (BL1, BL2, BL3) que visualizan el estado de activación de los sensores fotoeléctricos. Cuando un sensor detecta un objeto, su indicador correspondiente se ilumina en color azul, proporcionando retroalimentación visual inmediata del funcionamiento del sistema de detección. Esta característica resulta especialmente valiosa para verificación del correcto posicionamiento y operación de los sensores durante las etapas de calibración y mantenimiento.

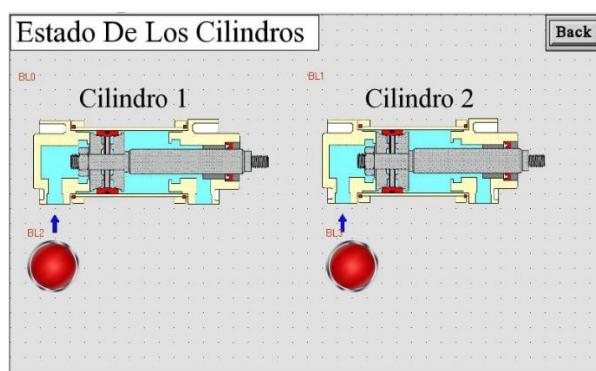
Adicionalmente, la pantalla incorpora tres displays numéricos (NI1, NI2, NI3) que funcionan como contadores acumulativos de objetos procesados. Estos registros permiten llevar estadísticas de producción diferenciadas por categoría de clasificación, facilitando el análisis cuantitativo del desempeño del sistema durante las sesiones de práctica. Los datos acumulados pueden utilizarse para calcular indicadores de eficiencia, tasas de procesamiento y otros parámetros relevantes para la caracterización operativa del módulo.

La zona inferior de la pantalla presenta cuatro botones de navegación que permiten acceder a pantallas secundarias especializadas: "Cilindros" para monitoreo de actuadores neumáticos, "Settings" para configuración de parámetros operativos, "Power" para visualización de parámetros de potencia, y "Banda" para información específica del sistema de transporte. Esta estructura de navegación organizada facilita el acceso rápido a funcionalidades específicas según las necesidades del operador o de la práctica de laboratorio en curso.

10.2.2 Pantalla de monitoreo de actuadores: Estado de cilindros neumáticos

La segunda pantalla del sistema (Figura 28) se dedica exclusivamente al monitoreo en tiempo real del estado operativo de los actuadores neumáticos, proporcionando una representación técnica detallada de su configuración interna y posición actual.

Figura 28. Pantalla de visualización de estado de cilindros neumáticos



Fuente: Los autores

La interfaz presenta diagramas técnicos de corte transversal de ambos cilindros neumáticos sin vástago, mostrando con detalle los componentes internos: pistón móvil, cámaras neumáticas de presión, conexiones de entrada y salida de aire, y acoplamiento magnético que transmite el movimiento lineal. Esta representación gráfica constituye una herramienta pedagógica valiosa, ya que permite a los estudiantes comprender el principio de funcionamiento interno de estos actuadores sin necesidad de desensamblar físicamente los componentes.

Cada cilindro se identifica claramente mediante etiquetas textuales: "Cilindro 1" corresponde al actuador responsable de desviar objetos clasificados como pequeños hacia el contenedor A, mientras que "Cilindro 2" realiza la misma función para objetos grandes dirigiéndolos hacia el contenedor B.

Esta diferenciación clara facilita la comprensión de la lógica de clasificación implementada en el sistema.

El estado de cada actuador se visualiza mediante indicadores luminosos circulares ubicadas en la zona inferior de cada diagrama. El código cromático implementado es binario y directo: color rojo indica que el cilindro se encuentra en estado retraído (posición de reposo), mientras que color verde señala que el cilindro está extendido (posición de actuación para desvío de objeto). Este sistema de señalización permite verificar instantáneamente la posición de los actuadores sin necesidad de observación física directa del equipo, característica particularmente útil durante sesiones de laboratorio con múltiples observadores o cuando el sistema opera a velocidades que dificultan la percepción visual directa del movimiento.

Los indicadores adicionales BL0, BL1, BL2 y BL4 corresponden a sensores de posición que confirman los estados extremos de cada cilindro, proporcionando retroalimentación al controlador sobre la posición real de los actuadores. Esta información resulta fundamental para garantizar que las secuencias de movimiento se ejecuten correctamente y para implementar lógicas de seguridad que previenen comandos conflictivos.

10.2.3 Pantalla de configuración: Parámetros ajustables del sistema

La tercera pantalla del HMI (Figura 29) proporciona acceso controlado a los parámetros operativos fundamentales del sistema, permitiendo ajustes de temporización y límites de operación sin requerir modificaciones en el programa del controlador.

Figura 29. Panel de configuración de parámetros operativos del sistema

The screenshot shows a graphical user interface titled "Panel De Seteos" with a "Back" button in the top right corner. The interface is organized into three main columns of configuration blocks, each with a red label above it: RCT4, RCT2, and RCT8.

- Column 1 (RCT4):** Contains "TP Sensor 1" (with field NI1 set to "#### Ms") and "TON Sensor 1" (with field NI4 set to "#### Ms").
- Column 2 (RCT2):** Contains "TP Sensor 2" (with field NI2 set to "#### Ms") and "TON Sensor 2" (with field NI3 set to "#### Ms").
- Column 3 (RCT8):** Contains three "CTU Sensor" blocks: "CTU Sensor 1" (field NI8 set to "####"), "CTU Sensor 2" (field NI6 set to "####"), and "CTU Sensor 3" (field NI5 set to "####").

Fuente: Los autores

La pantalla se organiza en tres secciones funcionales claramente diferenciadas. Las dos secciones laterales corresponden a la configuración de temporizadores asociados a los sensores de detección, mientras que la sección derecha se dedica a la configuración de contadores para control de producción.

Los temporizadores tipo TP (Pulse Timer) controlan la duración temporal de los pulsos eléctricos aplicados a las bobinas de las electroválvulas biestables. Estos parámetros se expresan en milisegundos y determinan el tiempo durante el cual la electroválvula permanece energizada. Para el Sensor 1, el parámetro TP Sensor 1 (campo NI1) define la duración del pulso de activación del Cilindro 1, mientras que TP Sensor 2 (campo NI2) cumple la función análoga para el Cilindro 2. El ajuste apropiado de estos valores garantiza la conmutación confiable de las válvulas sin energización excesiva que podría causar calentamiento innecesario de las bobinas electromagnéticas.

Los temporizadores tipo TON (On-Delay Timer) implementan retardos programables entre la detección del objeto por parte del sensor y la activación efectiva del actuador correspondiente. TON Sensor 1 (campo NI4) y TON Sensor 2 (campo NI3), también expresados en milisegundos, compensan el tiempo de tránsito del objeto desde la posición del sensor hasta la posición óptima donde el actuador debe interceptarlo para ejecutar el desvío. El ajuste preciso de estos parámetros resulta crítico para garantizar la eficacia de la clasificación: valores insuficientes provocan actuación prematura cuando el objeto aún no alcanza la posición apropiada, mientras que valores excesivos causan actuación tardía después de que el objeto superó el punto de intercepción.

La sección derecha de la pantalla presenta tres contadores ascendentes tipo CTU (Count-Up Counter): CTU Sensor 1 (campo NI6), CTU Sensor 2 (campo NI6) y CTU Sensor 3 (campo NI5). Estos parámetros numéricos establecen valores máximos de objetos a contabilizar antes de generar señales de salida específicas. Esta funcionalidad permite implementar control de producción por lotes, generar alarmas al alcanzar objetivos de producción predefinidos, o ejecutar paradas automáticas del sistema para inspección o cambio de contenedores de recolección cuando se completa un número determinado de unidades procesadas.

La accesibilidad de estos parámetros a través de la interfaz gráfica, sin requerir conocimientos especializados de programación de controladores, democratiza la capacidad de experimentación. Estudiantes con diferentes niveles de formación pueden modificar estos valores, formular hipótesis sobre el comportamiento resultante del sistema, ejecutar pruebas operativas, y observar directamente las consecuencias de sus ajustes, facilitando un aprendizaje experiencial efectivo.

10.2.4 Pantalla de visualización general: Arquitectura tridimensional del sistema

La cuarta pantalla de la interfaz (Figura 30) proporciona una representación isométrica tridimensional del módulo completo, mostrando la disposición espacial de todos los componentes físicos del sistema y sus interrelaciones geométricas.

Figura 30. Vista general isométrica del sistema de clasificación automatizado



Fuente: Los autores

La visualización presenta el módulo didáctico en su totalidad, permitiendo identificar claramente cada subsistema: en el extremo izquierdo se ubica el motor trifásico acoplado al sistema de transmisión que acciona la banda transportadora; la banda de transporte se extiende a lo largo del módulo proporcionando la superficie de desplazamiento de los objetos; sobre la estructura se montan tres sensores fotoeléctricos representados con símbolos de transmisión inalámbrica que indican comunicación activa con el controlador; lateralmente se posicionan los dos cilindros neumáticos sin vástago responsables del desvío selectivo; y en el extremo derecho se visualiza el gabinete de control eléctrico que aloja el PLC, el variador de frecuencia, las protecciones eléctricas y los sistemas de interfaz.

La estructura mecánica de soporte se representa con sus perfiles modulares, columnas verticales y travesaños horizontales que proporcionan rigidez estructural. En la base del módulo se identifican elementos de movilidad (ruedas o pies niveladores) que permiten el transporte del equipo dentro de las instalaciones del laboratorio según las necesidades de configuración del espacio.

El indicador luminoso en la esquina superior izquierda de la pantalla señala el estado operativo general del sistema mediante código cromático: verde indica operación normal, rojo señala condición de paro o alarma, y amarillo advierte condiciones que requieren atención sin detener el proceso. Este elemento proporciona diagnóstico visual rápido del estado del módulo.

Esta pantalla cumple múltiples funciones complementarias: sirve como herramienta de orientación espacial para usuarios que se familiarizan inicialmente con el equipo, facilita la localización física de componentes durante actividades de mantenimiento o inspección, proporciona referencia visual durante sesiones de laboratorio donde múltiples estudiantes observan simultáneamente, y refuerza la comprensión de la arquitectura integral del sistema como conjunto coordinado de subsistemas interconectados.

La integración de estas cuatro pantallas especializadas en una interfaz coherente y navegable proporciona al sistema capacidades de supervisión apropiadas tanto para operación productiva como para aplicaciones didácticas, cumpliendo efectivamente los objetivos de diseño establecidos para el módulo de enseñanza.

10.3 Evaluación del cumplimiento de objetivos

La evaluación del sistema implementado permite verificar el cumplimiento de los objetivos específicos establecidos en la fase inicial del proyecto. El primer objetivo específico, "Analizar el funcionamiento y el control de los sistemas neumáticos aplicados en procesos industriales de clasificación", se cumplió mediante la investigación documental exhaustiva que fundamentó científica y técnicamente el proyecto, abarcando principios de neumática industrial, tipos de secuencias (método intuitivo, cascada y paso a paso), componentes esenciales (compresores, unidades FRL, actuadores, válvulas), tecnologías de sensado (inductivos, capacitivos, fotoeléctricos) y controladores lógicos programables. Esta fundamentación teórica proporcionó la base técnica necesaria para las decisiones de diseño subsecuentes y garantizó que la solución implementada se alinea con estándares industriales.

El segundo objetivo específico, "Seleccionar los componentes indicados tales como sensores, actuadores y elementos de control para el diseño del sistema neumático automatizado", se cumplió mediante un proceso de selección técnica basado en evaluación multicriterio documentado en la metodología. Se seleccionó el PLC Siemens S7-1200 por su suficiencia de entradas/salidas, compatibilidad con TIA Portal y disponibilidad de soporte local; sensores fotoeléctricos por su versatilidad para detectar diversos materiales y tiempo de respuesta adecuado; cilindros neumáticos sin vástago de doble efecto por su compactidad estructural; electroválvulas 5/2 biestables por su bajo consumo energético; motor trifásico con variador de frecuencia para control preciso de velocidad; y pantalla HMI táctil con comunicación Modbus RTU para facilitar la interacción operador-sistema. El proceso consideró simultáneamente aspectos técnicos, económicos, logísticos y pedagógicos, garantizando selecciones objetivas apropiadas para el contexto educativo.

El tercer objetivo específico, "Simular la operación y el funcionamiento del sistema mediante software para monitoreo, visualización del proceso y lógica de control", se cumplió mediante simulación virtual estructurada en dos niveles complementarios. El primer nivel utilizó PLCSIM integrado en TIA Portal para emular el comportamiento del procesador del PLC, validando la lógica de control mediante ejecución paso a paso, forzamiento de entradas y observación de salidas antes de descargarla al hardware real. El segundo nivel incorporó modelado tridimensional del proceso físico completo con física realista, integrando el programa del PLC ejecutándose en el simulador con el modelo virtual mediante protocolos de comunicación industrial. Los escenarios de prueba ejecutados

en simulación permitieron optimizar temporizaciones, ajustar parámetros de filtrado digital y mejorar lógicas de manejo de condiciones excepcionales, mejorando significativamente el desempeño del sistema antes de la implementación física.

Tabla 19. Resumen de cumplimiento de objetivos específicos del proyecto

Objetivo Específico	Estado	Evidencias de Cumplimiento
Analizar el funcionamiento y control de sistemas neumáticos aplicados en procesos industriales de clasificación	Cumplido	Fundamentación científico-técnica completa documentada en sección 7; análisis comparativo de tecnologías de censado, tipos de secuencias neumáticas y componentes industriales
Seleccionar los componentes indicados (sensores, actuadores, elementos de control) para el diseño del sistema	Cumplido	Proceso de selección multicriterio documentado; componentes instalados y operativos: PLC S7-1200, sensores fotoeléctricos, cilindros neumáticos, electroválvulas 5/2, variador de frecuencia, HMI táctil
Simular la operación y funcionamiento del sistema mediante software para monitoreo, visualización y control	Cumplido	Simulación de controlador mediante PLCSIM; modelado 3D del proceso con física realista; validación de lógica de control previa a implementación física; optimización de parámetros basada en resultados de simulación

Fuente: Los autores

10.4 Aportaciones del sistema al contexto educativo

El módulo didáctico implementado constituye una aportación significativa al laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, atendiendo directamente la carencia de equipamiento especializado identificada en la problemática inicial del proyecto. El sistema proporciona una plataforma práctica que complementa efectivamente la formación teórica impartida en asignaturas relacionadas con neumática, hidráulica y sistemas de control industrial.

10.4.1 Competencias técnicas desarrollables mediante el módulo

El sistema permite a los estudiantes desarrollar competencias prácticas en múltiples áreas técnicas relevantes para su formación profesional como ingenieros electromecánicos.

Tabla 20. Competencias técnicas desarrollables mediante prácticas con el módulo

Área de Competencia	Habilidades Específicas Desarrollables	Aplicabilidad Profesional
Neumática industrial	Comprensión de principios de generación, tratamiento y distribución de aire comprimido; selección de componentes neumáticos; diseño de circuitos; interpretación de diagramas según simbología normalizada	Diseño y mantenimiento de sistemas de automatización neumática en industria alimentaria, farmacéutica, empaque
Programación de PLCs	Desarrollo de programas en lenguajes estandarizados (Ladder, FBD); estructuración modular de software; implementación de máquinas de estados finitos; depuración y diagnóstico de programas	Automatización de procesos industriales mediante controladores programables
Instrumentación industrial	Selección, instalación y configuración de sensores; interpretación de hojas de datos; calibración de instrumentos; análisis de señales	Implementación de sistemas de medición y monitoreo en procesos industriales
Interfaces humano-máquina	Diseño de pantallas de operación; configuración de comunicaciones industriales; implementación de sistemas SCADA básicos	Desarrollo de sistemas de supervisión para plantas industriales
Sistemas electro-neumáticos	Integración de control eléctrico/electrónico con actuación neumática; selección de electroválvulas; diseño de tableros de control	Proyectos de automatización híbrida en manufactura

Fuente: Los autores

La naturaleza modular del sistema permite implementar prácticas de laboratorio con diferentes niveles de complejidad, adecuándose a estudiantes en distintas etapas de su formación académica. Prácticas básicas pueden enfocarse en la comprensión de componentes individuales y principios fundamentales, mientras que prácticas avanzadas pueden abordar optimización de parámetros, implementación de lógicas de control complejas, o integración de funcionalidades adicionales al sistema existente.

La accesibilidad de parámetros operativos a través de la interfaz HMI sin requerir reprogramación del PLC facilita la experimentación iterativa, permitiendo que los estudiantes formulen hipótesis

sobre el comportamiento del sistema, ajusten parámetros para verificar estas hipótesis, y observen directamente las consecuencias de sus modificaciones. Esta metodología de aprendizaje experimental refuerza significativamente la comprensión conceptual y desarrolla habilidades de análisis y solución de problemas.

10.4.2 Alineación con requerimientos del sector productivo

El módulo didáctico implementado refleja configuraciones y tecnologías efectivamente utilizadas en entornos industriales reales, garantizando que las competencias desarrolladas por los estudiantes sean directamente transferibles al sector productivo. La utilización del PLC Siemens S7-1200 resulta particularmente relevante, ya que la familia SIMATIC de Siemens mantiene presencia significativa en la automatización industrial ecuatoriana e internacional.

Las prácticas ejecutables con el módulo abordan problemáticas representativas de procesos industriales reales: clasificación automatizada de productos, control de calidad dimensional, sincronización de movimientos entre subsistemas, optimización de tiempos de ciclo, y diagnóstico de fallas en sistemas automatizados. Esta correspondencia entre las experiencias de laboratorio y las aplicaciones industriales reales reduce la brecha entre la formación académica y las exigencias profesionales, mejor preparando a los graduados para su inserción laboral efectiva.

10.5 Limitaciones identificadas y oportunidades de mejora

La implementación del sistema, si bien cumplió satisfactoriamente los objetivos establecidos, evidenció ciertas limitaciones inherentes al alcance del proyecto y al contexto de recursos disponibles. La identificación explícita de estas limitaciones contribuye a una evaluación objetiva del trabajo realizado y sugiere direcciones para desarrollos futuros.

10.5.1 Limitaciones del sistema actual

Tabla 21. Limitaciones identificadas del sistema implementado

Aspecto	Limitación Actual	Implicación
Criterio de clasificación	Sistema discrimina únicamente por altura mediante umbral binario (pequeño/grande)	Aplicaciones industriales frecuentemente requieren clasificación multicriterio (altura, peso, color, forma)

Aspecto	Limitación Actual	Implicación
Capacidad de procesamiento	Sistema diseñado para operación a velocidad moderada apropiada para demostración didáctica	Líneas de producción industrial operan frecuentemente a velocidades significativamente superiores
Número de categorías	Sistema clasifica en dos categorías exclusivamente	Procesos industriales pueden requerir clasificación en múltiples categorías simultáneamente
Retroalimentación del proceso	Sistema no incorpora verificación de clasificación correcta después de desvío	Sistemas industriales incluyen típicamente lazos de verificación para aseguramiento de calidad
Registro de datos	Sistema registra contadores básicos sin almacenamiento histórico persistente	Industria 4.0 requiere sistemas de adquisición de datos con almacenamiento prolongado y análisis estadístico

Fuente: Los autores

Estas limitaciones responden fundamentalmente a decisiones conscientes de diseño que priorizaron los objetivos didácticos del proyecto y se ajustaron a las restricciones presupuestarias y temporales establecidas. El sistema implementado proporciona funcionalidad suficiente y apropiada para cumplir su propósito educativo, aunque reconociendo que aplicaciones industriales de producción requerirían características adicionales más sofisticadas.

10.5.2 Propuestas de mejora y expansión del sistema

El diseño modular del sistema facilita la implementación de mejoras y expansiones futuras sin requerir rediseño completo. Se identifican las siguientes oportunidades de desarrollo que podrían abordarse en proyectos subsecuentes.

Tabla 22. Oportunidades de mejora identificadas

Mejora Propuesta	Descripción	Beneficio Esperado
Clasificación multicriterio	Incorporar sensores adicionales (peso, color, detección de defectos superficiales)	Aproximación más realista a sistemas industriales complejos
Almacenamiento de datos	Implementar sistema de logging en servidor o base de datos con almacenamiento de series temporales	Habilitar análisis estadístico histórico y generación de reportes de producción
Interfaz web	Desarrollar interfaz de monitoreo accesible mediante navegador web	Permitir supervisión remota del sistema y acceso simultáneo de múltiples usuarios
Integración con manufactura digital	Conectar sistema con plataformas de simulación y gemelos digitales	Alineación con conceptos de Industria 4.0 y transformación digital
Visión artificial	Incorporar sistema de cámaras con procesamiento de imágenes	Clasificación basada en características visuales complejas
Modo de mantenimiento predictivo	Implementar monitoreo de variables operativas para predecir necesidades de mantenimiento	Enseñanza de conceptos modernos de mantenimiento basado en condición

Fuente: Los autores

La implementación progresiva de estas mejoras podría ejecutarse como proyectos de titulación posteriores, prácticas de asignaturas avanzadas, o investigaciones de docentes, generando un ecosistema de desarrollo continuo alrededor del módulo base implementado. Esta estrategia de mejora iterativa maximiza el retorno de la inversión inicial y mantiene el equipamiento actualizado con tendencias tecnológicas emergentes.

10.6 Comparación con sistemas similares

La evaluación del sistema implementado se enriquece mediante su comparación con módulos didácticos similares disponibles comercialmente o desarrollados en otras instituciones educativas. Esta comparación contextualiza las aportaciones del proyecto y valida las decisiones de diseño adoptadas.

Tabla 23. Comparación con sistemas didácticos alternativos

Característica	Sistema Implementado (UTC La Maná)	Módulos Comerciales Típicos	Ventajas del Sistema Implementado
Costo de implementación	Ajustado a presupuesto institucional disponible	Significativamente superior (típicamente 3-5 veces)	Accesibilidad económica para instituciones con recursos limitados
Capacidad de expansión	Diseño modular que facilita adiciones futuras	Frecuentemente cerrados o con expansiones costosas	Flexibilidad para proyectos de investigación y desarrollo
Adaptabilidad curricular	Desarrollado específicamente para necesidades del programa académico local	Diseño genérico que puede no alinearse con currículo específico	Correspondencia directa con objetivos de aprendizaje del programa
Disponibilidad de documentación técnica	Documentación completa desarrollada como parte del proyecto	Documentación en idioma extranjero, limitada a manuales de usuario	Facilita comprensión profunda del sistema por estudiantes y docentes
Soporte técnico	Conocimiento interno en la institución	Dependencia de proveedor externo	Autonomía para mantenimiento y

Característica	Sistema Implementado (UTC La Maná)	Módulos Comerciales Típicos	Ventajas del Sistema Implementado
			resolución de problemas

Fuente: *Los autores*

La comparación evidencia que, si bien el sistema implementado puede presentar limitaciones respecto a equipamiento comercial especializado de alto costo, proporciona ventajas significativas en términos de accesibilidad económica, adaptabilidad curricular y apropiación institucional del conocimiento técnico. Estas ventajas resultan particularmente relevantes para el contexto de una institución educativa pública con recursos limitados, pero con necesidad legítima de proporcionar formación práctica de calidad a sus estudiantes.

11 IMPACTOS TÉCNICOS, SOCIALES Y ECONÓMICOS

11.1 Impacto técnico

La implementación del sistema neumático automatizado de clasificación representa un aporte técnico significativo para el fortalecimiento de las capacidades del laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. El módulo didáctico proporciona una plataforma física que permite el desarrollo de competencias prácticas en áreas fundamentales de la automatización industrial: diseño e implementación de circuitos neumáticos, programación de controladores lógicos programables en lenguajes estandarizados, selección e instalación de instrumentación industrial, configuración de interfaces humano-máquina y comunicaciones industriales. La disponibilidad de este equipamiento cierra la brecha identificada entre la formación teórica impartida en las asignaturas de control neumático y la experimentación práctica en condiciones reales de laboratorio, permitiendo que los estudiantes materialicen conceptos abstractos en aplicaciones tangibles, ejecuten pruebas experimentales variando parámetros operativos, y desarrollen habilidades de diagnóstico y resolución de problemas técnicos en sistemas automatizados. Adicionalmente, el sistema constituye una base técnica para proyectos de investigación futuros, prácticas de asignaturas avanzadas y trabajos de titulación subsecuentes que pueden expandir las

funcionalidades del módulo base, generando un ecosistema de desarrollo continuo alrededor del equipamiento implementado.

11.2 Impacto social

El proyecto genera un impacto social positivo al mejorar directamente la calidad de la formación académica de los estudiantes de Ingeniería Electromecánica, quienes constituyen futuros profesionales que se integrarán al sector productivo ecuatoriano. La disponibilidad de equipamiento didáctico apropiado reduce las desigualdades educativas entre instituciones con diferentes niveles de recursos, permitiendo que estudiantes de una universidad pública de extensión regional accedan a experiencias de aprendizaje práctico comparables a las disponibles en centros educativos con mayor dotación presupuestaria. El fortalecimiento de competencias técnicas de los graduados contribuye indirectamente al desarrollo económico y social de la región al proporcionar profesionales mejor preparados para atender necesidades del sector industrial local en áreas de automatización, mantenimiento industrial y gestión de procesos productivos. Asimismo, el proyecto beneficia a los docentes de la carrera al proporcionarles herramientas pedagógicas efectivas para la enseñanza de contenidos complejos, facilitando metodologías de aprendizaje activo donde los estudiantes experimentan directamente con sistemas reales en lugar de limitarse a exposiciones teóricas. La naturaleza didáctica del módulo permite su utilización no solo en prácticas curriculares regulares, sino también en actividades de vinculación con la comunidad, demostraciones para estudiantes de educación secundaria interesados en carreras técnicas, y capacitaciones para personal de pequeñas y medianas empresas de la región.

11.3 Impacto económico

Desde la perspectiva económica, el proyecto representa una inversión institucional eficiente que optimiza la relación costo-beneficio en comparación con alternativas comerciales de equipamiento didáctico. El desarrollo del módulo con componentes seleccionados individualmente y ensamblados internamente resultó en un costo de implementación significativamente inferior al de sistemas didácticos comerciales equivalentes, típicamente entre tres y cinco veces más costosos, manteniendo simultáneamente funcionalidad apropiada para los propósitos educativos establecidos. Esta eficiencia económica permite a la institución destinar recursos limitados a la adquisición de equipamiento funcional sin comprometer calidad pedagógica, maximizando el retorno de la inversión educativa. El impacto económico se extiende indirectamente a través de la formación de profesionales competentes que incrementan su empleabilidad y potencial de ingresos al poseer habilidades prácticas verificables

en automatización industrial, área con demanda creciente en el mercado laboral ecuatoriano. La reducción de dependencia de proveedores externos para mantenimiento y soporte técnico, gracias a la apropiación institucional del conocimiento sobre el sistema implementado, representa un ahorro operativo adicional a largo plazo. Finalmente, la disponibilidad de este tipo de equipamiento fortalece la competitividad de la carrera de Ingeniería Electromecánica al mejorar su oferta formativa, potencialmente atrayendo mayor matrícula estudiantil y contribuyendo a la sostenibilidad financiera del programa académico.

12 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

12.1 Presupuesto del sistema neumático de clasificación

CANTIDAD	MATERIALES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
2	cilindro doble efecto	100	200
1	PLC S7 – 1200	535	535
3	sensores	125	375
1	pantalla 32 pulg	160	160
1	variador de frecuencia		250
1	motor trifásico 1hp		300
3	pulsadores 24 v		
3	luces piloto 24v		
1	soporte de tv	30	30
5	cable concéntrico de 2 servicios # 18	1,6	8
8	puertos RJ45	0,25	2
3	cable de red	0,45	1,35
3	brocas de acero 1/8	1,5	4,5
1	caja de distribución	65	65
2	llantas sin freno	2,5	2,5
2	llantas con freno	2,5	2,5
1	tubo galvanizado 1 pulg	6	6
1	plancha de acero inoxidable		150
1	cadena de acero inoxidable		30
	varillas de acero inoxidable		50
1	enchufe trifásico de 220V	5,25	5,25
5	cable concentrico de 3 servicios #10	2,25	5,25
	Otros		350
TOTAL			2532,35

Fuente: Los autores

12.2 Materiales donados por la universidad

CANTIDAD	MATERIALES
1	FILTRO, REGULADOR Y LUBRICADOR

2	ELECTROVALVULAS 3/2
1	FUENTE 110/220 A 12/24V
1	CPU I7
1	TECLADO
1	MOUSE
1	COMPRESOR

Fuente: Los autores

13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1 Conclusiones

El diseño de la arquitectura del módulo didáctico se desarrolló a partir de un proceso estructurado de levantamiento de requerimientos que incluyó entrevistas con docentes de las asignaturas de neumática, hidráulica y sistemas de control, la priorización de funcionalidades mediante la técnica MoSCoW y la elaboración de especificaciones técnicas formales. El modelado conceptual en software CAD permitió verificar interferencias geométricas, definir la distribución espacial de los subsistemas y establecer con precisión las dimensiones del bastidor antes de iniciar la construcción física. Esta fase resultó determinante para garantizar la coherencia entre el diseño planteado y el módulo finalmente construido, evitando correcciones costosas durante la implementación y asegurando que el sistema cumpliera con los requerimientos pedagógicos y técnicos identificados desde el inicio del proyecto.

La selección de componentes se ejecutó mediante una evaluación multicriterio que consideró simultáneamente aspectos técnicos, económicos, logísticos y pedagógicos, lo que permitió tomar decisiones objetivas y justificadas para cada subsistema del módulo. Se seleccionó el PLC Siemens S7-1200 por su suficiencia de entradas y salidas digitales, compatibilidad con TIA Portal y disponibilidad de soporte técnico local; los sensores fotoeléctricos por su capacidad de detección independiente del material y su tiempo de respuesta apropiado para la velocidad de operación de la banda; los cilindros neumáticos de doble efecto por el control independiente de la velocidad de extensión y retracción que ofrecen; y las electroválvulas 5/2 monoestables por la seguridad intrínseca que brindan al retornar automáticamente a posición de reposo ante un corte de energía. La integración de estos componentes resultó en un sistema cohesionado que opera de manera confiable dentro de las condiciones del laboratorio de la institución.

La validación del sistema mediante simulación virtual en PLCSIM y Factory IO, previa a la implementación física, permitió identificar errores en la lógica de control, ajustar temporizaciones críticas y mejorar el manejo de condiciones excepcionales en un entorno seguro sin riesgo de daño al hardware. Una vez construido el módulo, la interfaz HMI desarrollada en TIA Portal con cuatro pantallas especializadas confirmó el funcionamiento correcto del proceso de clasificación en operación real, mostrando en tiempo real el estado de los sensores, el movimiento de los actuadores, los contadores de producción y una representación isométrica del sistema completo. El módulo implementado constituye una herramienta didáctica funcional que cierra la brecha entre la teoría impartida en el aula y la práctica en condiciones reales, proporcionando al laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, un equipo que puede servir como plataforma de aprendizaje y desarrollo para múltiples generaciones de estudiantes.

13.2 Recomendaciones

Se recomienda implementar un programa de capacitación estructurado dirigido a docentes y estudiantes que utilizarán el módulo didáctico, cubriendo aspectos fundamentales de operación segura del sistema, interpretación de señales de la interfaz HMI, procedimientos apropiados de encendido y apagado, configuración de parámetros operativos a través de la pantalla de seteo, y protocolos de respuesta ante condiciones de alarma o funcionamiento anómalo. Esta capacitación debe incluir sesiones teóricas sobre principios de funcionamiento de cada subsistema, demostraciones prácticas de operación supervisada y documentación técnica accesible en formato digital e impreso que sirva como referencia permanente. Adicionalmente, se sugiere desarrollar guías de prácticas de laboratorio progresivas que estructuren el uso del equipamiento según niveles de complejidad creciente, permitiendo que estudiantes de diferentes semestres puedan aprovechar efectivamente el módulo de acuerdo con su nivel de formación, comenzando con prácticas básicas de identificación de componentes y principios de funcionamiento, avanzando hacia programación de secuencias automatizadas y optimización de parámetros, y culminando con proyectos integradores que requieran modificaciones o expansiones del sistema base.

Se recomienda establecer un programa de mantenimiento preventivo periódico que garantice la operatividad continua del módulo didáctico y prolongue su vida útil. Este programa debe incluir inspecciones semanales de verificación de fugas en el circuito neumático, limpieza de filtros de aire de la unidad FRL y drenaje de condensado acumulado; revisiones mensuales de ajuste de conexiones eléctricas, verificación de apriete de elementos mecánicos de la estructura, limpieza de sensores

fotoeléctricos y lubricación de elementos móviles de la banda transportadora; y mantenimientos semestrales de calibración de sensores, verificación de parámetros del variador de frecuencia, pruebas de comunicación entre PLC y HMI, y respaldo de programas y configuraciones del controlador. Es fundamental designar responsables específicos para la ejecución de estas actividades de mantenimiento, llevar registros documentados de las intervenciones realizadas y los hallazgos identificados, y mantener un stock mínimo de componentes críticos de repuesto (sensores, electroválvulas, filtros de aire) que permitan reemplazos rápidos en caso de fallas, minimizando tiempos de inactividad del equipamiento.

Se recomienda considerar mejoras y expansiones futuras del sistema que incrementen sus capacidades didácticas y acerquen aún más su funcionamiento a condiciones industriales reales. Entre las mejoras propuestas se incluyen: incorporación de sensores adicionales (peso, color, detección de defectos) para implementar clasificación multicriterio; desarrollo de sistema de almacenamiento histórico de datos en servidor o base de datos que permita análisis estadístico de desempeño a largo plazo; implementación de interfaz web accesible mediante navegador que facilite monitoreo remoto del sistema; integración del módulo con plataformas de simulación y gemelos digitales alineándose con conceptos de Industria 4.0; incorporación de sistema de visión artificial mediante cámaras y procesamiento de imágenes para clasificación basada en características visuales complejas; e implementación de algoritmos de mantenimiento predictivo basados en monitoreo continuo de variables operativas. Estas mejoras pueden ejecutarse progresivamente como proyectos de titulación subsecuentes, prácticas de asignaturas avanzadas o investigaciones de docentes, generando un ecosistema de desarrollo continuo alrededor del módulo base que maximice el retorno de la inversión inicial y mantenga el equipamiento actualizado con tendencias tecnológicas emergentes en automatización industrial.

14 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. I. Corrales Bonilla, D. F. Estrella Tapia, W. P. Pazuña Naranjo, W. A. Hidalgo Osorio, y F. R. Romero Bedón, “Introducción Práctica a la Neumática conceptos básicos y aplicaciones inmediatas”, jul. 2023, [En línea]. Disponible en: <https://orcid.org/0009-0007-8532->
- [2] Ecuainsetec, “Neumática industrial: ¿Qué es y cómo puede beneficiar a los procesos industriales?” Consultado: el 6 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://www.ecuainsetec.com.ec/blog/2/neumatica-industrial-que-es-y-como-puede-beneficiar-a-los-procesos-industriales-82>

- [3] Y. A. Guamán Baquerizo y J. S. Jetacama Velásquez, “Desarrollo de un sistema neumático para la clasificación de materiales metálicos y no metálicos en una banda transportadora”, ago. 2024. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29333>
- [4] Y. T. Tinoco García y C. A. Vaca Hinojosa, “Implementación de un módulo didáctico para la asignatura de sistemas de control oleoneumático en la UTC Extensión La Maná.”, feb. 2024. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/9522ddd0-a0d8-4a94-955b-9c3b86cae441>
- [5] J. L. Caiza Chango, “Mantenimiento mejorativo de un banco de neumática para el laboratorio de automatización y manipulación automática, escuela de ingeniería de mantenimiento”, mar. 2019. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/8f3ee707-6347-4e9b-82f2-d794f46977fb/content>
- [6] M. A. Bajaña Guashpa y C. A. Barroso Ruiz, “Desarrollo de un sistema de etiquetado de envases plásticos cilíndricos, orientado a la reducción de tiempos de producción”, sep. 2023. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25788>
- [7] A. K. Stefanoni Hernández, S. P. Vargas Pedrón, O. Cano Melgarejo, I. Acevedo Ramírez, E. Vázquez Valderrábano, y C. Rojas Juárez, “Banda transportadora para estudio de tiempos y movimientos”, jul. 2017. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uvp.mx/index.php/nextia/article/view/54>
- [8] A. H. Vizuite Alcocer, “Diseño, construcción e implementación de un módulo didáctico; con un sistema de posicionamiento de una banda transportadora controlado por medio de un PLC y TD-200 para el laboratorio de la unidad académica de ciencias de la ingeniería y aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.”, 2010. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1809>
- [9] Renovables Bastan, “Cintas industriales con banda de goma”. Consultado: el 6 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.jbastan.com/renovables/reciclaje-rsu/componentes/cintas-de-goma.htm>

- [10] VULCA – CAS, “Bandas PU-PVC”. Consultado: el 6 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.vulcacas.com/bandas-transportadoras/bandas-pu-pvc/>
- [11] E. Reyes-Flores, “Tipos de Sensores”, jul. 2019. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ixtlahuaco/article/view/4405>
- [12] R. Quispe Rojas, “Sensores inductivos, capacitivos y fotoeléctrico”, mar. 2020. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.une.edu.pe/entities/publication/123e973e-bceb-4313-b98c-f1c930bde358>
- [13] F. Artagaveytia y J. G. Gutiérrez-Zorrilla, “SENSORES CAPACITIVOS”, 2013. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/ec/document/escuela-superior-politecnica-de-chimborazo/electricidad/sensores-capacitivos/96736596>
- [14] Niu Feng, “Sensor de proximidad capacitivo - OMCH”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.omchsmmps.com/es/capacitive-proximity-sensor/>
- [15] I. G. Vega Estrada y C. O. Guilcaso Molina, “Implementación de un sistema neumático centralizado para el laboratorio de Electromecánica de la UTC extensión La Maná”, ago. 2023. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/items/2ff5b486-f735-4942-bd22-5b4bfc799352>
- [16] Maviju, “COMPRESOR AIRE HORIZ 2HP 110V 13A 24L 115PSI”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://maviju.com/herramientas/compresor-aire-horiz-2hp-110v-13a-24l-115psi-he020050>
- [17] A. Bueno, “Neumática e hidráulica”, abr. 2011. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.portaleso.com/neumatica/unidad_didactica_neumatica_4_v1_c.pdf
- [18] P. Fernández Díez, “COMPRESORES”, jul. 2011. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/compresores-y-ventiladores.pdf
- [19] F. Sánchez Jiménez, “TUTORIAL Y MANUAL DE PRÁCTICAS DEL SISTEMA NEUMÁTICO AMATROL B834-BA/B835-A”, ene. 2020. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/6d6ab2eb-1fb5-4bb5-9aad-8a9b70eea8d1>

- [20] G. A. Uricoechea Najas, “SIMBOLOGÍA NEUMÁTICA--MANTENIMIENTO Y MEDICIÓN----”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://industrialesandes.co/es/blog/post/simbologia-neumatica-mantenimiento-y-medicion-.html>
- [21] A. Sánchez, E. López, L. Borbor, V. Delgado, D. Males, y B. Jaramillo, “LÓGICA INTEGRANTES GRUPO N° 5”, 2012. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/36963607/LOGICA_INTEGRANTES_GRUPO_No_5#title
- [22] J. M. Lema Aguirre y P. I. Moposita Moposita, “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL ACTUADOR NEUMÁTICO ENSAMBLADO EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN LÍNEA”, oct. 2024. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/d4018f79-4e38-41be-8058-87f9e45a6e5e>
- [23] M. A. Jolianis Calderón y O. A. García Jiménez, “AUTOMATIZACION E INSTRUMENTACION DE UNA MAQUINA DE EMBALAJE DE BOTELLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA ESCUELA DE INGENIERÍA SECCIONAL BUCARAMANGA 2010”, 2010. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/items/05a95760-4122-44fa-96ae-af9569ef55d5>
- [24] I. Gorrindo Osés, “Adaptación de un motor neumático a un coche de golf”, 2010. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://research.ebsco.com/c/cspjim/search/details/jvrbnyqgwr?limiters=&q=Adaptaci%C3%B3n%20de%20un%20motor%20neum%C3%A1tico%20a%20un%20coche%20de%20golf>
- [25] C. I. E. Rodríguez González, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE GRIPPER INTERCAMBIABLE ENTRE ROBOT FANUC LR mate 200iD Y MOTOMAN MH5F”, nov. 2017.
- [26] Robots XL, “Información y datos técnicos de la Pinza serie GH6000”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://robots.shopping/gripper-pinzas-y-garras/gh6000/>
- [27] V. Yepes Piqueras, “Funcionamiento de un cilindro neumático de simple efecto. Problema resuelto – El blog de Víctor Yepes”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En

- línea]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/02/22/potencia-de-un-motor-de-accionamiento-neumatico-problema-resuelto/>
- [28] WordPress, “Cilindros de simple y doble efecto”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://neumaticabasicaepp.wordpress.com/44-2/receptores-neumaticos/cilindros-de-simple-y-doble-efecto/>
- [29] FP e Ingeniería Eléctrica, “Actuadores Neumáticos”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://fpeingenieriaelectrica.blogspot.com/2016/10/actuadores-neumaticos.html>
- [30] C. J. Martínez Guamán y C. F. Santander Vera, “Diseño e implementación de un plan de mantenimiento para el parque automotor de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”, dic. 2014. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/24110174-0482-4f16-88c8-5f50302f6f50>
- [31] Rationalstock, “Electroválvula 5/2 biestable mod. ef52e”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.rationalstock.es/catalogo/producto/equipamiento/aire-comprimido-y-engrase/bobinas--valvulas-y-electrovalvulas/electrovalvula-5-2-biestable-mod--ef52e/05050700004>
- [32] Rome Co Industrial, “3A310-10 Valvula neumatica 3/2 Puertos de 3/8" Simple pilotaje NC / NO”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.romecoinustrial.com/producto/3a310-10-valvula-neumatica-52-puertos-de-38-simple-pilotaje-nc-no/>
- [33] J. C. Arellano Beltrán, “Automatización de máquina cortadora de latón para forja utilizando un PLC para la fábrica Esacontrol”, feb. 2011. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2753>
- [34] Rome Co Industrial, “4V220-08 Electrovalvula neumatica 5/2 Puertos 1/4”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.romecoinustrial.com/producto/electrovalvula-neumatica-4v220-08/>
- [35] Tameson, “Comprensión de las Válvulas Neumáticas de 5/2 y 4/2 vías | Tameson.es”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://tameson.es/pages/valvula-neumatica-de-5-2-y-4-2-vias-como-funcionan>

- [36] Cybermatics, “Cualidades de las Mangueras Neumáticas CYB”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hub.cybermatics.com.mx/blog/cualidades-mangueras-neum%C3%A1ticas-cyb>
- [37] R. Magalhães, “¿Qué es una manguera neumática?” Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://compraco.com.br/es/blogs/industria/o-que-e-uma-mangueira-pneumatica>
- [38] F. J. López Pérez, “DISEÑO DE GUÍA INTRODUCTORIA DE PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE DE ESCALERA, PARA EL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE SIEMENS SIMATIC S7-300, UTILIZANDO SIMULADOR PLCSIM EN ENTORNO DE PROGRAMACIÓN TIA PORTAL PARA EL LABORATORIO DE ELECTRÓNICA 6”, mar. 2023, Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18515/>
- [39] S. J. Petsa Imp, “Control de motores trifásicos con PLC”, jun. 2020. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.une.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8a563e6-478f-458c-840b-9649a2494f19/content>
- [40] Universidad Don Bosco, “Tema: Introducción a la programación de PLC S7-1200”, ene. 2024. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.udb.edu.sv/udb_files/recursos_guias/electronica-ingenieria/automatas-programables/2019/i/guia-2.pdf
- [41] P. Centeno Pomareta, “Introducción a TIA Portal con S7-1500 INTRODUCCIÓN A TIA PORTAL CON S7-1500”, 2017. Consultado: el 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/49911/1/PFC_PEDRO_CENTENO_POMARETA.pdf
- [42] Tecno plc, “PLCSIM en TIA Portal instalación y cómo simular PLC paso a paso”. Consultado: el 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnoplac.com/plcsim-en-tia-portal-instalacion-y-como-simular-plc-paso-a-paso/>