



Universidad **Mariana**

Implementación de sistemas MPS de Festo aplicado a enseñanza en procesos flexibles de automatización

Christian David Burbano Imbaquin

Carlos Andrés Jojoa Ortiz

Universidad Mariana

Facultad de ingeniería

Programa de ingeniería mecatrónica

San Juan de Pasto

2024

Implementación de sistemas MPS de Festo aplicado a enseñanza en procesos flexibles de automatización

Christian David Burbano Imbaquin
Carlos Andrés Jojoa Ortiz

Informe final presentado para optar por el título de ingeniero mecatrónico

Asesor
Mag. Tito Manuel Piamba Mamian

Coasesor
Ing. Javier Humberto Chamorro Arteaga

Universidad Mariana
Facultad de ingeniería
Programa de ingeniería mecatrónica
San Juan de Pasto
2024

Artículo 71: Los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidas en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s).

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones

Universidad Mariana

Tabla de contenido

Introducción	10
1. Resumen del proyecto	11
1.1. Descripción del problema	13
1.1.1. Formulación del problema	13
1.2. Justificación	14
1.3. Objetivos de la investigación	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Marco referencial	15
1.4.1. Marco de antecedentes	15
1.4.2. Marco teórico	19
1.4.2.1. Sistema mecatrónico	19
1.4.2.2. Características de la producción	19
1.4.2.3. Sistemas de producción.....	20
1.4.2.4. Tipología de Sistemas de Producción	20
1.4.2.4.1. Sistema de producción modular aplicado en la empresa	21
1.4.2.4.2. Manufacturación flexible	21
1.4.2.5. Robot en la manufactura	22
1.4.2.6. Module Type Package (MTP).....	23
1.4.2.7. Implementación de Sistemas de Producción Modular: Un Enfoque Basado en la Industria 4.0	23
1.4.3. Marco Conceptual	24
1.4.3.1. Redes Industriales	24
1.4.3.1.1. AS-i	24
1.4.3.1.2. PROFIBUS (Process Field Bus)	25
1.4.3.1.3. PROFINET	26
1.4.3.2. Lenguajes de Programación en PLC	27
1.4.3.2.1. Diagrama en Escalera (LD o KOP)	27
1.4.3.2.2. Lista de Instrucciones (IL)	28
1.4.3.2.3. Diagrama de Función de Bloque (FBD o FUP).....	29
1.4.3.2.4. Texto Estructurado (ST o SCL)	29
1.4.3.3. Gráfico de Funciones Secuenciales (SFC o GRAFCET)	30

1.4.3.4.	CAD (Diseño Asistido por Computadora).....	30
1.4.3.5.	CAM (Manufactura Asistida por Computadora)	30
1.4.3.6.	CAE (Ingeniería Asistida por Computadora)	31
1.4.3.7.	Tipos de Sistemas de control	31
1.4.3.7.1.	Control por retroalimentación.....	31
1.4.3.7.2.	Control en lazo abierto.....	31
1.4.3.7.3.	Control en lazo cerrado	31
1.4.3.7.4.	Control en los sistemas análogos	31
1.4.3.7.5.	Control en los sistemas digitales.....	31
1.4.3.7.6.	Control secuencial.....	31
1.4.3.7.7.	Controlador lógico programable (PLC)	32
1.4.4.	Marco Legal	32
1.4.4.1.	Introducción al Marco Legal.....	32
1.4.4.2.	Normativas Internacionales	32
1.4.4.3.	Legislación Nacional	33
1.4.4.4.	Aspectos éticos.....	33
1.4.5.	Marco Contextual.....	33
1.4.5.1.	Antecedentes sobre la Manufactura Flexible y Sistemas de Automatización Modular.....	33
1.5.	Metodología	34
1.5.1.	Tipo de investigación.....	34
1.5.2.	Línea y sublínea del grupo de investigación.....	34
1.5.3.	Requerimientos	34
1.5.4.	Descripción metodológica	35
1.5.4.1.	Fase 1: Investigación y análisis de metodologías	35
1.5.4.2.	Fase 2: Diseño y generación de operaciones de automatización	35
1.5.4.3.	Fase 3: Pruebas y validación de los módulos MPS.....	36
1.5.4.4.	Fase 4: Documentación y presentación de resultados.....	36
1.5.5.	Validez interna de la investigación	36
2.	Presentación de resultados	37
2.1.	Resultados de acuerdo con objetivos	37
2.1.1.	Resultados del Primer Objetivo: Análisis de la Metodología en Procesos Flexibles de Sistemas MPS.....	37
2.1.1.1.	Búsqueda de información	37

2.1.1.2.	Identificación de entradas y salidas	37
2.1.2.	Resultados del Segundo Objetivo: Implementación de Operaciones de Automatización con Módulos MPS	42
2.1.2.1.	Descripción de estaciones modulares de Festo	42
2.1.2.1.1.	Distribution Station (estación de distribución)	42
2.1.2.1.2.	Testing Station (estación de verificación).....	45
2.1.2.1.3.	Handling station (estación de manipulación).....	47
2.1.2.1.4.	Sorting station (estación de clasificación)	50
2.1.2.2.	Recreación de estaciones en FluidSIM	52
2.1.2.2.1.	Recreación de estación de distribución.....	52
2.1.2.2.2.	Recreación de estación de verificación.....	54
2.1.2.2.3.	Recreación de estación de manipulación	55
2.1.2.2.4.	Recreación de estación de clasificación.....	57
2.1.2.3.	Simulación de funcionamiento con GRAFCET (FluidSIM)	58
2.1.3.	Resultados del Tercer Objetivo: Validación de Funcionamiento de los Módulos MPS mediante Pruebas de Test.....	60
2.1.3.1.	Simulación de estaciones en TIA Portal y FluidSIM.....	60
2.1.3.2.	Pruebas de funcionamiento de estaciones en laboratorio	71
2.2.	Discusión.....	90
3.	Conclusiones	91
4.	Recomendaciones	92
	Referencias bibliográficas	94
	Anexos	99

Índice de figuras

Figura 1. Tipología de sistemas de producción	20
Figura 2. Tipologías posibles con AS-i.....	24
Figura 3. Esquema de una red AS-i	25
Figura 4. Conexiones con PROFIBUS DP	26
Figura 5. Tipos de red para PROFINET	27
Figura 6. Figura 6 Diagrama escalera con entradas y salidas	28
Figura 7. Lenguaje de listas de instrucciones (IL).....	28
Figura 8. Diagrama de bloque.....	29
Figura 9 .Lenguaje SCL.....	29
Figura 10. Lenguaje SFC	30
Figura 11. Simulation Box (IO sim)	37
Figura 12. Estación de distribución	42
Figura 13. Diagrama electroneumático de estación de distribución.....	43
Figura 14. Diagrama de flujo de estación de distribución	44
Figura 15. Estación de verificación	45
Figura 16. Diagrama electroneumático de estación de verificación.....	46
Figura 17. Estación de manipulación.....	47
Figura 18. Diagrama electroneumático de estación de manipulación	48
Figura 19. Diagrama de flujo estación manipulación	49
Figura 20. Estación de clasificación	50
Figura 21. Diagrama electroneumático estación de clasificación.....	51
Figura 22. Recreación de estación de distribución	52
Figura 23. Recreación de estación de verificación	54
Figura 24. Recreación de estación de manipulación.....	55
Figura 25. Recreación de estación de clasificación	57
Figura 26. Bloque de entradas y salidas GRAFCET (FluidSIM)	59
Figura 27. Ejemplo de programación GRAFCET FluidSIM.....	60
Figura 28. PLC Siemens S7-300 314C-2 PN/DP	61
Figura 29. PLC TIA Portal.....	62
Figura 30. Tabla de etiquetas estación de distribución	63
Figura 31. Adición de bloque de programación.....	64
Figura 32. Ejemplo de programación GRAFCET estación de distribución	65
Figura 33. Bloque de programación principal	66

Figura 34. Opciones de OPC/DDE	67
Figura 35. Ejemplo de puertos de entradas y salidas FluidSIM	68
Figura 36. Configuración puerto de salida.....	68
Figura 37. Configuración puerto de entrada	69
Figura 38. Programa EzOPC.....	70
Figura 39. Ejemplo de PLCSIM	71
Figura 40. Ensayo de piezas en la estación de distribución	72
Figura 41. Ensayo de piezas en la estación de verificación	73
Figura 42. PLC y Panel de simulación cambiados	74
Figura 43. Ensayo de piezas en la estación de manipulación	75
Figura 44. Ensayo de piezas en la estación de clasificación.....	76
Figura 45. Modem Ethernet	77
Figura 46. Propiedades de la data bock	77
Figura 47. Conexión S7 con el protocolo profinet.....	78
Figura 48. Activación de memorias de ciclo	79
Figura 49. Bloque conexión PUT	80
Figura 50. Bloque conexión GET	81
Figura 51. Establecer conexión.....	82
Figura 52. Simulación PLCsim.....	83
Figura 53. Sensor de llenado.....	83
Figura 54. Escritura y lectura de datos.....	84

Índice de tablas

Tabla 1. Componentes de estación de distribución.....	38
Tabla 2. Componentes de estación de verificación.....	39
Tabla 3. Componentes estación de manipulación.....	40
Tabla 4. Componentes estación de clasificación	41
Tabla 5. Denominación de componentes estación de distribución (simulación).....	53
Tabla 6. Denominación de componentes estación de verificación (simulación).....	54
Tabla 7. Denominación de componentes estación de manipulación (simulación)	56
Tabla 8. Denominación de componentes estación de clasificación (simulación).....	57
Tabla 9. Funcionamiento completo piezas variadas opción uno	85
Tabla 10. Funcionamiento completo piezas variadas opción dos.....	87

Introducción

Los sistemas de producción modular (MPS), están diseñados para ser utilizados en la formación de mecatrónica, esto gracias a su alta adaptabilidad a cambios futuros. Estos sistemas, brindan la capacidad de combinar estaciones, módulos y accesorios entre sí, con el propósito de recrear una línea de producción la cual esté adaptada a objetivos y escenarios de aprendizaje específicos.

Los sistemas MPS, ofrecen a los estudiantes la oportunidad de interactuar de manera dinámica en la construcción y configuración de sistemas de producción industrial apegados a la realidad, lo que fortalece entendimiento de conceptos que van enfocados hacia la automatización, además, de comprender las nuevas tecnologías las cuales están siendo utilizadas cada vez más en el mundo actual.

En este contexto, el proyecto denominado Implementación de sistemas MPS de Festo aplicado a enseñanza en procesos flexibles de automatización tiene como objetivo principal desarrollar simulaciones de procesos mecatrónicos mediante el uso de los módulos MPS de Festo, los cuales se encuentran disponibles en el SENA de la ciudad de pasto. Para lograr esto, se plantea desarrollar tres procesos de manufactura flexible, con el fin de crear un ambiente pedagógico, enfocado en la automatización por medio de sistemas MPS.

1. Resumen del proyecto

Esta investigación aborda la implementación de procesos de manufactura flexible utilizando sistemas modulares, con un enfoque en los sistemas de control electrónico y mecatrónica. Se estudian las características fundamentales de los sistemas de producción, destacando la flexibilidad, eficiencia y competitividad como factores clave para la transformación industrial. Se enfatiza el uso de controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de control en lazo cerrado y abierto, describiendo cómo estas tecnologías optimizan la operación en sistemas embebidos. Además, se examina el Sistema Modular aplicado a la producción industrial, resaltando sus ventajas en términos de reducción de costos, mejora de la calidad y respuesta ágil ante cambios en la demanda. Asimismo, se analiza la manufactura flexible (FMS) como un modelo adaptable a diversas configuraciones productivas, permitiendo la producción eficiente de lotes pequeños.

Se concluye que la producción modular y el uso de la automatización basada en el estándar MTP facilitan una mayor conectividad, escalabilidad y adaptación en la Industria 4.0. La investigación presenta pruebas de funcionamiento y validación de desempeño mediante módulos de sistemas de producción modular (MPS), lo que respalda la mejora continua y la innovación en los procesos industriales.

Abstract

This research addresses the implementation of flexible manufacturing processes using modular systems, with a focus on electronic control and mechatronic systems. The fundamental characteristics of production systems are studied, highlighting flexibility, efficiency, and competitiveness as key factors for industrial transformation. The use of programmable logic controllers (PLCs) and closed and open-loop control systems is emphasized, describing how these technologies optimize operation in embedded systems. Additionally, the Modular System applied to industrial production is examined, highlighting its advantages in terms of cost reduction, quality improvement, and agile response to changes in demand. Furthermore, flexible manufacturing systems (FMS) are analyzed as a model adaptable to various production configurations, allowing for efficient production of small batches. It is concluded that modular production and the use of automation based on the MTP standard facilitate greater connectivity, scalability, and adaptability in Industry 4.0. The research presents performance tests and validation through modular production system (MPS) modules, supporting continuous improvement and innovation in industrial processes.

1.1. Descripción del problema

En la industria actual, la automatización y la flexibilidad son esenciales para asegurar la competitividad y la eficiencia en los procesos productivos. Sin embargo, se observa una carencia significativa de conocimientos y habilidades en torno a los sistemas de procesos flexibles (SPF), lo que representa un desafío crucial para muchas empresas.

En Colombia, a pesar de que la tasa de desempleo alcanzó el 10,6% en mayo de este año, sectores como el tecnológico y el de automatización industrial enfrentan una marcada escasez de talento. Según Forbes (2022), en el ámbito de las tecnologías de la información (TI), cientos de vacantes permanecen sin cubrir, lo que frena el progreso industrial en la región.

Las organizaciones tienen dificultades para encontrar y retener personal calificado que comprenda y trabaje con SPF, lo cual afecta directamente la calidad de los productos, la satisfacción del cliente y la competitividad. Este déficit de habilidades no solo impacta a las empresas, sino que también influye en la competitividad industrial a nivel nacional e internacional.

Ante esta situación, la implementación de sistemas MPS de Festo, enfocados en la enseñanza de procesos flexibles de automatización, se presenta como una posible solución para capacitar a una nueva generación de profesionales y mitigar la falta de talento especializado. Abordar este déficit es fundamental para asegurar un futuro industrial sostenible y competitivo.

1.1.1. Formulación del problema

¿Cómo pueden los sistemas MPS de Festo ser utilizados de manera efectiva para instruir y enseñar procesos flexibles en el campo de la automatización industrial?

1.2. Justificación

En el entorno industrial actual, la automatización y los procesos flexibles son esenciales para mantener la competitividad. Sin embargo, existe una carencia de profesionales capacitados en sistemas de procesos flexibles, lo que afecta la capacidad de las empresas para adaptarse a las demandas tecnológicas del mercado. Según (Festo, 2024), los sistemas modulares de producción (MPS) permiten adaptar las estaciones modulares a objetivos específicos de aprendizaje, facilitando la formación técnica con una alta transferencia al entorno laboral real.

La implementación de los sistemas MPS en la enseñanza puede preparar a una nueva generación de profesionales que puedan satisfacer esta demanda, mejorando su empleabilidad y contribuyendo al desarrollo industrial. Según el Índice de Madurez Digital elaborado por Virtus Partners, el nivel de adopción tecnológica en Colombia es de 56,5% en grandes empresas y de apenas 37,1% en PYMES, reflejando una brecha significativa en la preparación tecnológica del talento humano (Pereira, 2023). Este proyecto busca demostrar que los sistemas MPS de Festo son esenciales para formar a estos profesionales y mejorar la competitividad de la industria a nivel global.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. *Objetivo general*

Desarrollar procesos de manufactura flexible mediante el uso de módulos (distribución, verificación, manipulación y clasificación) MPS de Festo.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Identificar la metodología aplicada a los procesos flexibles que involucren sistemas de automatización modular (MPS).
- Generar operaciones de automatización mediante los módulos MPS que representen procesos de manufactura flexible.
- Validar el funcionamiento de los módulos MPS mediante pruebas de test.

1.4. Marco referencial

1.4.1. Marco de antecedentes

- Automatización y monitoreo para planta FESTO MPS-500 del laboratorio de fabricación flexible de UPS-G

En esta tesis se proporciona un marco útil para esta investigación ya que se aborda la implementación de redes industriales y el uso de lenguajes de programación en PLC en el contexto de una planta MPS. Este estudio detalla el control y monitoreo de estaciones operativas mediante software como TIA Portal, destacando la importancia de la automatización en la optimización de procesos industriales. (Castillo et al., 2019).

La experiencia adquirida en el diseño de algoritmos y la configuración de sistemas de supervisión en dicha tesis sirve de base para explorar cómo estas tecnologías pueden ser integradas en el ámbito educativo, específicamente en la enseñanza de sistemas modulares de producción. Al construir sobre los hallazgos de esta investigación previa, este trabajo busca implementar un enfoque pedagógico que incluya el uso de redes industriales y PLC en la formación de futuros profesionales en automatización, fomentando así una mayor conectividad y adaptabilidad en la Industria 4.0.

- Diseño de un sistema de gestión inteligente para una planta de fabricación didáctica MPS PA Bottling Learning System by FESTO Didactic

En el presente proyecto se abordan temas relevantes como la integración de tecnologías para la formación de tecnólogos en procesos industriales automatizados. El sistema se implementa en una fábrica piloto con el objetivo de que los estudiantes del SENA puedan experimentar situaciones industriales reales, facilitando su transición al ámbito laboral. La plataforma desarrollada integra una página web que permite la interacción con los clientes, gestionando la información relacionada con la compra de productos y optimizando el proceso de producción mediante el análisis de datos. (Alomia et al., 2022).

Para llevar a cabo esta implementación, se realiza la caracterización completa de las máquinas involucradas, garantizando una sinergia entre estas y la página web de gestión. Además, se utiliza un script en Python para enviar la información desde la página web hacia el PLC, empleando una estrategia basada en redes neuronales que decide el orden de los pedidos y su envío a la lista de fabricación, utilizando el protocolo de comunicación industrial OPC UA.

El sistema de gestión desarrollado permite la interacción de diferentes tipos de usuarios: el cliente, que realiza las compras; el operador, que maneja las PQRS y supervisa el estado de los procesos; y el administrador, que puede gestionar los pedidos y modificar el contenido de la sección de novedades. Este enfoque integral permite que los estudiantes comprendan la gestión de producción en un entorno automatizado, mejorando así su capacidad de análisis y toma de decisiones.

En conclusión, el sistema de gestión propuesto no solo facilita el procesamiento de pedidos de los clientes de manera eficiente, sino que también ofrece herramientas que permiten un análisis detallado de la producción, preparando a los tecnólogos para enfrentar los desafíos de la automatización industrial en un contexto real.

- Diseño e implementación de un sistema de medición y supervisión de eficiencia productiva de una máquina FESTO MPS-500 del laboratorio de flexible utilizando TVC

En este proyecto se abordan temas claves como la medición de la eficiencia operativa y productiva en sistemas automatizados. El objetivo es implementar un sistema de monitoreo para la máquina MPS-500 del laboratorio flexible, utilizando un PLC M241 y un HMI GTO de la marca Schneider Electric. Este sistema captura las señales de campo de los sensores distribuidos en toda la máquina, permitiendo obtener datos críticos sobre el desempeño del equipo. (Villacreses, 2021).

El enfoque principal de este proyecto es diseñar rutinas para analizar las paradas y así determinar la eficiencia real de la producción, con el propósito de reducir tiempos muertos y proponer mejoras en el proceso. Esta metodología permite a los estudiantes comprender la importancia de la medición de la eficiencia productiva en tiempo real dentro de una industria. A través de este aprendizaje, los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana adquieren

habilidades para mejorar la operación de las máquinas y generar cronogramas de mantenimiento orientados al perfeccionamiento continuo de la producción.

El sistema monitorea variables claves a través del control de la Eficiencia Global de los Equipos (OEE, por sus siglas en inglés), también conocido como el análisis de Tiempo, Velocidad y Calidad (TVC). Estos indicadores se visualizan en una pantalla gráfica y, adicionalmente, se puede acceder a los datos desde cualquier equipo mediante un servidor web. Este enfoque proporciona una visualización rápida y sencilla de la información, permitiendo a los estudiantes interactuar con un entorno similar al que enfrentarán en el campo profesional.

Este proyecto permite la integración de componentes industriales reales con tecnología de monitoreo y análisis de datos, brindando una plataforma de aprendizaje práctica que mejora las competencias de los estudiantes en la automatización de procesos flexibles.

- Identificación de sistemas dinámicos a través de técnicas de aprendizaje de máquina utilizando la planta de control MPS Workstation de FESTO

El presente proyecto tiene como base el antecedente sobre la identificación de sistemas dinámicos mediante técnicas de aprendizaje de máquina, que servirá para abordar las limitaciones de los métodos tradicionales en la identificación y modelado de sistemas complejos. A partir de este antecedente, se plantea la necesidad de explorar enfoques avanzados, tales como redes neuronales y máquinas de soporte vectorial, que sean capaces de modelar sistemas no lineales con mayor precisión y adaptabilidad. (Chacón et al.,2018).

En este proyecto, se seleccionará la planta de control MPS Workstation de FESTO como plataforma de validación para probar los algoritmos de aprendizaje de máquina. La decisión de utilizar esta planta se justifica por sus capacidades de simulación de procesos industriales, lo que permitirá replicar condiciones reales y generar datos para entrenar y evaluar los modelos. La versatilidad y modularidad de la MPS Workstation de FESTO proporcionará un entorno controlado y replicable, que será fundamental para probar la efectividad de los modelos desarrollados.

La metodología que se adoptará en este proyecto incluye fases como la recolección de datos de la planta, el diseño de los modelos de aprendizaje de máquina, su entrenamiento con

los datos obtenidos y la posterior validación de los modelos mediante simulaciones en el entorno de la planta de control. Se espera que los resultados del proyecto demuestren la capacidad del aprendizaje de máquina para superar las limitaciones de los métodos tradicionales en la identificación de sistemas dinámicos complejos, ofreciendo una mayor precisión y versatilidad en el modelado.

De esta manera, el antecedente estudiado servirá como una guía teórica y práctica para el desarrollo de este proyecto, orientando las decisiones clave en la selección de herramientas, el diseño de la metodología y la validación experimental.

- Montaje de una línea de ensamblaje de piezas que simulan la fabricación de un cilindro de simple efecto para el laboratorio STEM mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga

En la actualidad, las empresas manufactureras buscan optimizar sus procesos productivos a través de la implementación de sistemas de producción modular, lo que permite aumentar la eficiencia y reducir los costos operativos. Este tipo de sistemas, conocidos como MPS (Modular Production Systems), son capaces de adaptarse rápidamente a los cambios en las demandas del mercado y en los procesos de producción. En la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), los estudiantes del último semestre de ingeniería mecatrónica han identificado la falta de equipos de producción modular y robótica en el laboratorio STEM de mecatrónica. Esta carencia limita la adquisición de conocimientos prácticos en el uso de tecnologías avanzadas, lo cual afecta negativamente el desempeño de los futuros ingenieros en entornos industriales donde se emplean sistemas automatizados. (Tabares et al., 2024).

Este proyecto propone la implementación de una línea de ensamblaje automatizada para la simulación de un cilindro neumático de simple efecto, utilizando equipos modulares y tecnologías avanzadas. Entre los dispositivos integrados se encuentran el robot UR3, la estación MPS Handling de Festo, y una estación de distribución de diseño propio, controlada mediante PLC's (Controladores Lógicos Programables). Estos equipos, dispuestos en estaciones de trabajo modulares, serán utilizados para el desarrollo de prácticas académicas en la UNAB, brindando a los estudiantes la oportunidad de adquirir experiencia práctica en la configuración y operación de sistemas de automatización flexible.

La propuesta de este proyecto no solo tiene como objetivo mejorar la formación académica de los estudiantes, sino también simular entornos industriales reales, permitiendo que los ingenieros mecánicos de la UNAB estén mejor preparados para enfrentar los retos del mercado laboral.

1.4.2. Marco teórico

1.4.2.1. Sistema mecatrónico

Se combina la mecánica con disciplinas como mecánica, electrónica, control y computación que interactúan entre sí para realizar funciones automáticas. Se resalta el microcontrolador que es un circuito integrado que combina una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y puertos de entrada/salida en un solo chip. Esta arquitectura lo convierte en la pieza clave para implementar sistemas de control embebidos. Al integrar todas estas funcionalidades, los microcontroladores permiten diseñar sistemas más compactos, eficientes y flexibles, encontrando aplicaciones en una amplia gama de dispositivos electrónicos, desde electrodomésticos hasta sistemas industriales. Un sistema de control se utiliza para gestionar aspectos clave de un proceso, como mantener variables en valores específicos para asegurar la estabilidad, establecer la secuencia de eventos en un orden lógico y regular la ocurrencia de ciertos eventos según condiciones predefinidas (Bolton, 2020).

1.4.2.2. Características de la producción

Según Torres (2023), “competitividad de la organización está determinada principalmente por las decisiones tomadas en el área de operaciones; éstas radican en el logro de los siguientes objetivos: calidad, costo, flexibilidad y cumplimiento en las entregas” (p.15).

La flexibilidad es la habilidad para desplegar y replugar los recursos en respuesta a las condiciones cambiantes; permite lograr procesos fabriles eficientes y eficaces en términos de costos, puesto que posibilita la fabricación de productos a la medida sin sacrificar por ello otros objetivos. Al facilitar la disminución de los tiempos de lanzamiento, la producción en pequeños lotes puede ser tan económica como la fabricación a gran escala, lo que da a la empresa la oportunidad de modificar su estrategia competitiva en un proceso de búsqueda de economías de alcance. (Domínguez Machuca, 2005).

1.4.2.3. Sistemas de producción

Es fundamental considerar factores como el tamaño, la localización, la misión de la empresa y la planificación de proyectos para desarrollar estrategias que garanticen un desempeño eficiente y sostenible, como lo menciona Torres Guerrero (2023):

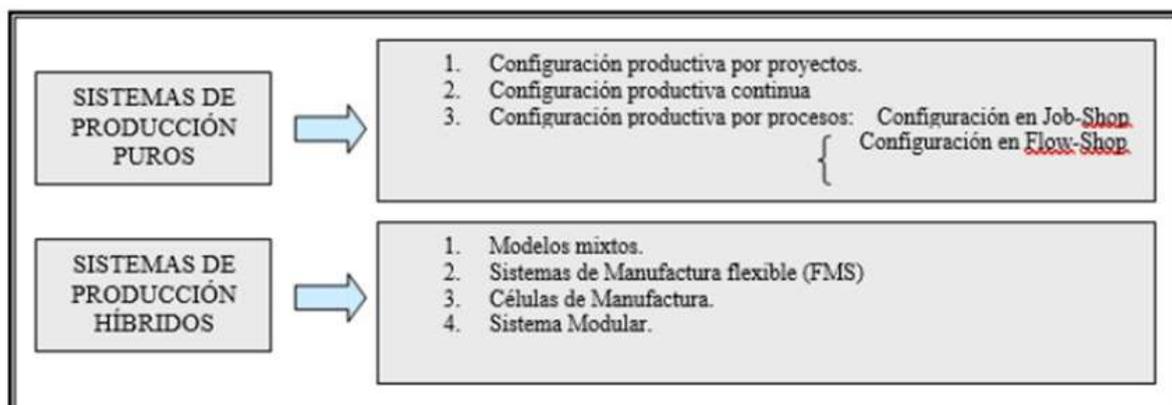
La producción es una de las funciones más importantes para una empresa que realice una función. La gestión de operaciones se encarga de diseñar, implementar y controlar los procesos que transforman los insumos en productos finales. La estructura de flujo de proceso, que define la secuencia de estas operaciones, es un elemento fundamental en la configuración de los sistemas productivos. La elección de una determinada estructura de flujo impacta directamente en la eficiencia, la flexibilidad y la capacidad de respuesta de la organización. En este sentido, la teoría de restricciones, por ejemplo, propone identificar y eliminar los cuellos de botella en el flujo de producción para maximizar la eficiencia global del sistema (p.16).

1.4.2.4. Tipología de Sistemas de Producción

Como se indica en la siguiente figura 1 y es señalado por (Castro, 2004), existen diferentes tipos de sistemas de producción dependiendo del flujo del material a través de la planta productiva, según la disposición de la maquinaria y áreas de procesamiento, los cuales se pueden agrupar en sistemas de producción puros e híbridos.

Figura 1

Tipología de sistemas de producción



Nota: La figura 1 muestra los sistemas de producción en una empresa. Fuente: Gestión de producción para PYME's 2003.

1.4.2.4.1. Sistema de producción modular aplicado en la empresa

Torres Guerrero (2023) destaca que el sector industrial colombiano necesita transformarse urgentemente debido a la insostenibilidad del modelo de producción actual, que ha reducido la rentabilidad y limitado la competitividad internacional. La integración de nuevas tecnologías se presenta como una estrategia clave para mejorar la eficiencia y fortalecer el posicionamiento de las empresas en un mercado global exigente.

Según el Plan Municipal de Desarrollo 2024–2027 (2024), la visión estratégica del municipio de San Juan de Pasto, como una de las 32 ciudades capitales de Colombia, enfrenta retos significativos en términos de competitividad e innovación. Según el Índice de Competitividad de Ciudades 2023, Pasto se posiciona en el puesto 14, lo que refleja su desempeño relativo en factores como sofisticación, diversificación y capacidad de innovación. Sin embargo, su economía sigue centrada principalmente en el comercio, representando el 51.55% de las empresas locales. Esto destaca la necesidad de desarrollar programas que fortalezcan otros sectores estratégicos como la manufactura y la agroindustria, con el fin de mejorar su competitividad.

1.4.2.4.2. Manufacturación flexible

Para adaptarse a cambios en la demanda y ajustar los volúmenes de producción, los Sistemas de Manufactura Flexible procesan múltiples piezas de manera simultánea, lo que mejora la productividad y reduce los costos operativos. También contribuyen a un mejor control de inventarios, al tiempo que incrementan la calidad y optimizan el uso de la maquinaria. Su capacidad de monitoreo en tiempo real permite detectar y corregir desviaciones rápidamente, garantizando un desempeño eficiente. Esta capacidad de los Sistemas de Manufactura Flexible ha sido ampliamente destacada en la literatura:

Los sistemas de manufactura flexible son conjuntos de máquinas y herramientas que poseen un centro de control numérico y que por su estructura son capaces de desarrollar gran diversidad de operaciones en tamaños de lote más pequeños y con gran velocidad. Utilizan sistemas de manejo de materiales automatizados, lo que permite mayor precisión en las labores de producción (Universidad Militar Nueva Granada, 2024, s.p.).

Componentes de Sistemas de Manufactura Flexible (FMS)

- **Estaciones de trabajo en FMS**

Explica (Groover, 2010) que las estaciones FMS constan de máquinas y herramientas con Control Numérico Computarizado (CNC), que realizan las operaciones en familias de partes.

Los diferentes tipos de estaciones de trabajo son:

- Centros de maquinaria
- Estaciones de carga y descarga
- Ensamblajes de estaciones de trabajo
- Estaciones de inspección
- Estaciones de fundición
- Procesamiento de láminas, entre otras

De acuerdo con la Universidad de Granada (2024), en los Sistemas de Manufactura Flexibles (FMS), el manejo automático de materiales y el almacenamiento facilitan el transporte de piezas entre estaciones de trabajo, con la opción de almacenamiento temporal. Este sistema permite un movimiento independiente entre estaciones, maneja diversas configuraciones de piezas y ofrece un acceso rápido para carga y descarga, siendo compatible con sistemas de control computarizado para una gestión precisa y eficiente. Gracias a estas características, el sistema garantiza una mayor flexibilidad operativa y contribuye a la optimización de tiempos de producción, ajustándose a las necesidades de manufactura en entornos variables.

- **Sistema de control computarizado para FMS**

El sistema de control computarizado para FMS coordina las actividades de las estaciones de trabajo y el sistema de manejo de materiales, cumpliendo funciones como el control de cada estación, distribución de instrucciones, control de producción y tráfico, así como monitoreo y generación de reportes de desempeño (Boshalla, n.d.)

1.4.2.5. Robot en la manufactura

Groover (2020) define un robot como una máquina reprogramable y multifuncional, diseñada para manipular materiales, partes, herramientas, o aparatos especiales, a través de movimientos programados para el desempeño de una variedad de tareas, y que se desempeña en tres o más ejes.

Existen dos tipos de robots a saber:

- Brazos: están fijos en un sitio, pero pueden alcanzar y manipular partes y herramientas
- Móviles: con libertad de movimiento

1.4.2.6. Module Type Package (MTP)

El MTP es un estándar que define una manera uniforme de describir y conectar módulos de automatización. Según GEA (2024), la producción modular mediante MTP ofrece grandes ventajas, como la flexibilidad para adaptarse rápidamente a cambios y la estandarización que optimiza la eficiencia y reduce costos. Además, su escalabilidad permite ajustar la producción según las necesidades.

La producción modular con MTP ofrece varios beneficios clave que optimizan el proceso de manufactura, destacando la agilidad al reducir tiempos de ingeniería mediante el uso de módulos preconfigurados. Esto facilita la rápida adaptación a cambios en productos y procesos. Además, el sistema promueve la eficiencia, optimizando recursos y reduciendo costos gracias a la estandarización y la automatización. Su escalabilidad también permite ajustar la capacidad de producción según las necesidades del mercado, mientras que su precisión y repetitividad mejoran la calidad del producto final (Siemens, 2023).

1.4.2.7. Implementación de Sistemas de Producción Modular: Un Enfoque Basado en la Industria 4.0

La producción modular, sustentada en la Industria 4.0, ha emergido como una estrategia clave para lograr mayor flexibilidad, eficiencia y adaptabilidad en los procesos de fabricación. Esta metodología se basa en la descomposición de un producto en módulos independientes que pueden ser configurados y reconfigurados rápidamente para satisfacer las demandas cambiantes del mercado.

La transformación digital, impulsada por la Industria 4.0, representa una oportunidad clave para modernizar los sistemas productivos de la región. Tecnologías emergentes como los sistemas ciber-físicos, la inteligencia artificial, el big data y la computación en la nube, no solo están cambiando la forma en que se producen bienes y servicios, sino que también están redefiniendo la competitividad empresarial (Namur, 2024). Cada módulo facilita su aplicación en diversas industrias, y en la estandarización, que asegura la interoperabilidad y facilita la

integración. El estándar MTP (Module Type Package) permite una descripción y gestión eficiente de los módulos en sistemas complejos.

1.4.3. Marco Conceptual

1.4.3.1. Redes Industriales

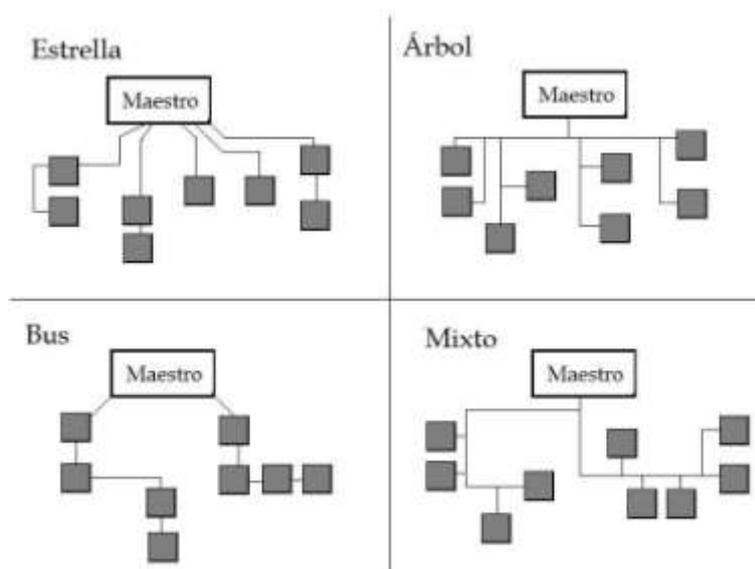
Las redes industriales proporcionan la plataforma necesaria para interconectar distintos sistemas de automatización, permitiendo soluciones escalables, especialmente en grandes industrias. Estas redes son variadas según la distancia, las tecnologías empleadas, el área de aplicación y los objetivos de automatización (Control Engineering, 2023).

1.4.3.1.1. AS-i

El Interfaz Sensor-Actuador (AS-i) es una red desarrollada para estandarizar la comunicación entre sensores y actuadores de distintos proveedores. Su objetivo es optimizar la transmisión de datos en aplicaciones de automatización ya que AS-i garantiza la interoperabilidad entre diferentes dispositivos gracias a su normalización internacional, y su flexibilidad permite integrarse con sistemas de buses de nivel superior como PROFINET (Siemens Industry Support, 2006)

Figura 2

Tipologías posibles con AS-i



Nota: Tipologías posibles con AS-i (estrella, árbol, bus, mixto). Fuente: Automatización y Monitoreo para Planta Festo (2019).

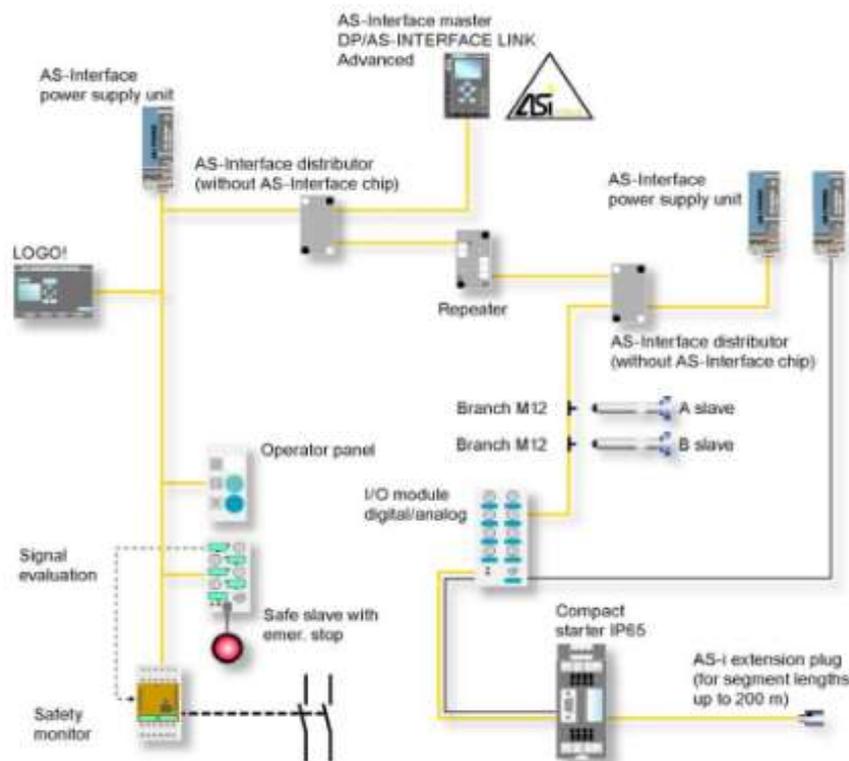
El protocolo AS-i utiliza una estructura de acceso Maestro-Esclavo, donde un único maestro controla toda la red, sin importar la topología en la que esté configurada (bus, anillo, estrella, etc.). Una de sus mayores ventajas es el cableado simple y económico, que permite conectar hasta 31 esclavos mediante un solo cable de dos hilos se puede ver en la fig 2.

1.4.3.1.2. PROFIBUS (Process Field Bus)

PROFIBUS es un estándar que se utiliza principalmente en el control de procesos, integrando dispositivos de campo como sensores, actuadores y máquinas de manipulación. Al igual que AS-i, PROFIBUS utiliza una estructura de maestros y esclavos donde Los maestros (o estaciones activas) tienen el control del bus y pueden transmitir datos sin necesidad de solicitud y los esclavos (o estaciones pasivas) actúan como dispositivos periféricos que solo envían y reciben mensajes cuando lo solicita el maestro (Tovar & Vasques, 1999).

Figura 3

Esquema de una red AS-i



Nota: Esquema de una red AS-i. Fuente: Automatización y monitoreo para planta FESTO (2019).

PROFIBUS DP: optimizado para redes de comunicación.

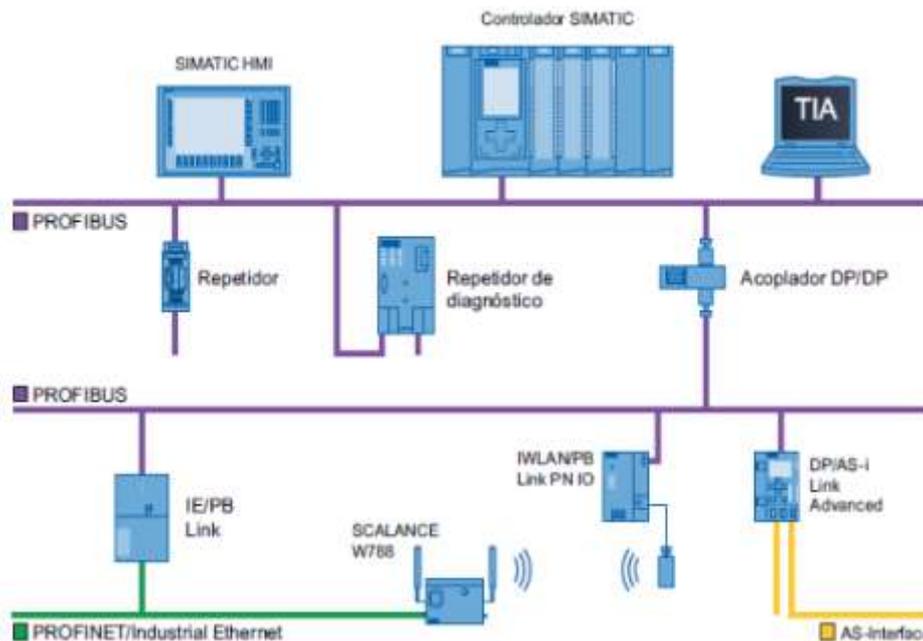
PROFIBUS PA: diseñado específicamente para la automatización de procesos se puede ver en la figura 3.

1.4.3.1.3. PROFINET

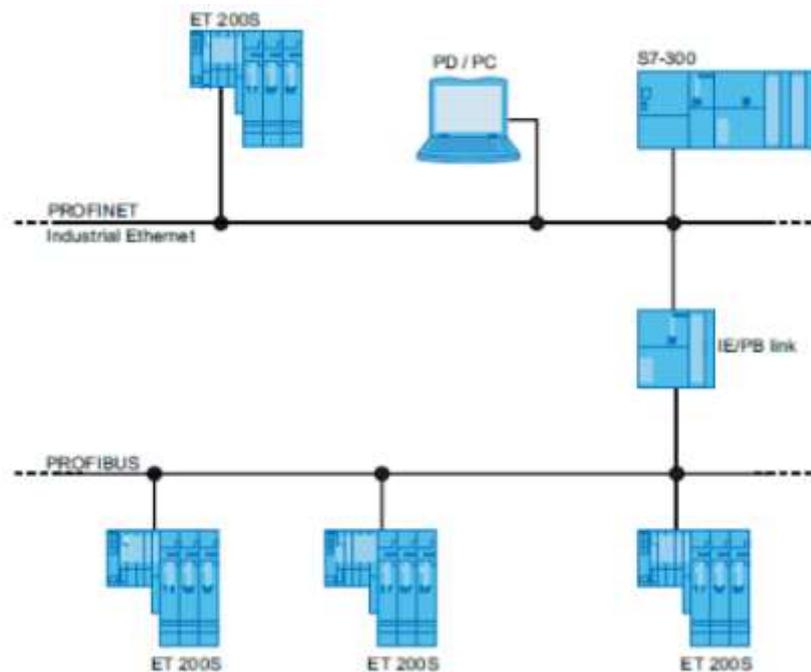
PROFINET es el resultado de la combinación de PROFIBUS DP con las ventajas del Ethernet industrial. Esta tecnología permite que todas las estaciones conectadas tengan acceso a la red de forma simultánea. PROFINET también facilita la integración con otros sistemas de bus de campo, como PROFIBUS y AS-i, permitiendo configuraciones flexibles en topologías de bus o árbol (Feld, 2004), lo que mejora la eficiencia en la transferencia de datos a través de múltiples nodos se puede ver en las figuras 4 y 5.

Figura 4

Conexiones con PROFIBUS DP



Nota: Conexiones con profibus dp. Fuente: Automatización y monitoreo para planta FESTO (2019).

Figura 5*Tipos de red para PROFINET*

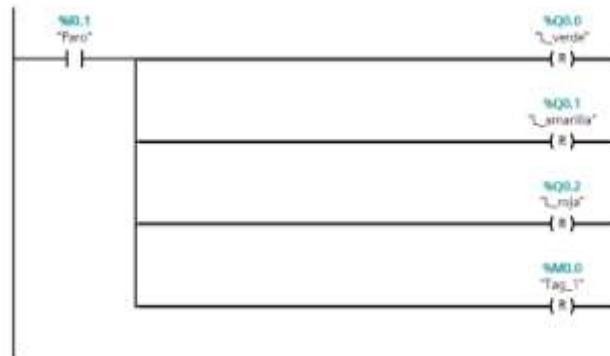
Nota: Tipos de red para Profinet. Fuente: Automatización y monitoreo para planta FESTO (2019).

1.4.3.2. Lenguajes de Programación en PLC

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) ha estandarizado cinco lenguajes de programación para Controladores Lógicos Programables (PLC):

1.4.3.2.1. Diagrama en Escalera (LD o KOP)

El lenguaje más utilizado y visualmente intuitivo. Simula circuitos eléctricos con contactos y bobinas, lo que facilita su comprensión para quienes tienen conocimientos básicos de electricidad. Ideal para aplicaciones sencillas y secuencias lógicas se puede ver en la figura 6.

Figura 6*Diagrama escalera con entradas y salidas*

Nota: Diagrama escalera con entradas y salidas. Fuente: Automatización y monitoreo para planta FESTO (2019).

1.4.3.2.2. *Lista de Instrucciones (IL)*

Figura 7*Lenguaje de listas de instrucciones (IL)*

```

10 OVRD 20
20 HOPEN 1
30 MOV P1
40 MOV P2
50 MOV P3
60 DLY 1
70 HCLOSE 1
80 DLY 1
90 MOV P4
100 MOV P5
110 DLY 1
120 HOPEN 1
130 END

```

Nota: Lenguaje de lista de instrucciones. Fuente: Automatización y monitoreo para planta FESTO (2019).

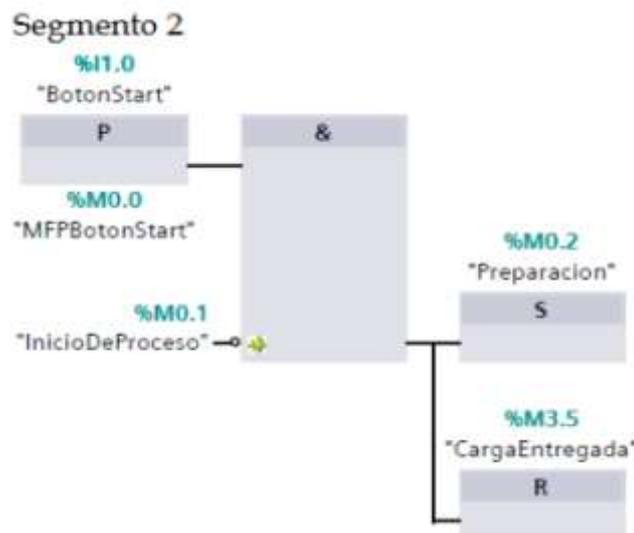
Un lenguaje de bajo nivel similar a la programación de microprocesadores. Utiliza una secuencia lineal de instrucciones, lo que puede dificultar la depuración de errores en programas largos. Ofrece alta velocidad de ejecución, aunque este aspecto ha perdido relevancia con la potencia actual de los PLC se puede ver en fig 7.

1.4.3.2.3. Diagrama de Función de Bloque (FBD o FUP)

Lenguaje gráfico que representa la lógica de control mediante bloques funcionales interconectados. Es más fácil de aprender que el LD, pero menos adecuado para programas complejos como se ve en la fig 8.

Figura 8

Diagrama de bloque



Nota: Diagrama de bloque. Fuente: Automatización y monitoreo para planta FESTO (2019).

1.4.3.2.4. Texto Estructurado (ST o SCL)

Un lenguaje de alto nivel similar a lenguajes como C o Pascal. Permite una programación más estructurada y legible, con construcciones como IF-THEN-ELSE y bucles. Es ideal para aplicaciones complejas y algoritmos matemáticos como en la figura 9.

Figura 9

Lenguaje SCL

```

0001 //Inicio proceso
0002 IF "InicioDeProceso"=true THEN
0003   "MActivarAbrirGriperIniciodePorceso":=true;
0004   "MActivarBrazoGriperInicioDeProceso":=true;
0005 END IF;

```

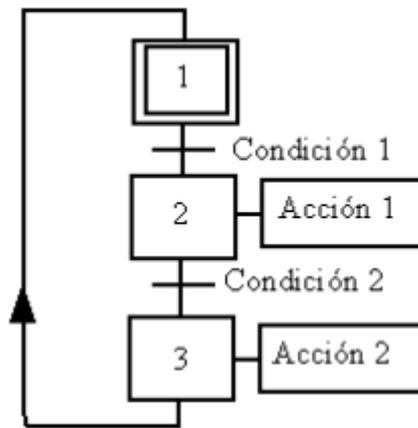
Nota: Lenguaje SCL. Fuente: Automatización y monitoreo para planta FESTO (2019).

1.4.3.3. Gráfico de Funciones Secuenciales (SFC o GRAFCET)

Representa la secuencia de operaciones de un proceso mediante estados y transiciones. Es útil para visualizar y programar procesos secuenciales, pero puede resultar complejo para programas con muchas ramificaciones como se ve en la figura 10.

Figura 10

Lenguaje SFC



Nota: Lenguaje SFC. Fuente: Automatización y monitoreo para planta FESTO (2019).

Estos lenguajes estandarizados permiten una mayor interoperabilidad entre sistemas y facilitan el desarrollo de aplicaciones industriales de forma más eficiente (Nufactur, 2024).

1.4.3.4. CAD (Diseño Asistido por Computadora)

El CAD es la herramienta fundamental para la creación y modificación de modelos 3D. Permite visualizar y analizar diseños desde múltiples perspectivas, facilitando la detección de errores y la optimización de formas (Groover, 2020).

1.4.3.5. CAM (Manufactura Asistida por Computadora)

El CAM se encarga de traducir los diseños generados en CAD en instrucciones para las máquinas herramienta. A partir del modelo 3D, el sistema CAM genera trayectorias de

herramienta y códigos de programación numérica (CNC) para la fabricación de piezas (Kalpakjian & Schmid, 2014).

1.4.3.6. CAE (Ingeniería Asistida por Computadora)

El CAE permite simular el comportamiento de los productos en condiciones reales, antes de su fabricación. A través de técnicas como el análisis de elementos finitos. (Cook et al., 2001).

1.4.3.7. Tipos de Sistemas de control

1.4.3.7.1. Control por retroalimentación

las señales de salida regresan como entrada. En un control por retroalimentación, el sistema de control compara la salida real retroalimentada con el valor que se requiere y ajusta su salida de acuerdo con el resultado (Pérez, 2004).

1.4.3.7.2. Control en lazo abierto

Es aquél que la salida censada del proceso no es comparada con la señal de referencia (Pérez, 2004).

1.4.3.7.3. Control en lazo cerrado

toma la salida del proceso y la compara con la señal de referencia para conocer en todo momento la evolución de la variable (Pérez, 2004).

1.4.3.7.4. Control en los sistemas análogos

Todas las señales son funciones continuas de tiempo y es el tamaño de la señal la que es una medida de la variable (Bateson, 2017).

1.4.3.7.5. Control en los sistemas digitales

Pueden considerarse como una secuencia de señales de encendido/apagado, el valor de la variable que se representa por la secuencia de pulsos de encendido/apagado (Bateson, 2017).

1.4.3.7.6. Control secuencial

Se usa cuando las acciones están ordenadas estrictamente de acuerdo con una secuencia definida en un tiempo o por una sucesión de eventos (Bateson, 2017).

1.4.3.7.7. Controlador lógico programable (PLC)

Según (Yalçın, 2009), este es un controlador basado en un microprocesador que utiliza memoria programable para almacenar instrucciones y para implementar funciones como secuencia, conteo de tiempo y aritmética lógicas para controlar eventos y que puedan programarse con facilidad para distintas tareas.

1.4.4. Marco Legal

1.4.4.1. Introducción al Marco Legal

Este documento establece los principios legales y éticos para la investigación titulada "Identificación de sistemas dinámicos a través de técnicas de aprendizaje de máquina utilizando la planta de control MPS Workstation de FESTO". El objetivo es garantizar que el proyecto cumpla con las normativas y estándares internacionales y nacionales en materia de calidad, seguridad, protección de datos, y uso responsable de tecnologías de información.

1.4.4.2. Normativas Internacionales

ISO 9001:2015 (Sistema de Gestión de Calidad): Establece los requisitos para la gestión de calidad en procesos tecnológicos, asegurando la eficiencia y fiabilidad en la implementación de sistemas de control y aprendizaje de máquina (International Organization for Standardization, 2015).

ISO 27001:2013 (Seguridad de la Información): Define los estándares para la protección de datos e información, crucial en la manipulación de datos en el aprendizaje de máquina (International Organization for Standardization, 2013).

ISO 14000 (Gestión Ambiental): Proporciona guías para minimizar los impactos ambientales en proyectos tecnológicos (International Organization for Standardization, 2015).

IEC 61508 (Seguridad Funcional): Especifica los requisitos de seguridad funcional para sistemas electrónicos y de control automatizados, esenciales en la automatización industrial para proteger a personas y bienes (International Electrotechnical Commission, 2010).

1.4.4.3. Legislación Nacional

Ley 1341 de 2009: Promueve el uso responsable de TIC, asegurando la protección de derechos y fomentando el desarrollo económico y social (Congreso de la República de Colombia, 2009).

Ley 23 de 1982 (Protección de Derechos de Autor): Regula el uso de software especializado, garantizando el respeto a los derechos de autor (Congreso de la República de Colombia, 1982).

Ley 1915 de 2018: Refuerza la protección de derechos de autor en el ámbito digital, respetando las licencias y marcas (Congreso de la República de Colombia, 2018).

Resolución 2400 de 1979: Establece normas de seguridad laboral en el manejo de equipos industriales y educativos (Ministerio de Trabajo de Colombia, 1979).

Norma ISO 45001: Fija estándares para la seguridad y salud ocupacional, relevantes en entornos con maquinaria automatizada (International Organization for Standardization, 2018).

1.4.4.4. Aspectos éticos

El uso de sistemas de aprendizaje de máquina presenta retos éticos relacionados con la equidad, la transparencia en el tratamiento de datos y la responsabilidad en la toma de decisiones automatizadas. En esta investigación, se establecen guías para evitar sesgos en los algoritmos, garantizar la transparencia en el procesamiento de datos y promover la seguridad en la operación de sistemas industriales. Además, se busca minimizar el impacto ambiental a través del uso sostenible de los recursos y el cumplimiento de normativas ambientales (International Organization for Standardization, 2015).

1.4.5. Marco Contextual

1.4.5.1. Antecedentes sobre la Manufactura Flexible y Sistemas de Automatización Modular

La manufactura flexible surge como respuesta a las demandas actuales de la industria, que requieren de sistemas de producción ágiles y adaptativos para competir en un mercado cada vez más cambiante y exigente. A diferencia de los sistemas tradicionales de producción en masa, que tienden a ser rígidos y especializados, los sistemas de manufactura flexible (SMF) permiten a las empresas modificar sus procesos y ajustar sus líneas de producción en función

de variaciones en la demanda, personalización del producto y otras condiciones del mercado (Groover, 2020).

En Colombia, la falta de profesionales en áreas clave como la automatización y la manufactura flexible continúa siendo un desafío significativo para la competitividad del sector industrial. Esta carencia de personal especializado impacta directamente en la capacidad de innovación y productividad del país. En este contexto, la capacitación de estudiantes mediante la implementación de sistemas como los MPS es una respuesta directa a la necesidad de formar profesionales con las competencias adecuadas para enfrentar estos retos tecnológicos (Ministerio del Trabajo, 2022; Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2023).

1.5. Metodología

1.5.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva-experimental, ya que se centra en describir los sistemas MPS de Festo, sus componentes y su aplicación en procesos de manufactura flexible. Se abordarán en detalle sus características, configuración y funcionamiento, documentando su integración en el contexto educativo. Además, la investigación trasciende la descripción teórica al poner en funcionamiento los módulos MPS, mediante la realización de pruebas y validaciones que aseguren su correcto desempeño.

1.5.2. Línea y sublínea del grupo de investigación

Este proyecto se enmarca en la modalidad de "Trabajo de Investigación" dentro de la línea de "Electrónica, Automatización y Control". El enfoque del proyecto es investigar y desarrollar procesos de manufactura flexible mediante el uso de módulos MPS de Festo, con el objetivo de integrar soluciones tecnológicas avanzadas en entornos educativos. La investigación abarca tanto el análisis teórico como la implementación práctica, incluyendo pruebas y validaciones para asegurar el funcionamiento adecuado de los sistemas automatizados en el contexto educativo.

1.5.3. Requerimientos

Para el desarrollo de este proyecto solo se hará uso de cuatro estaciones modulares de Festo las cuales son:

- Distribution Station (estación de distribución)
- Testing Station (estación de verificación)
- Handling station (estación de manipulación)
- Sorting station (estación de clasificación)

Las estaciones cuentan con PLCs Siemens S7-300, por otro lado, la programación se hará con el lenguaje de programación de GRAFCET y su comunicación será por medio de PROFINET

Los softwares para utilizar son:

- TIA Portal V17
- FluidSim neumática
- EZOPC
- Plc-sim

El proyecto se llevará a cabo en las instalaciones del Sena sede Pasto, en el laboratorio de mecatrónica.

1.5.4. Descripción metodológica

1.5.4.1. Fase 1: Investigación y análisis de metodologías

En esta fase se investigan las metodologías de manufactura flexible y se analizan las características de los módulos MPS de Festo. El objetivo es identificar los enfoques adecuados para aplicar en los procesos de automatización modular, proporcionando una base sólida para el diseño posterior.

1.5.4.2. Fase 2: Diseño y generación de operaciones de automatización

Se diseñan las operaciones de manufactura flexible que serán implementadas con los módulos MPS. Esto incluye la configuración de hardware y software, la programación de los módulos y la simulación de los procesos para garantizar su viabilidad antes de las pruebas físicas.

1.5.4.3. Fase 3: Pruebas y validación de los módulos MPS

Se realizan pruebas en los módulos MPS para validar su funcionamiento dentro del sistema de manufactura flexible. Las pruebas incluyen ajustes y optimizaciones para asegurar que los módulos operen correctamente y de forma eficiente en condiciones reales.

1.5.4.4. Fase 4: Documentación y presentación de resultados

Finalmente, se elabora el informe técnico del proyecto, documentando todo el proceso, las pruebas y los resultados.

1.5.5. Validez interna de la investigación

La validación del proyecto se llevará a cabo en cuatro etapas principales para garantizar resultados confiables y consistentes. Primero, se realizarán pruebas individuales de cada componente, como sensores y actuadores, utilizando herramientas como SimBox para simular entradas y salidas del PLC, clasificándolos según su estado (funcional, calibrado o reemplazado). Luego, se integrarán los componentes en cada estación, verificando la consistencia de los flujos de datos y señales mediante rutinas programadas en el PLC y ajustando cualquier discrepancia. En la validación funcional, se simularán escenarios operativos reales para evaluar indicadores clave de desempeño (KPIs) como la tasa de error. Por último, se presentarán los resultados a los grupos de interés mediante demostraciones prácticas, recopilando su retroalimentación para realizar ajustes finales y confirmar que el sistema cumple con los objetivos y requisitos establecidos.

2. Presentación de resultados

2.1. Resultados de acuerdo con objetivos

2.1.1. *Resultados del Primer Objetivo: Análisis de la Metodología en Procesos Flexibles de Sistemas MPS*

2.1.1.1. **Búsqueda de información**

Para profundizar en las características y el funcionamiento de cada una de las estaciones MPS de Festo, se llevó a cabo una investigación en la que se consultaron manuales y archivos proporcionados por el fabricante. Estos documentos contienen información detallada sobre el uso adecuado de cada estación, incluyendo sus componentes, accesorios y características específicas de funcionamiento. A partir de esta información, se logró comprender en detalle el proceso de programación y el funcionamiento integral de cada estación, así como su interrelación dentro de un sistema de manufactura flexible.

2.1.1.2. **Identificación de entradas y salidas**

Para identificar las entradas y salidas de los componentes electropneumáticos de cada módulo, se utilizó un dispositivo denominado Simulation Box (IO sim). Este dispositivo cuenta con varias interfaces físicas, que permiten simular y monitorear el estado de entradas y salidas, facilitando así la programación de los módulos en el PLC.

Figura 11

Simulation Box (IO sim)



Fuente: Festo Didactic, 2015.

En la Figura 11 se observa el diseño de la Simulation Box, que se compone de dos columnas principales: la primera columna contiene LEDs que representan las entradas del PLC, mientras que la segunda columna está formada por interruptores que actúan como salidas. Al activar un interruptor, se energiza un solenoide que, a su vez, acciona un actuador. Durante el movimiento del actuador, se activan y desactivan sensores que, al estar conectados a los LEDs, se iluminan y permiten observar la dirección y el estado de las señales en tiempo real. El dispositivo se conecta donde iría el PLC además de que se tiene que conectar a una fuente de poder de 24 voltios.

Gracias al Simbox (Simulation Box), fue posible identificar las entradas y salidas de cada estación, así como los componentes que las conforman. Para clasificar dichos componentes, se realizó un registro detallado, organizado y presentado en las tablas 1, 2, 3 y 4, de la siguiente manera:

Tabla 1

Componentes de estación de distribución

Dirección	Ítem	Identificación	Descripción
I0.1	Sensor de proximidad	1B1	Cilindro de recamara retraído
I0.2	Sensor de proximidad	1B2	Cilindro de recamara extendido
I0.4	Micro interruptor	3S1	Brazo giratorio en siguiente estación
I0.5	Micro interruptor	3S2	Brazo giratorio en recamara
Q0.0	Solenoide (válvula 3/2, normalmente cerrada)	3Y1	Mueve brazo giratorio a la siguiente estación
Q0.1	Solenoide (válvula 2/2, normalmente cerrada)	2Y1	Enciende y apaga succión
Q0.4	Solenoide (válvula 3/2, normalmente cerrada)	3Y2	Mueve brazo giratorio a la recamara
Q0.5	Solenoide (válvula 5/2)	1Y1	Extiende y retrae cilindro de la recamara

Tabla 2*Componentes de estación de verificación*

Dirección	Ítem	Identificación	Descripción
I0.0	Sensor óptico	B2	Revisión de material de la pieza
I0.1	Sensor capacitivo	PART_AV	Revisión de pieza disponible
I0.2	Sensor óptico	B1	Barrera de seguridad
I0.4	Interruptor de proximidad inductivo	1B1	Actuador elevador abajo
I0.5	Interruptor de proximidad inductivo	1B2	Actuador elevador arriba
I0.6	Sensor de proximidad	2B1	Sensor de cilindro de empuje
Q0.0	Solenoides (válvula 3/2, normalmente cerrada)	1Y2	Mueve elevador hacia abajo
Q0.1	Solenoides (válvula 3/2, normalmente cerrada)	1Y1	Mueve elevador hacia arriba
Q0.3	Solenoides (válvula 5/2)	3Y1	Enciende y apaga el aire de la rampa
Q0.5	Solenoides (válvula 5/2)	2Y1	Extiende y retrae el cilindro de empuje

Tabla 3*Componentes estación de manipulación*

Dirección	Ítem	Identificación	Descripción
I0.1	Sensor de proximidad	1B1	Brazo en posición izquierda
I0.2	Sensor de proximidad	1B2	Brazo en posición derecha
I0.3	Sensor de proximidad	1B3	Brazo en posición central
I0.5	Sensor de proximidad	2B2	Cilindro elevador de pinza arriba
I0.6	Sensor de proximidad	2B1	Cilindro elevador de pinza abajo
I0.7	Barrera de luz	IP_FL	Barrera de luz hacia la siguiente estación
Q0.0	Solenoide (válvula 5/2)	2Y1	Extiende y retrae el cilindro elevador
Q0.1	Solenoide (válvula 5/2)	3Y1	Abre y cierra la pinza
Q0.5	Solenoide (válvula 3/2, normalmente cerrada)	1Y1	Mueve el brazo grúa hacia estación anterior
Q0.6	Solenoide (válvula 3/2, normalmente cerrada)	1Y2	Mueve el brazo grúa estación siguiente

Tabla 4*Componentes estación de clasificación*

Dirección	Ítem	Identificación	Descripción
I0.0	Sensor óptico	PART-AV	Pieza disponible
I0.2	Sensor Inductivo	B2	Sensor inductivo chequeo materiales
I0.3	Sensor óptico	B3	Sensor óptico para chequeo de materiales
I0.1	Sensor óptico	B4	Una rampa está llena
I0.5	Sensor de proximidad	1B1	Interruptor uno para pieza roja está en posición trasera
I0.4	Sensor de proximidad	1B2	Interruptor uno para pieza roja está en posición delantera
I0.6	Sensor de proximidad	2B1	Interruptor dos para pieza metálica está en posición trasera
I0.7	Sensor de proximidad	2B2	Interruptor dos para pieza metálica está en posición delantera
Q0.0	Banda	M1	Relés del motor transportador
Q0.1	Solenoides (válvula 5/2)	3Y1	Solenoides del cilindro de pare
Q0.3	Solenoides (válvula 5/2)	2Y1	Solenoides del cilindro interruptor dos (Plateada)
Q0.4	Solenoides (válvula 5/2)	1Y1	Solenoides del cilindro interruptor uno (Roja)

Tanto la tabla 1, como las tablas 2, 3 y 4 presentan una clasificación detallada de la información necesaria para llevar a cabo la programación, ajuste o modificación de cada estación. Esta organización no solo facilita la implementación de cambios en el software, sino que también permite una interacción didáctica y práctica con el hardware, promoviendo un enfoque integral en el manejo de los sistemas.

La información contenida en las tablas incluye:

1. Dirección: Identifica la ubicación específica del componente y si se trata de una entrada, salida o memoria.
2. Ítem: Registra el nombre del componente

3. Identificación: Asigna una etiqueta al componente
4. Descripción: Proporciona una breve descripción de la función que realiza el componente.

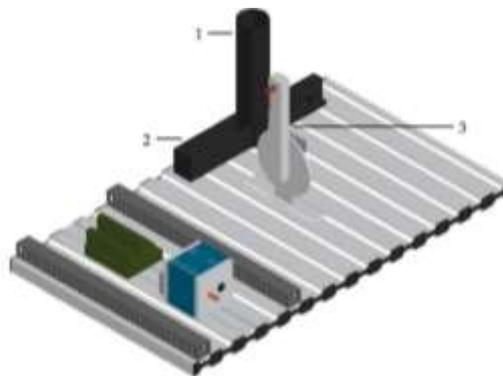
2.1.2. Resultados del Segundo Objetivo: Implementación de Operaciones de Automatización con Módulos MPS

2.1.2.1. Descripción de estaciones modulares de Festo

2.1.2.1.1. Distribution Station (estación de distribución)

Figura 12

Estación de distribución



Fuente: Festo Didactic GmbH & Co, 2002.

La estación de distribución de Festo está diseñada para transferir piezas de manera autónoma a otras estaciones dentro de un proceso de manufactura. Esta estación cuenta con tres componentes principales, como se encuentra en la figura 12:

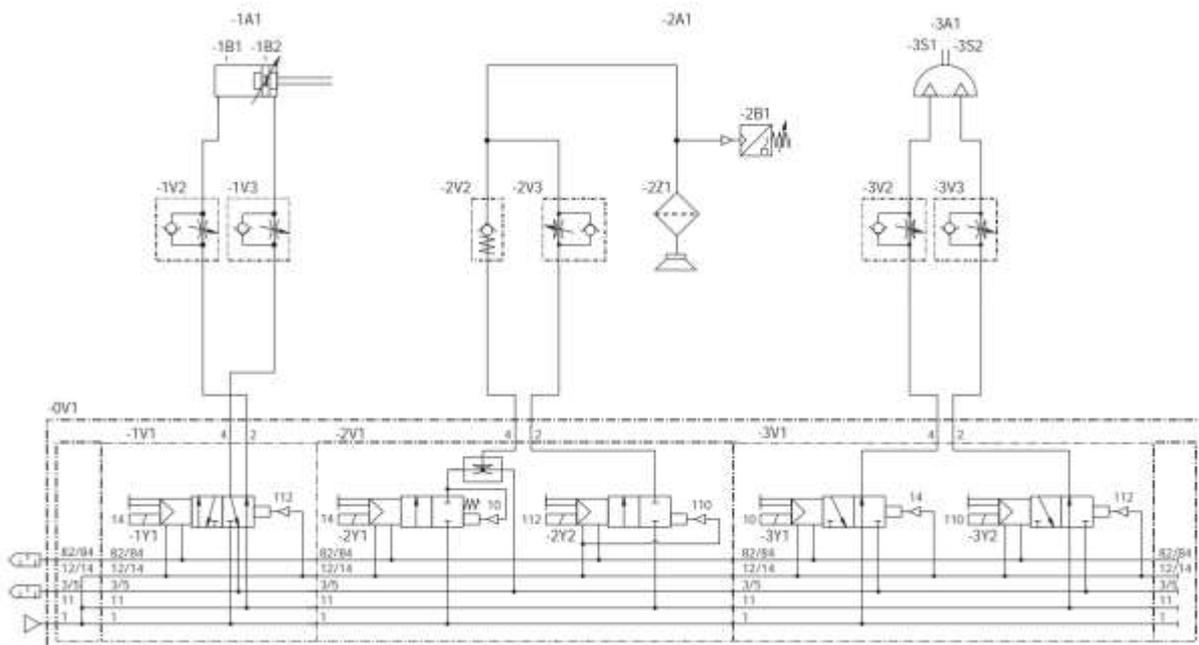
1. una zona de llenado
2. cámara de posicionamiento
3. brazo de transferencia

A continuación, se presenta el diagrama electropneumático que forma parte de esta estación, con el objetivo de proporcionar una mejor comprensión de sus componentes, como se muestra

en la figura 13, para conocer el diagrama de circuitos de la estación de distribución revisar anexos A y B.

Figura 13

Diagrama electroneumático de estación de distribución



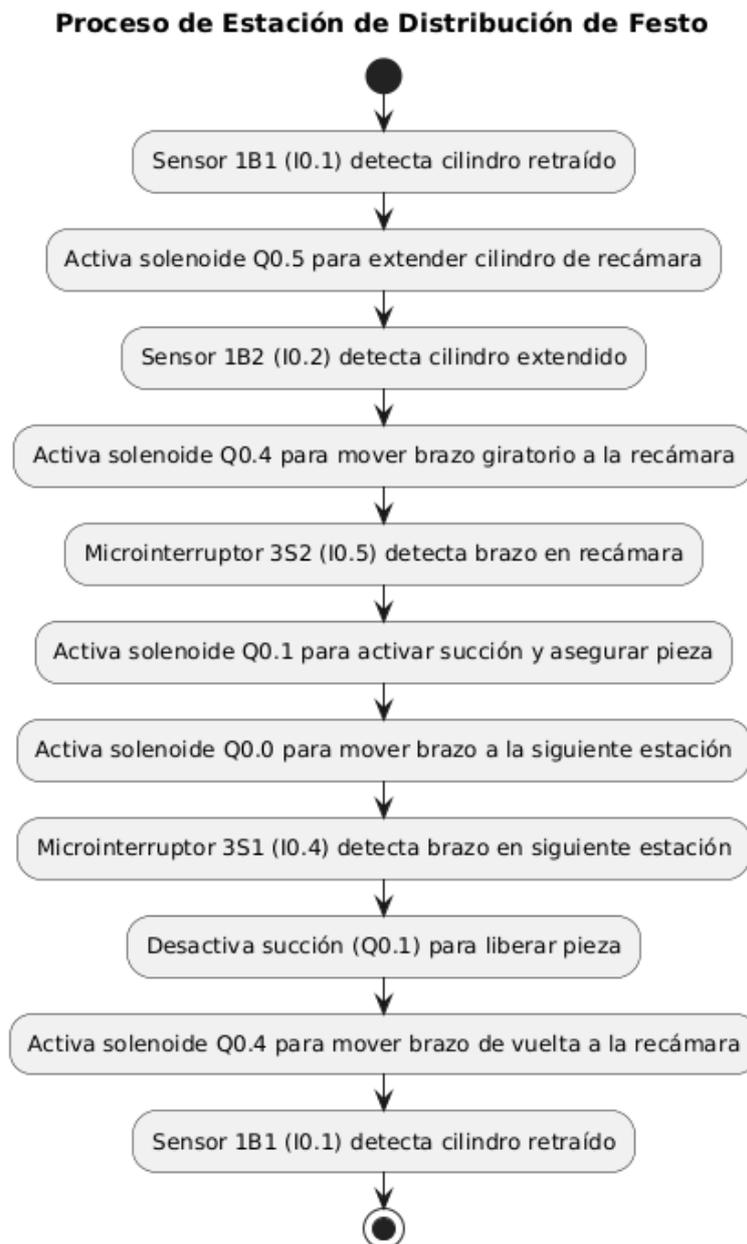
Fuente: Festo Didactic GmbH & Co, 2001.

La estación de distribución cuenta con tres componentes principales como se muestra en la figura 13: una zona de llenado, una cámara de posicionamiento y un brazo de transferencia. En la zona de llenado, un cilindro permite apilar las piezas de forma vertical, garantizando que no se obstruya el flujo de materiales. Al iniciar el ciclo, una señal activa un cilindro de doble efecto (-1A1), que desplaza una pieza desde el cilindro de llenado hasta la cámara de posicionamiento. Una vez la pieza está en su lugar, el cilindro regresa a su posición inicial. El brazo de transferencia, que utiliza un actuador neumático semirrotativo (-3A1), se activa y se mueve hacia la pieza. Cuando el brazo está en posición, se activa una ventosa (-2A1), que sujeta la pieza mediante vacío. Al detectar que la ventosa ha asegurado la pieza, el brazo la transporta a la siguiente estación. Finalmente, la ventosa se desactiva, liberando la pieza en la nueva posición.

Para ilustrar este proceso de manera más clara y con base en los datos obtenidos en la tabla 1, se ha elaborado el diagrama de flujo que se presenta a continuación. Este diagrama se encuentra en la figura 14.

Figura 14

Diagrama de flujo de estación de distribución

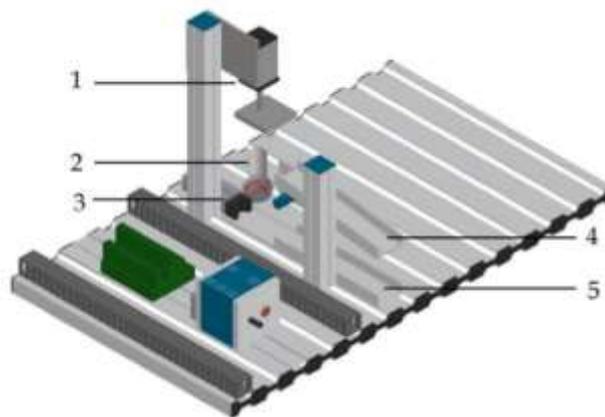


2.1.2.1.2. *Testing Station (estación de verificación)*

La estación de verificación de Festo tiene como función inspeccionar el material y decidir si es apto para continuar en el proceso o si debe ser rechazado. Esta estación puede configurarse para clasificar y desechar piezas defectuosas, permitiendo que solo las piezas adecuadas avancen a la siguiente etapa del proceso.

Figura 15

Estación de verificación

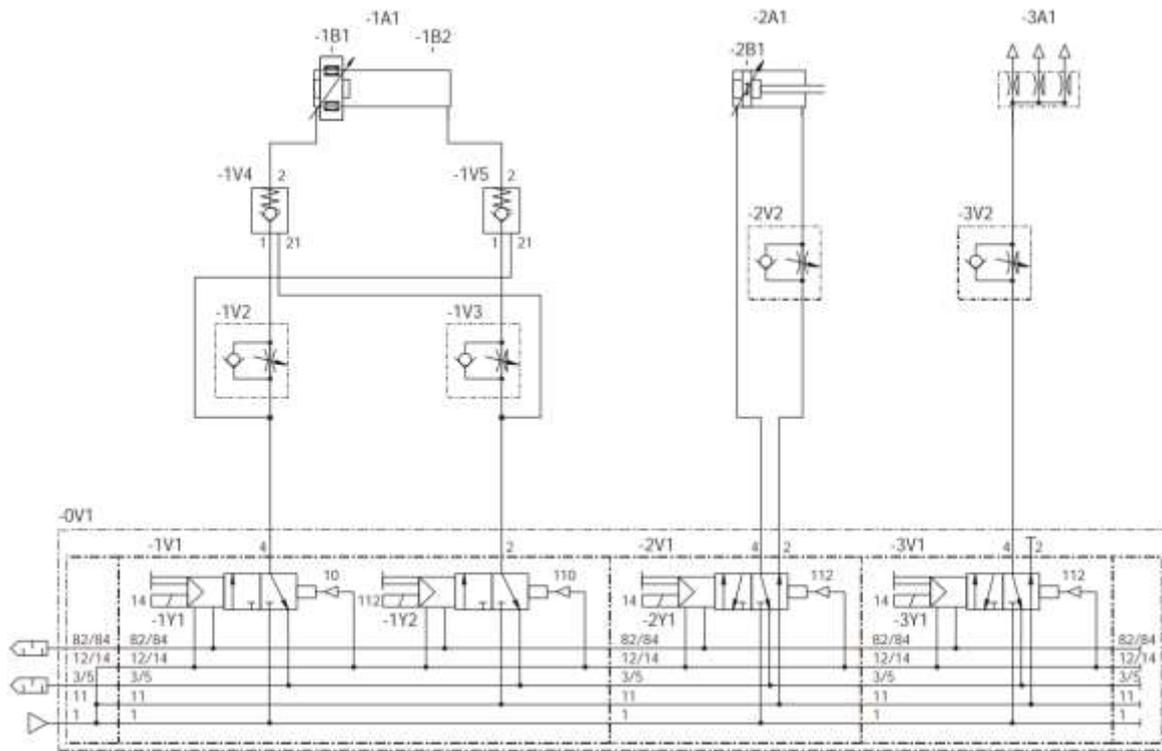


Fuente: Festo Didactic GmbH & Co, 2002.

Los principales componentes de esta estación, como se muestran en la figura 15 son los siguientes:

1. Elevador
2. Zona de testeo
3. Cilindro de empuje
4. Rampa de transporte de las piezas aprobadas
5. Rampa de rechazo

A continuación, se presenta el diagrama electroneumático que forma parte de esta estación, con el objetivo de proporcionar una mejor comprensión de sus componentes, como se muestra en la figura 16, para conocer le diagrama de circuitos de la estación de verificación revisar anexos C y D.

Figura 16*Diagrama electroneumático de estación de verificación*

Fuente: Festo Didactic GmbH & Co, 2002.

El proceso comienza cuando la pieza llega a la zona de testeo, donde los sensores evalúan su calidad. Si la pieza no cumple con los requisitos, se activa el cilindro de empuje (-2A1), que la redirige hacia la rampa de rechazo. En cambio, si la pieza es aprobada, se activa el elevador (-1A1), para levantarla hasta la altura de la rampa que la conecta con la siguiente estación. En ese punto, se activa el cilindro de empuje (-2A1) y la rampa (-3A1), libera aire para facilitar el deslizamiento de la pieza hacia la próxima estación. Una vez completado el proceso, el elevador desciende y el cilindro de empuje se retrae, quedando lista la estación para verificar la siguiente pieza.

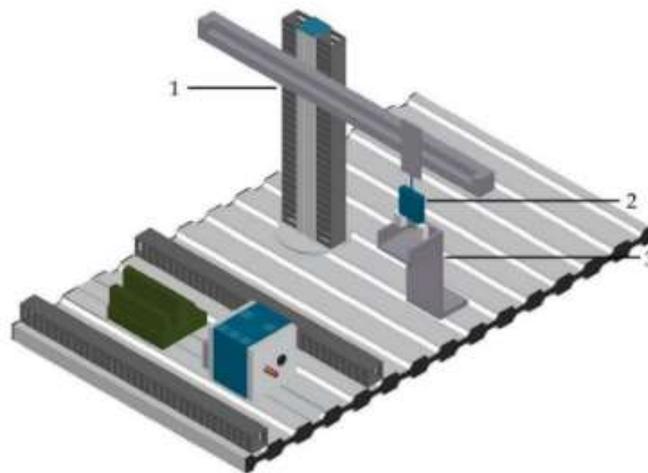
Para ilustrar este proceso de manera más clara y con base en los datos obtenidos en la tabla 2, (Componentes de estación de verificación), se ha elaborado el diagrama de flujo el cual se puede apreciar en el anexo E.

2.1.2.1.3. *Handling station (estación de manipulación)*

La estación de manipulación de Festo está diseñada para mover piezas de manera autónoma y precisa dentro de la línea de producción. En la planta de Festo, esta estación actúa como un punto intermedio entre la banda transportadora y otras estaciones, como las de procesamiento o clasificación, facilitando el flujo continuo de materiales.

Figura 17

Estación de manipulación



Fuente: Festo Didactic GmbH & Co, 2002.

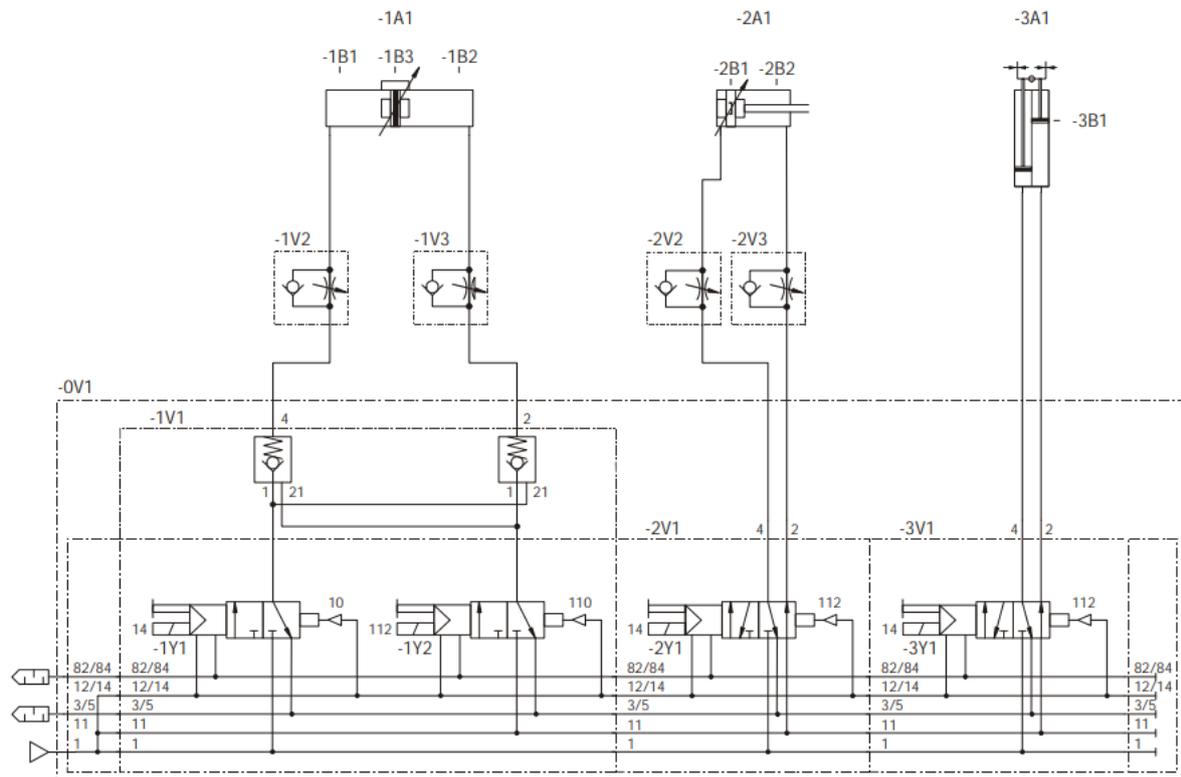
Los principales componentes de esta estación, como se muestran en la figura 17 son los siguientes:

1. Brazo grúa montado sobre un riel
2. Pinza o garra
3. Zona de recepción de pieza

En la figura 18, se presenta el diagrama electropneumático que forma parte de esta estación, con el objetivo de proporcionar una mejor comprensión de sus componentes, como se muestra a continuación.

Figura 18

Diagrama electroneumático de estación de manipulación



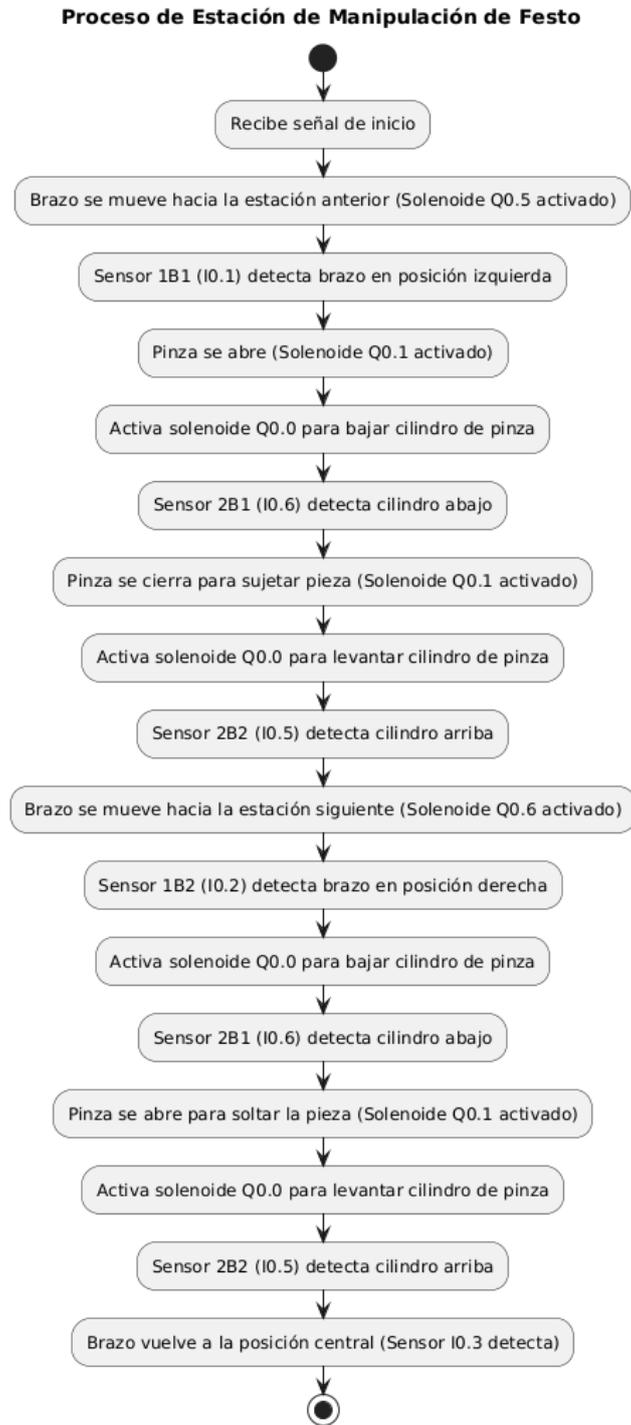
Fuente: Festo Didactic GmbH & Co, 2002.

El proceso comienza cuando se recibe una señal de inicio. El brazo grúa (-1A1), se desplaza hasta la posición de la estación anterior, y una vez en posición, la pinza (-3A1), se abre para permitir que el cilindro neumático (-2A1), se extienda y baje la pinza. Al alcanzar la pieza, la pinza se cierra, sujetando la pieza, y el cilindro se retrae, levantando la pinza. A continuación, el brazo grúa se mueve hacia la siguiente estación, donde el cilindro nuevamente se extiende para bajar la pieza. Al llegar a la posición correcta, la pinza se abre para liberar la pieza, y una vez hecho esto, el cilindro se retrae, completando el ciclo.

Para ilustrar este proceso de manera más clara y con base en los datos obtenidos en la tabla 3 (Componentes de estación de manipulación), se ha elaborado el diagrama de flujo que se presenta a continuación. Este diagrama se encuentra en la figura 19, para conocer le diagrama de circuitos de la estación de manipulación revisar anexos F y G.

Figura 19

Diagrama de flujo estación manipulación

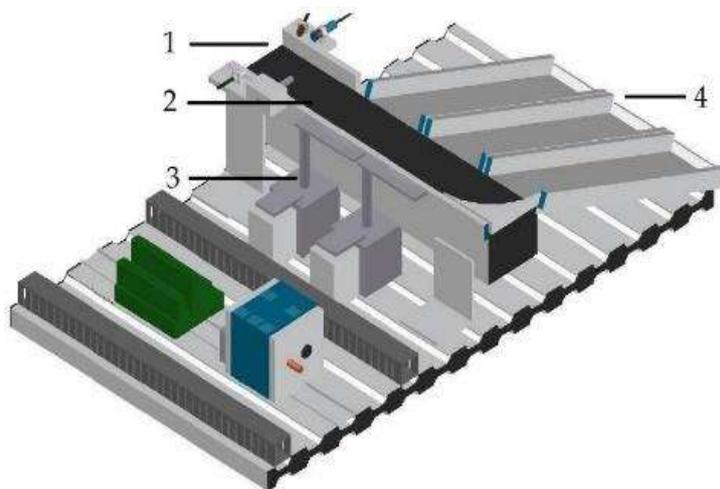


2.1.2.1.4. *Sorting station (estación de clasificación)*

La estación de clasificación de Festo está diseñada para identificar y separar piezas, asegurando que cada una tome el camino correcto dentro del proceso de producción. Esta estación desempeña un papel crucial en la organización de materiales, preparando las piezas para fases posteriores como el ensamblaje o el embalaje.

Figura 20

Estación de clasificación



Fuente: Festo Didactic GmbH & Co, 2002.

Los principales componentes de esta estación, como se muestran en la figura 20 son los siguientes:

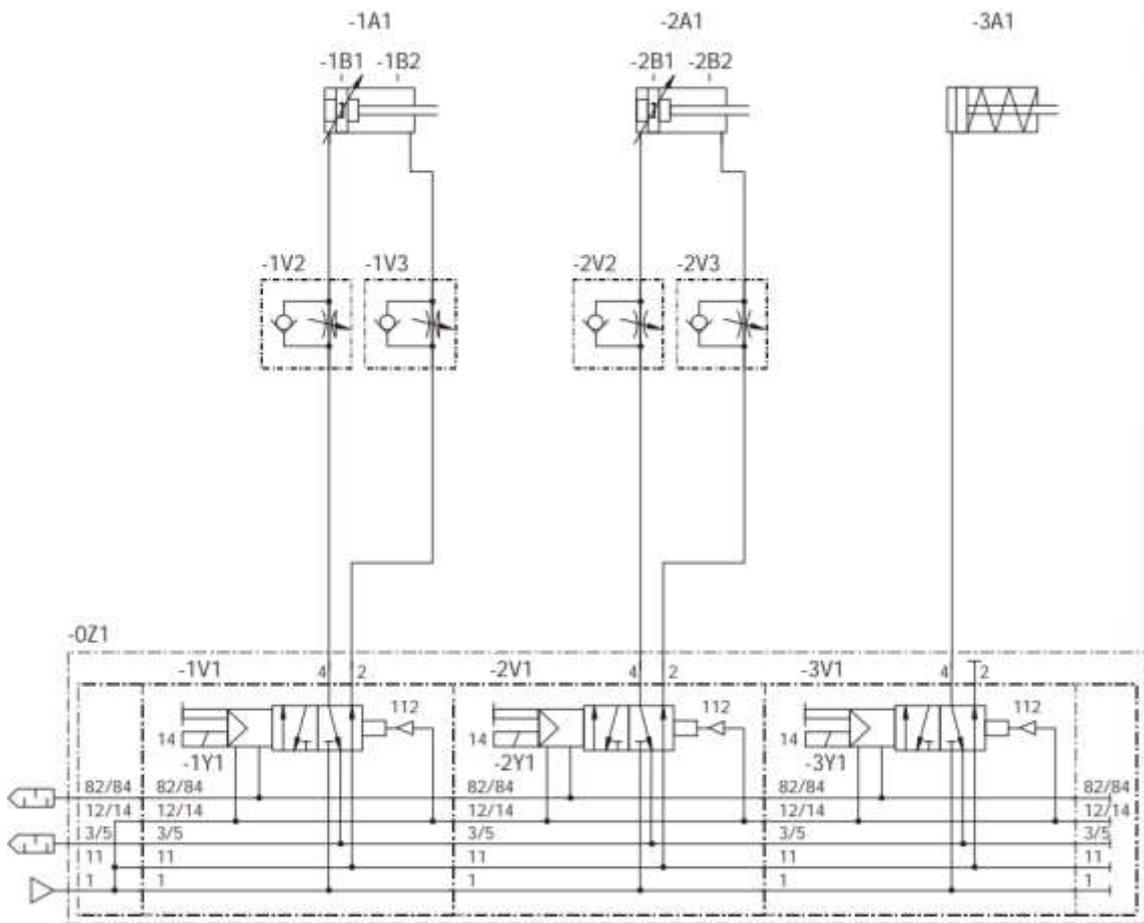
1. Sensores ópticos y capacitivos
2. Banda transportadora
3. Cilindros de guía y desviación
4. Rampas de almacenamiento

Los sensores detectan la presencia, color y material de cada pieza que pasa por la estación, lo que permite clasificar y redirigir las piezas según sus características. Las piezas que cumplen los criterios establecidos son enviadas a una de las tres rampas laterales, mientras que las que no cumplen son separadas, asegurando un flujo eficiente en la producción.

A continuación, se presenta el diagrama electroneumático que forma parte de esta estación, con el objetivo de proporcionar una mejor comprensión de sus componentes, como se muestra en la figura 21, para conocer le diagrama de circuitos de la estación de clasificación revisar anexos H e I.

Figura 21

Diagrama electroneumático estación de clasificación



Festo Didactic GmbH & Co, 2002.

El proceso comienza con la activación de la banda transportadora (M1). Cuando una pieza es detectada (sensor óptico), se extiende un cilindro de parada (-3A1), para que los sensores puedan identificar sus características. Si la pieza es de color rojo, el cilindro de parada se retrae y se activa un primer cilindro (-1A1), que la dirige hacia la primera rampa. Si la pieza es de color plateado, el cilindro de parada se desactiva y un segundo cilindro (-2A1), la envía hacia

la segunda rampa. Si la pieza es de color negro, el cilindro de parada se retrae y la pieza continúa hasta el final de la banda, donde será dirigida a la tercera rampa. Además, cuenta con un sensor óptico (B4) el cual detiene el proceso cuando se llena una rampa. Así concluye el proceso de clasificación.

Para ilustrar este proceso de manera más clara y con base en los datos obtenidos en la tabla 4 (Componentes de estación de clasificación), se ha elaborado el diagrama de flujo el cual se puede apreciar en el anexo J.

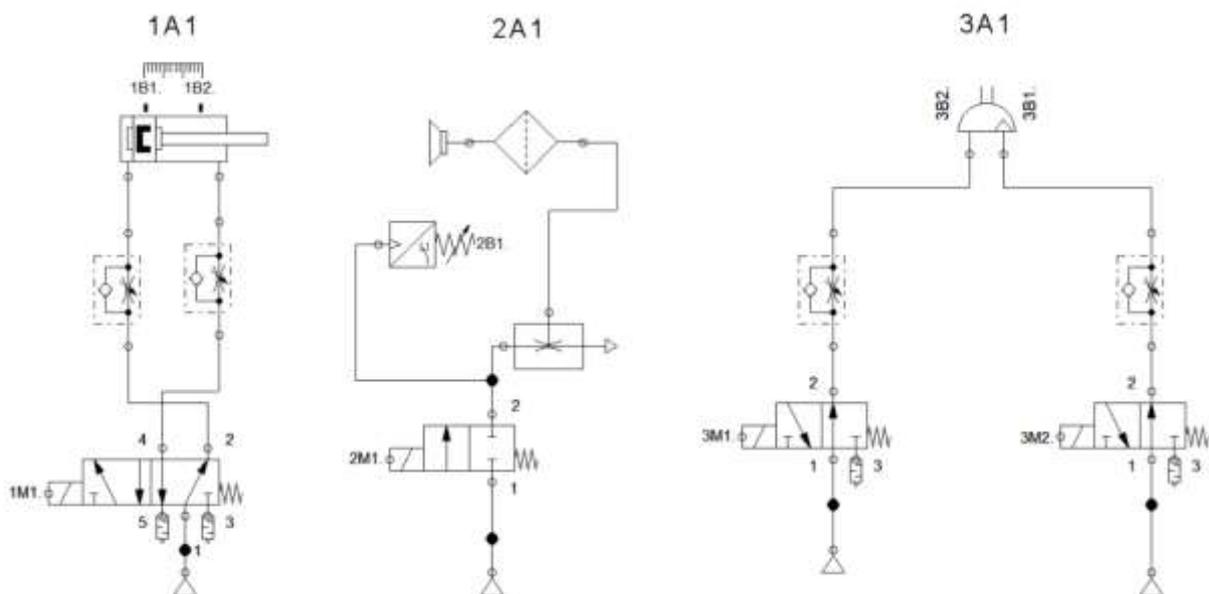
2.1.2.2. Recreación de estaciones en FluidSIM

Tras identificar los componentes electroneumáticos de cada estación, se recrearon virtualmente en el software FluidSIM de Festo, realizando ligeras modificaciones para su correcto funcionamiento en simulación. Estas simulaciones permitieron replicar el funcionamiento de las estaciones de manera remota, protegiendo los equipos físicos de un uso inadecuado. Aunque las simulaciones no eran completamente exactas, facilitaron el aprendizaje del entorno y aceleraron el trabajo fuera del laboratorio.

2.1.2.2.1. Recreación de estación de distribución

Figura 22

Recreación de estación de distribución



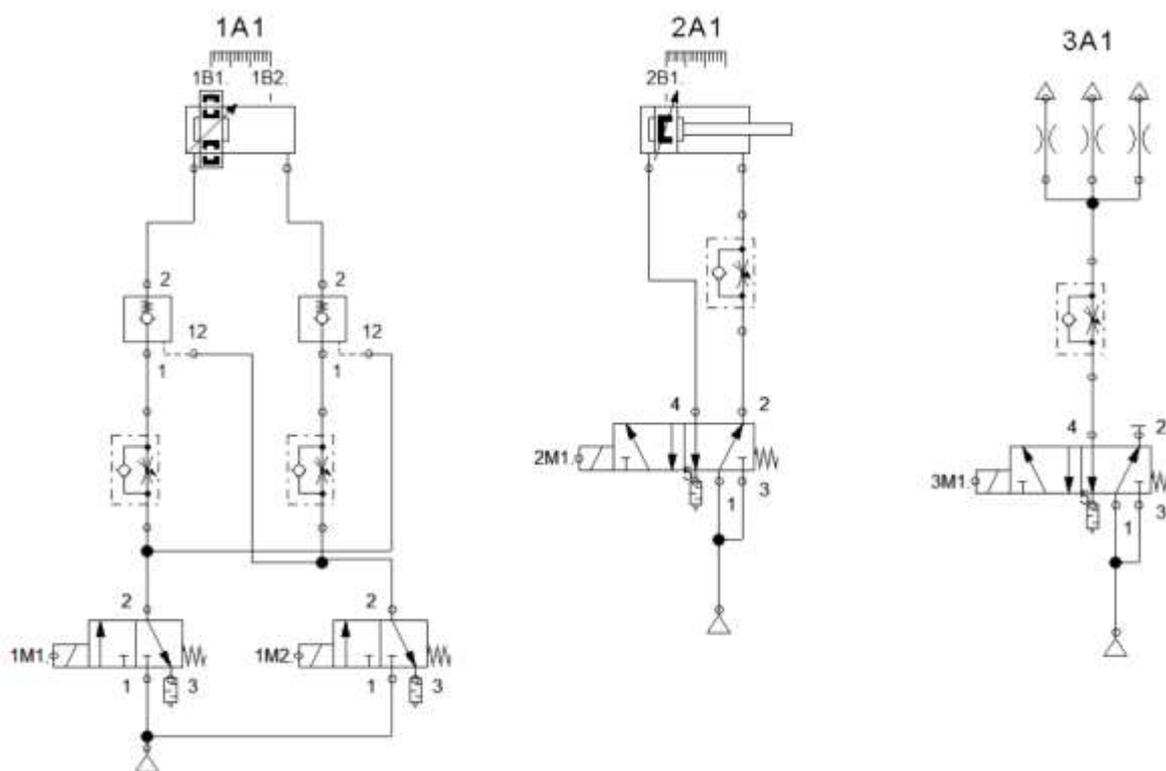
Como se muestra en la figura 22, se replicó la estación de distribución con ligeras modificaciones. Tras completar la simulación, se realizó la identificación y denominación de los componentes, detallada en la tabla 5.

Tabla 5

Denominación de componentes estación de distribución (simulación)

Etiqueta	Componente
1A1	Cilindro de doble efecto
1B1	Final de carrera
1B2	Final de carrera
1M1	Válvula 5/2
2A1	Ventosa
2B1	Sensor de presión
2M1	Válvula 2/2
3A1	Actuador semirotativo
3B1	Final de carrera
3B2	Final de carrera
3M1	Válvula 3/2
3M2	Válvula 3/2
Puerto 1	Entrada de aire
Puertos 2, 4	Salidas
Puertos 3, 5	Escapes
Estranguladoras	Reguladores de flujo de aire

En la tabla 5, se detalla la identificación de los componentes utilizados en la simulación de la estación de distribución.

2.1.2.2.2. *Recreación de estación de verificación***Figura 23***Recreación de estación de verificación*

Como se muestra en la figura 23, se replicó la estación de verificación con ligeras modificaciones. Tras completar la simulación, se realizó la identificación y denominación de los componentes, detallada en la tabla 6.

Tabla 6*Denominación de componentes estación de verificación (simulación)*

Etiqueta	Componente
1A1	Cilindro de doble efecto sin vástago de pistón
1B1	Final de carrera
1B2	Final de carrera
1M1	Válvula 3/2

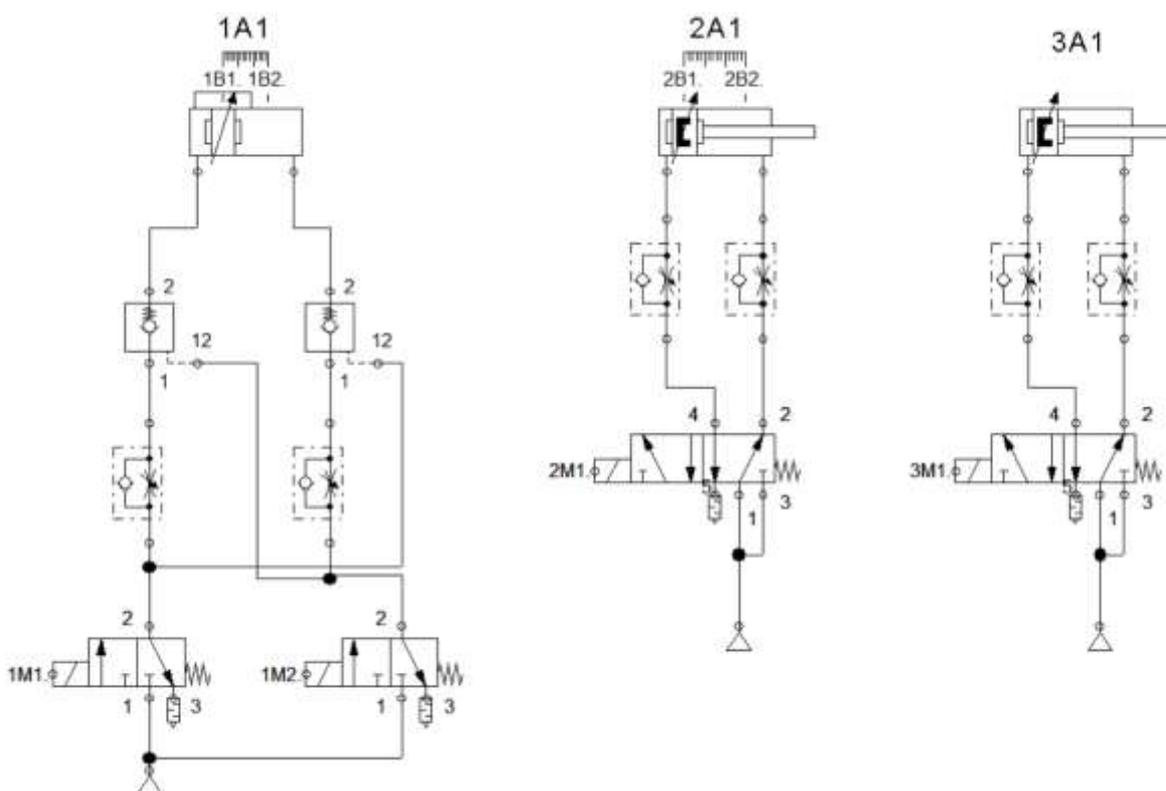
1M2	Válvula 3/2
2A1	Cilindro de doble efecto
2B1	Final de carrera
2M1	Válvula 5/2
3A1	Rampa de aire
3M1	Válvula 5/2
Puerto 1	Entrada de aire
Puertos 2, 4	Salidas
Puertos 3, 5	Escapes
Estranguladoras	Reguladores de flujo de aire

En la tabla 6, se detalla la identificación de los componentes utilizados en la simulación de la estación de verificación.

2.1.2.2.3. Recreación de estación de manipulación

Figura 24

Recreación de estación de manipulación



Como se muestra en la figura 24, se replicó la estación de manipulación con ligeras modificaciones. Tras completar la simulación, se realizó la identificación y denominación de los componentes, detallada en la tabla 7.

Tabla 7

Denominación de componentes estación de manipulación (simulación)

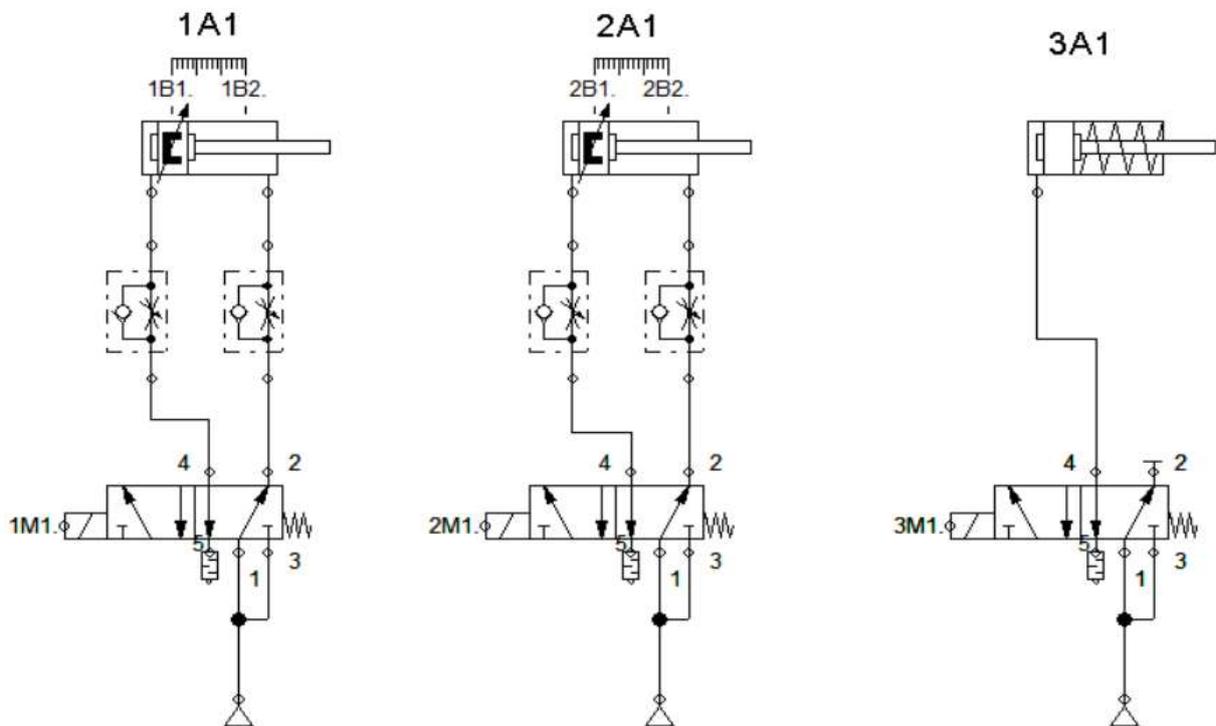
Etiqueta	Componente
1A1	Cilindro de doble efecto sin vástago de pistón
1B1	Final de carrera
1B2	Final de carrera
1M1	Válvula 3/2
1M2	Válvula 3/2
2A1	Cilindro de doble efecto
2B1	Final de carrera
2B2	Final de carrera
2M1	Válvula 5/2
3A1	Cilindro de doble efecto
3M1	Válvula 5/2
Puerto 1	Entrada de aire
Puertos 2, 4	Salidas
Puertos 3, 5	Escapes
Estranguladoras	Reguladores de flujo de aire

En la tabla 7, se detalla la identificación de los componentes utilizados en la simulación de la estación de manipulación.

2.1.2.2.4. *Recreación de estación de clasificación*

Figura 25

Recreación de estación de clasificación



Como se muestra en la figura 25, se replicó la estación de clasificación con ligeras modificaciones. Tras completar la simulación, se realizó la identificación y denominación de los componentes, detallada en la tabla 8.

Tabla 8

Denominación de componentes estación de clasificación (simulación)

Etiqueta	Componente
1A1	Cilindro de doble efecto
1B1	Final de carrera
1B2	Final de carrera

1M1	Válvula 5/2
2A1	Cilindro de doble efecto
2B1	Final de carrera
2B2	Final de carrera
2M1	Válvula 5/2
3A1	Cilindro simple efecto
3M1	Válvula 5/2
Puerto 1	Entrada de aire
Puertos 2, 4	Salidas
Puertos 3, 5	Escapes
Estranguladoras	Reguladores de flujo de aire

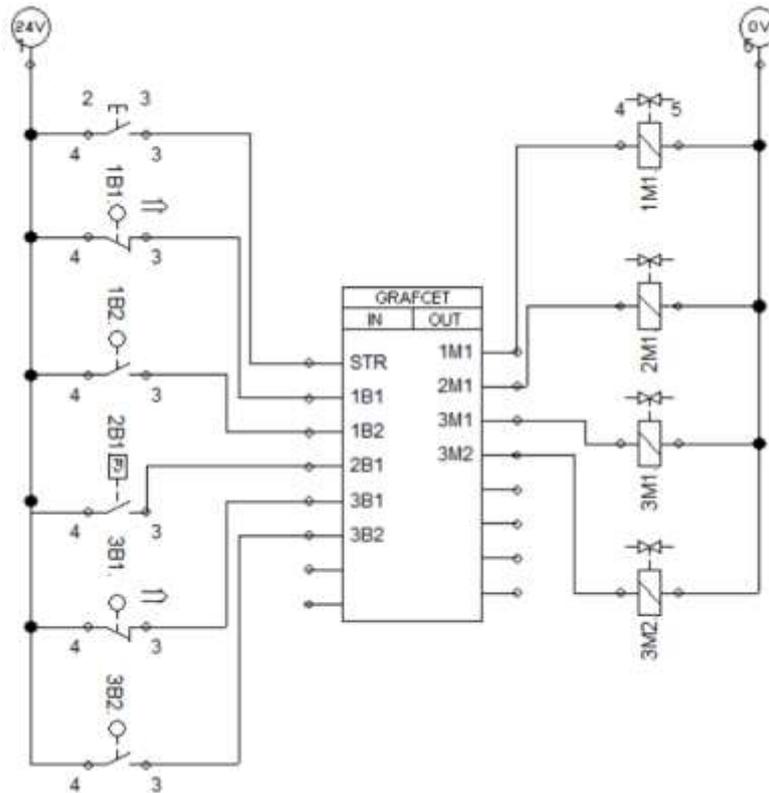
En la tabla 8, se detalla la identificación de los componentes utilizados en la simulación de la estación de clasificación.

La recreación de las estaciones mediante software es fundamental para demostrar el funcionamiento de cada una de ellas. Una vez completada esta etapa, se puede proceder con la programación correspondiente.

2.1.2.3. Simulación de funcionamiento con GRAFCET (FluidSIM)

Tras recrear las estaciones en el software FluidSIM, se procedió a programarlas utilizando el lenguaje de GRAFCET, uno de los lenguajes más didácticos y visuales para la programación de PLCs. Esta programación se basó en los diagramas de flujo específicos de cada estación, permitiendo replicar su funcionamiento en un entorno virtual.

Para programar GRAFCET en FluidSIM, es necesario utilizar un bloque que permita definir las entradas y salidas de la estación simulada, tal como se muestra en la figura 26.

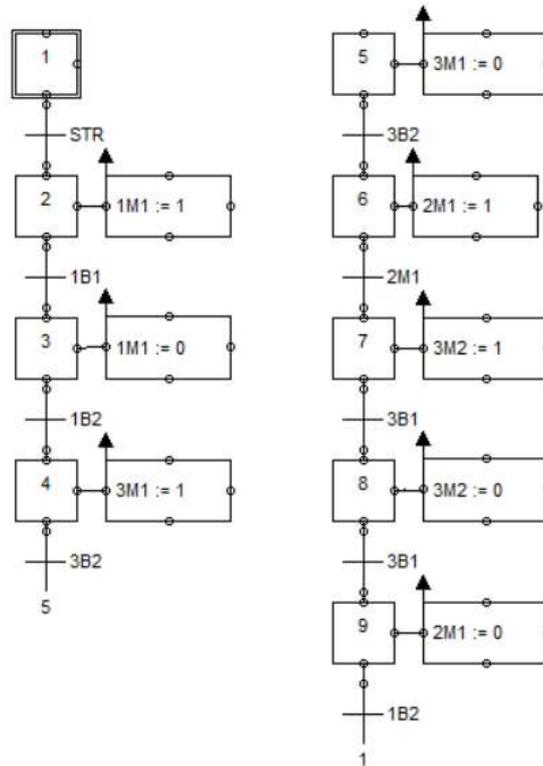
Figura 26*Bloque de entradas y salidas GRAFCET (FluidSIM)*

En la figura 26 se muestra la conexión de las entradas y salidas de la estación, tomando como ejemplo la estación de distribución figura 22. En las entradas (IN) se ubican los sensores y finales de carrera, encargados de enviar las señales. Por su parte, en las salidas (OUT) se configuran los solenoides, responsables de activar o desactivar los actuadores de la estación.

Una vez registradas las entradas y salidas, se puede proceder con la programación. En el lenguaje GRAFCET, la secuencia del proceso se organiza en pasos, transiciones y acciones. Las transiciones representan las condiciones necesarias para avanzar al siguiente paso, mientras que cada paso activa la acción correspondiente.

Figura 27

Ejemplo de programación GRAFCET FluidSIM



Como se observa en la figura 27, y tomando como referencia la figura 14, se llevó a cabo la programación siguiendo la misma secuencia. Este procedimiento se aplica a cada una de las estaciones. Para una revisión más detallada de su funcionamiento, consulte los anexos K y L.

2.1.3. Resultados del Tercer Objetivo: Validación de Funcionamiento de los Módulos MPS mediante Pruebas de Test

2.1.3.1. Simulación de estaciones en TIA Portal y FluidSIM

Tomando como punto de partida las simulaciones de las estaciones realizadas en FluidSIM, se decidió enlazar TIA Portal y FluidSIM para probar los códigos que luego se implementarán en las estaciones reales. Para lograr esta integración, se realizaron ciertos ajustes tanto en los códigos GRAFCET, adaptándolos a los requerimientos de TIA Portal, como en algunos

componentes electroneumáticos de la simulación, con el fin de acercarse lo más posible a los movimientos reales.

Cada estación cuenta con un PLC Siemens S7-300 314C-2 PN/DP, este PLC es una unidad compacta diseñada para aplicaciones de automatización industrial. Este modelo destaca por su versatilidad y capacidad de manejo de diferentes tipos de señales.

Figura 28

PLC Siemens S7-300 314C-2 PN/DP



Fuente: Siemens, 2011.

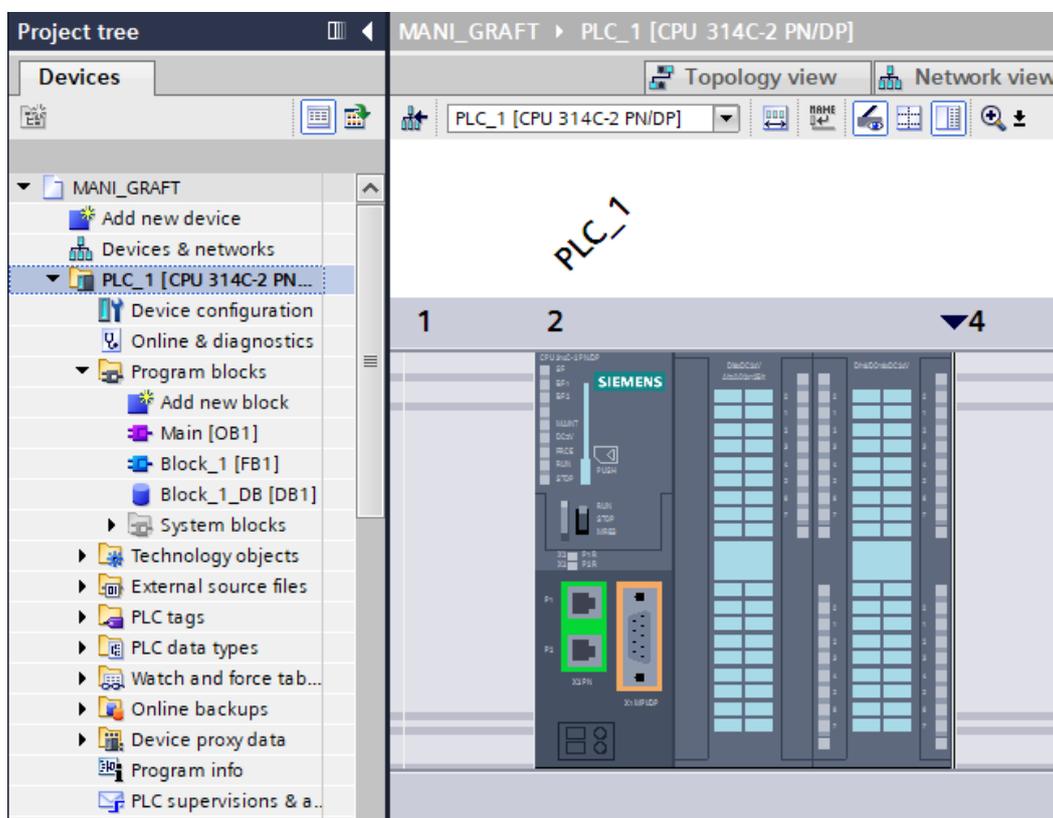
El S7-300 314C-2 PN/DP cuenta con una memoria de trabajo de 192 kB, lo que permite un procesamiento eficiente de datos. En términos de entradas y salidas, el dispositivo incluye 24 entradas digitales (DI), 16 salidas digitales (DO), 4 entradas analógicas (AI) y 2 salidas analógicas (AO). Además, dispone de una entrada para sensor Pt100 y 4 contadores rápidos que pueden operar hasta 60 kHz (Siemens, 2011).

Este PLC está equipado con dos interfaces de comunicación: una interfaz MPI/DP que opera a velocidades de hasta 12 Mbits/s y una interfaz PROFINET que incluye un switch de 2 puertos integrado, permitiendo la conexión a redes Ethernet (Siemens, 2011).

La alimentación del dispositivo es de DC 24V y cuenta con un conector frontal tipo 2x40 polos. Para almacenamiento adicional, se requiere una tarjeta de memoria Micro Memory Card (Siemens, 2011).

Este PLC es ideal para diversas aplicaciones en automatización, ofreciendo flexibilidad y compatibilidad con otros dispositivos de la serie S7-300. Su capacidad para manejar múltiples entradas y salidas lo convierte en una opción robusta para sistemas complejos donde se requiere un control preciso y eficiente.

Figura 29
PLC TIA Portal



El primer paso para establecer la comunicación entre TIA Portal y FluidSIM fue especificar el dispositivo, así como las entradas y salidas que se utilizarán en TIA Portal. En este caso PLC Siemens S7-300 (314C-2 PN/DP), como se observa en la figura 29.

Una vez identificado el PLC, se registran las entradas y salidas para cada estación, asignando a cada una etiqueta, tipo de dato y dirección.

Figura 30

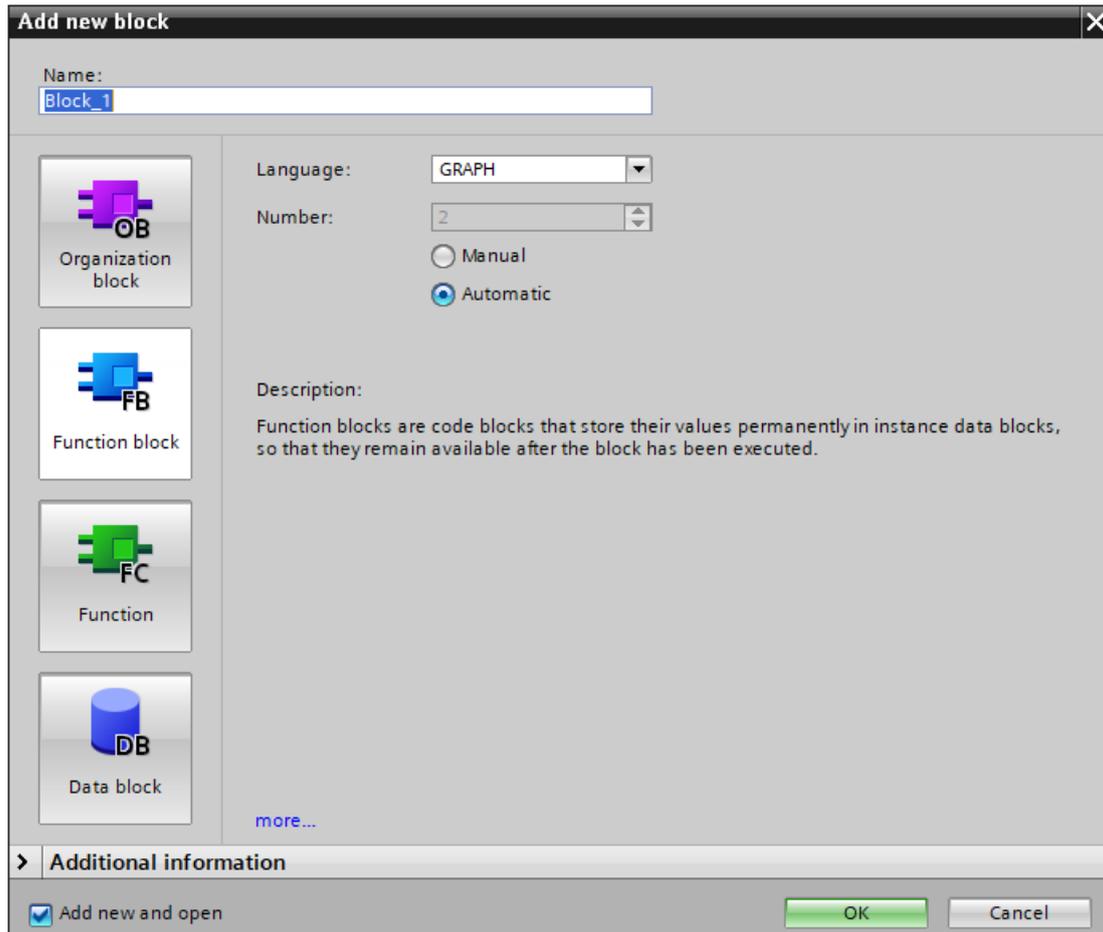
Tabla de etiquetas estación de distribución

PLC tags				
	Name	Tag table	Data type	Address
1	1B1	Default tag table	Bool	%I0.1
2	1B2	Default tag table	Bool	%I0.2
3	3B1	Default tag table	Bool	%I0.4
4	3B2	Default tag table	Bool	%I0.5
5	3M2	Default tag table	Bool	%Q0.4
6	2M1	Default tag table	Bool	%Q0.1
7	3M1	Default tag table	Bool	%Q0.0
8	1M1	Default tag table	Bool	%Q0.5
9	S1	Default tag table	Bool	%I1.0
10	S2	Default tag table	Bool	%I1.1
11	S3	Default tag table	Bool	%I1.2
12	S4	Default tag table	Bool	%I1.3
13	S1N	Default tag table	Bool	%I1.5
14	<Add new>			

En la figura 30, se observa cómo cada etiqueta recibe un nombre descriptivo, se define como dato booleano, y se asigna una dirección que indica si es una entrada o salida. Esta configuración es esencial para garantizar que las señales y acciones programadas se sincronicen correctamente con el PLC.

Para continuar con la programación del código, es necesario crear un nuevo bloque de programación y especificar el lenguaje de trabajo, que en este caso será GRAFCET.

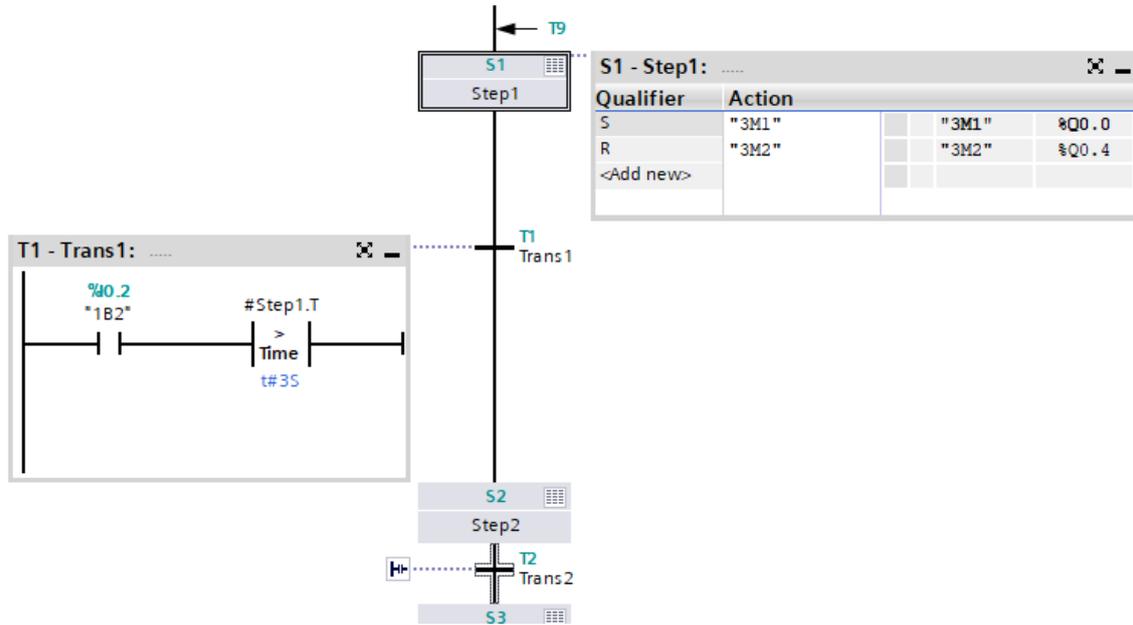
Figura 31

Adición de bloque de programación

Como se muestra en la figura 31 este bloque de programación implementa GRAFCET tomando como referencia las simulaciones realizadas previamente en FluidSIM. El enfoque de la programación en TIA Portal sigue la misma estructura lógica que en FluidSIM, utilizando pasos, transiciones, acciones y saltos. Los pasos representan cada estado del proceso, las transiciones establecen las condiciones necesarias para avanzar al siguiente paso, las acciones ejecutan funciones específicas en cada estado, y los saltos permiten retornar o saltar entre pasos según el flujo definido.

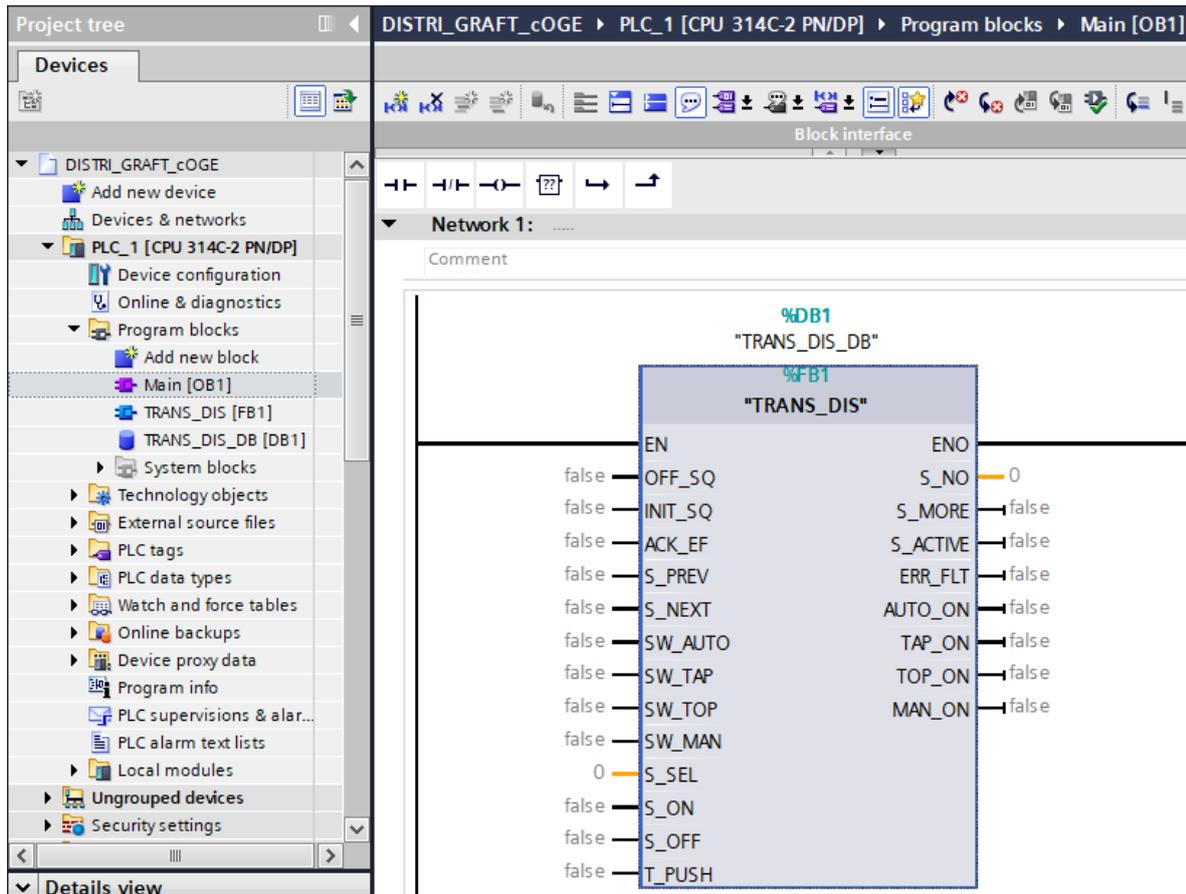
Figura 32

Ejemplo de programación GRAFCET estación de distribución



En la figura 32, se aprecia una parte del código de programación en GRAFCET, para observar de manera detallada revisar anexo M.

Una vez completada la programación en GRAFCET, el siguiente paso es integrar el bloque de código en el bloque principal de programación del proyecto. Para ello, se arrastra el bloque GRAFCET al programa principal, donde queda listo para su ejecución dentro de la secuencia general.

Figura 33*Bloque de programación principal*

Este procedimiento permite que el código GRAFCET forme parte integral de la lógica de control del PLC y se sincronice con el resto de las instrucciones del sistema. Como se puede ver en la figura 33.

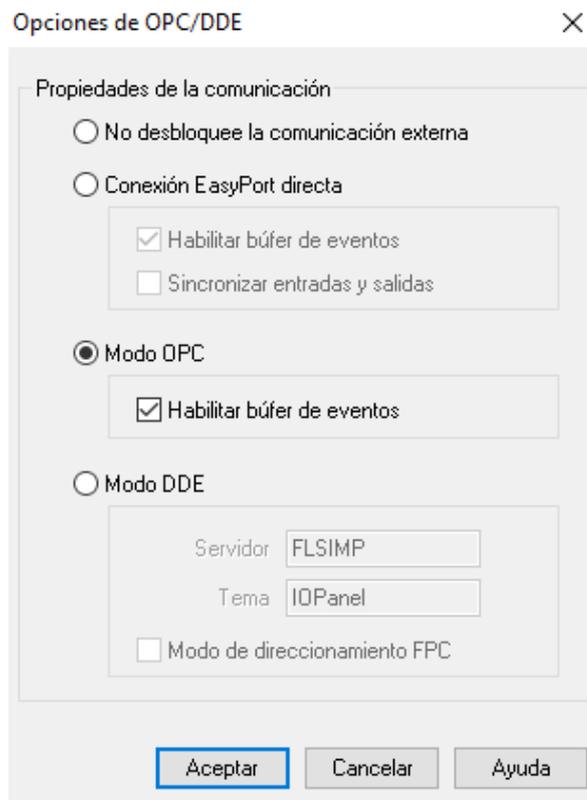
Con la programación finalizada, el siguiente paso es etiquetar los componentes electroneumáticos en FluidSIM, asegurando que cada elemento esté correctamente identificado para facilitar la comunicación y control.

Para establecer la conexión entre TIA Portal y FluidSIM, se empleará el programa EzOPC, una herramienta que permite enlazar ambos entornos de manera efectiva. EzOPC facilita la transmisión de datos en tiempo real entre el software de simulación y el PLC, permitiendo probar y ajustar la programación directamente desde TIA Portal mientras se observa el comportamiento simulado en FluidSIM. Este enlace asegura que la lógica de control

programada en TIA Portal se refleje adecuadamente en los movimientos y acciones de la simulación.

Figura 34

Opciones de OPC/DDE

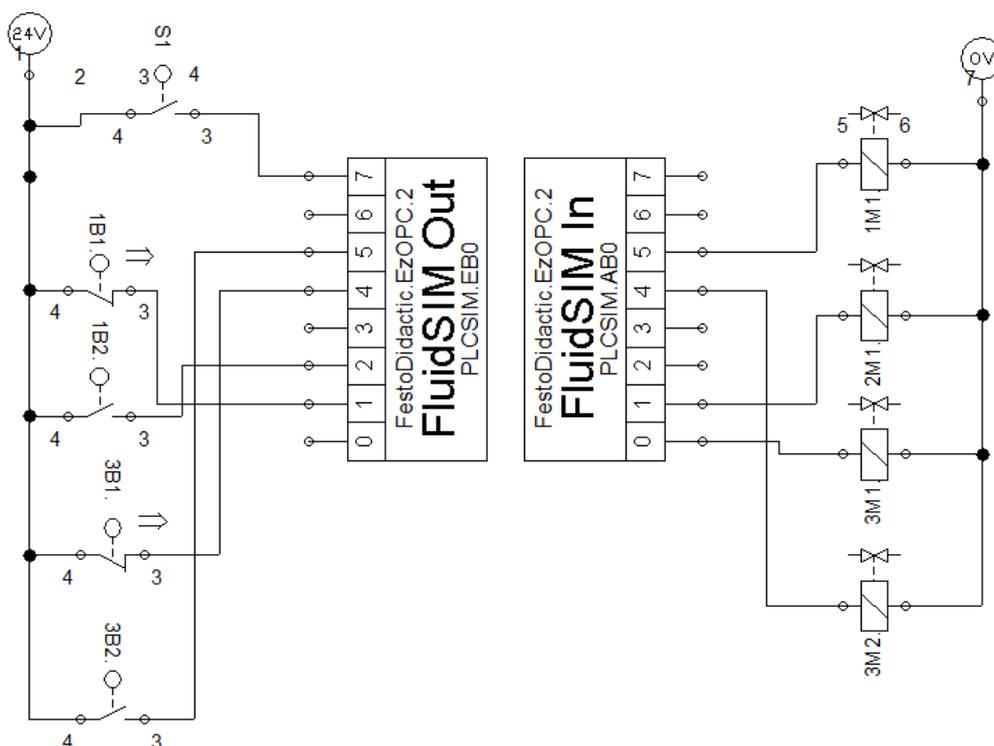


En FluidSIM, es necesario activar la conexión OPC/DDE desde el menú de opciones y habilitar el modo OPC, tal como se muestra en la figura 34 (*Opciones de OPC/DDE*).

Una vez configurada la conexión OPC, se procede a utilizar los puertos de entrada y salida de FluidSIM, donde se conectan los componentes electroneumáticos.

Figura 35

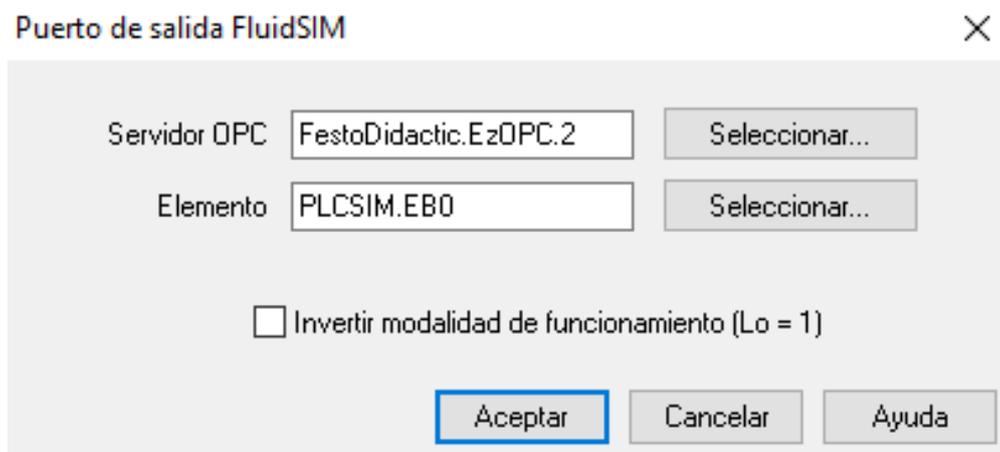
Ejemplo de puertos de entradas y salidas FluidSIM



Como se ve en la figura 35 en este caso, los sensores se asignan a los puertos de entrada, mientras que los solenoides se conectan a los puertos de salida.

Figura 36

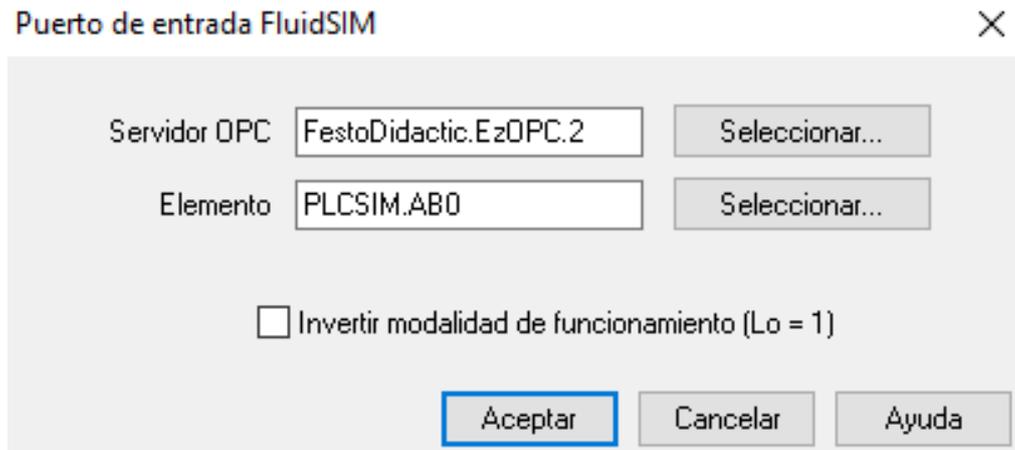
Configuración puerto de salida



Una vez que todos los componentes están conectados y etiquetados, se configuran los puertos asignándoles un servidor y una dirección específicos para establecer una comunicación eficaz, como se ve en la figura 36.

Figura 37

Configuración puerto de entrada

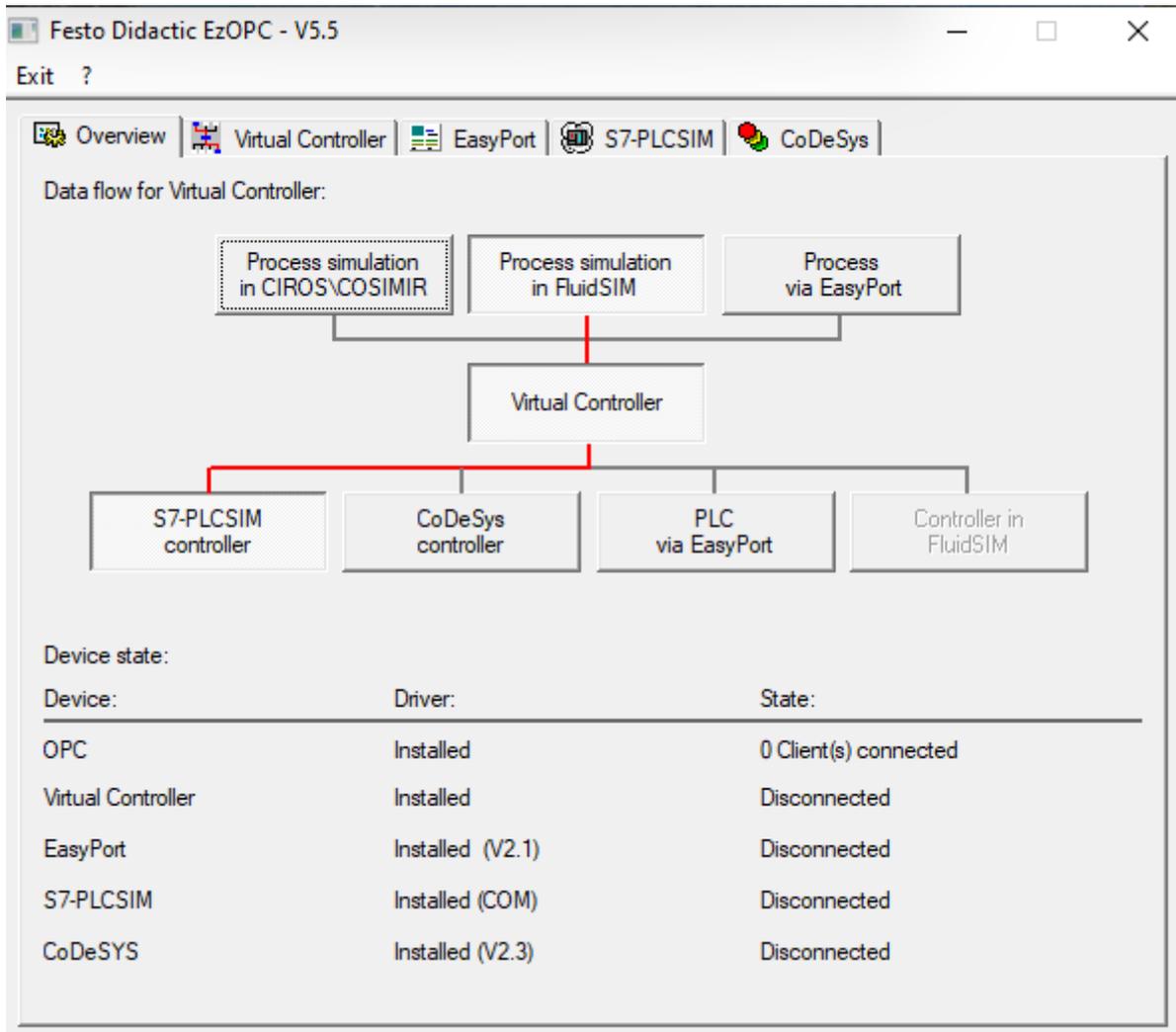


La figura 37, muestra que al igual que el puerto de salida, se debe configurar el puerto de entrada con un servidor y una dirección para establecer una comunicación.

Una vez que todos los parámetros están configurados, se puede establecer la conexión entre TIA Portal y FluidSIM. Para ello, se inicia el programa EzOPC, el cual comenzará automáticamente a buscar y reconocer los elementos configurados en ambos entornos.

Figura 38

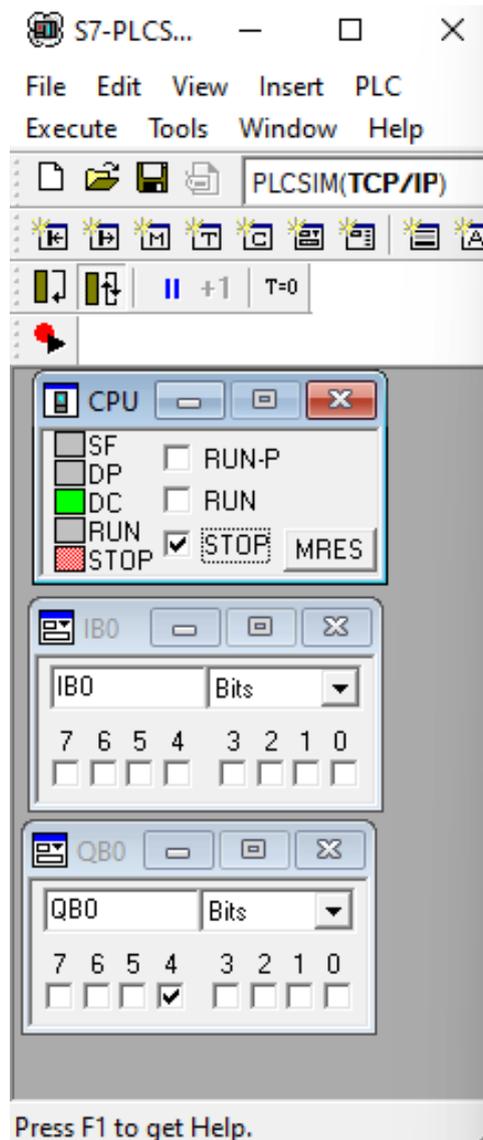
Programa EzOPC



La figura 38 muestra cómo, al iniciar el programa, se realiza automáticamente la búsqueda correspondiente. El siguiente paso es iniciar una simulación en TIA Portal, lo cual crea un PLC virtual mediante PLCSIM.

Figura 39

Ejemplo de PLCSIM



La figura 39 muestra el PLC que estaremos usando de manera virtual, gracias a la ayuda de PLCSIM. Una vez creado este PLC, se sincronizan todos los programas, y podemos comenzar la simulación para observar el sistema en funcionamiento. Para ver el proceso completo en acción, se recomienda consultar el anexo N, donde se detalla su desempeño.

2.1.3.2. Pruebas de funcionamiento de estaciones en laboratorio

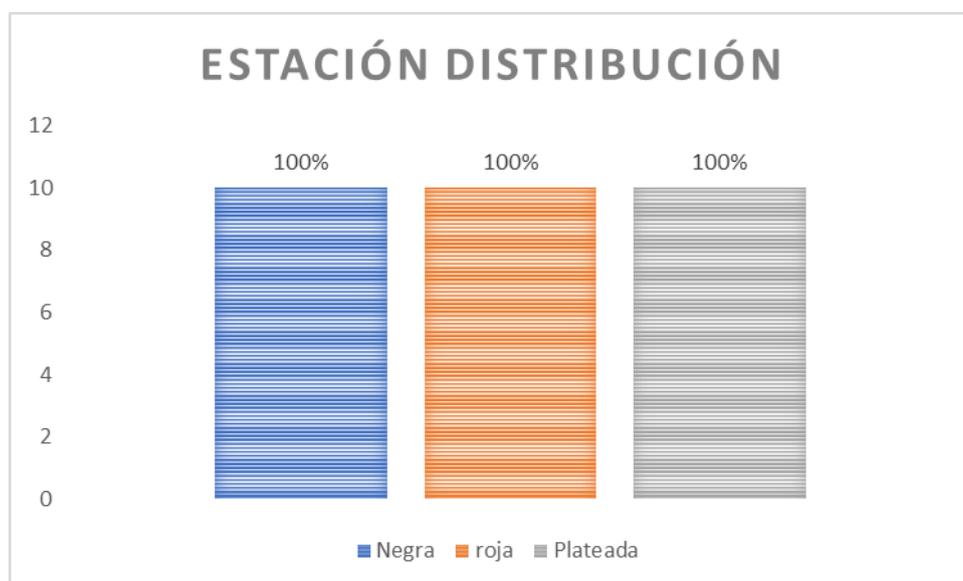
Para validar el funcionamiento de los módulos MPS en el laboratorio, se procedió a realizar una serie de pruebas físicas para configurar, conectar y sincronizar las estaciones de trabajo

utilizando los PLC Siemens S7-300. Estos pasos aseguraron que el sistema funcione de acuerdo con la programación realizada en TIA Portal y las simulaciones en FluidSIM.

En la estación distribución, se realizaron ajustes donde se calibró la distancia entre el cilindro de llenado y la cámara de posicionamiento para asegurar que las piezas se apilen correctamente y fluyan sin obstrucciones. El cilindro de doble efecto se ajustó para un desplazamiento óptimo, garantizando que la pieza se posicionara de manera eficiente. Además, se realizó una verificación de las conexiones neumáticas del brazo de transferencia, asegurando que el actuador neumático semirrotativo tuviera la respuesta adecuada al activarse.

Figura 40

Ensayo de piezas en la estación de distribución



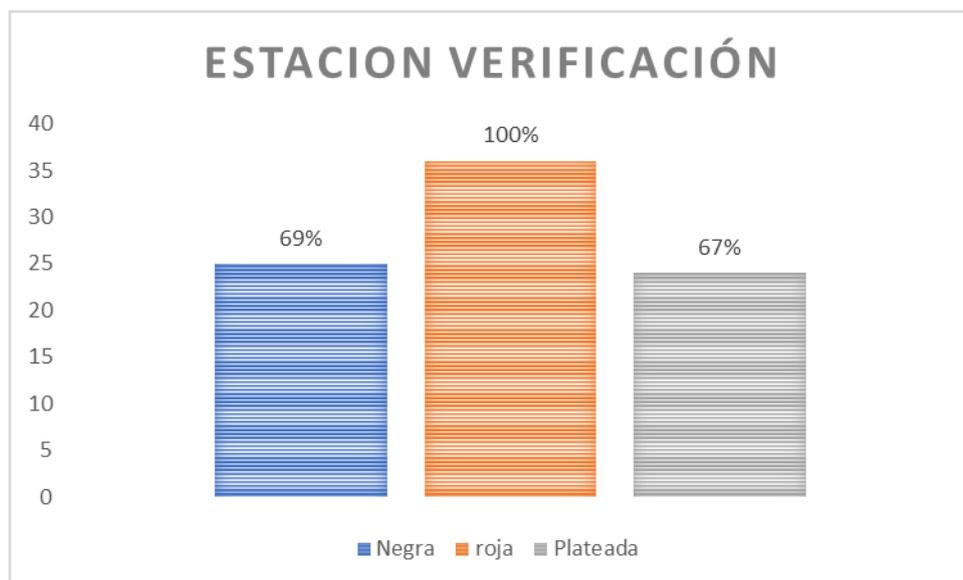
Los resultados de las pruebas pueden visualizarse en la figura 40 y estas calibraciones y ajustes se pueden visualizar mejor en el funcionamiento, se recomienda consultar el Anexo O. Prueba de funcionamiento de estaciones.

Se realizaron un total de 30 pruebas en la estación de distribución, obteniendo un desempeño del 100% en la distribución de las piezas. En este caso, el único factor determinante para mantener dicha eficacia fue el ajuste de la ventosa de la chupa encargada de sujetar las piezas. Este componente resultó crucial para garantizar un manejo óptimo y la correcta ejecución del proceso, evitando cualquier deslizamiento o fallo durante la operación.

Durante las operaciones en la estación de verificación, se realizó el reemplazo del PLC s7 300 por otro de la misma serie. Los sensores B1, B2 Y PART_AV que detectan las piezas se colocaron a una distancia entre 1-3 cm desde la superficie de las piezas. Durante la calibración, se ajustó la sensibilidad de los sensores, asegurando que únicamente las piezas que cumplieran con las especificaciones fueran aceptadas. Se llevaron a cabo pruebas de validación de manera continua, colocando diferentes tipos de piezas en el recorrido del sensor para comprobar su precisión y realizar ajustes cuando fue necesario. Los resultados se encuentran en la figura 41.

Figura 41

Ensayo de piezas en la estación de verificación



Se realizaron 36 pruebas por cada tipo de pieza para evaluar el desempeño de la estación de verificación. La Figura 41 muestra los porcentajes de aciertos obtenidos, destacando diferencias según el color de las piezas: las negras alcanzaron un 69%, las rojas un 100% y las plateadas un 67% así obteniendo un 79% de eficacia en total.

Estos resultados fueron clave para identificar ajustes en el sistema, específicamente en el nivel de la rampa y la presión de la ventosa, debido a que las piezas no se deslizaban de manera uniforme. La calibración de estos parámetros mejoró la precisión en el manejo de las piezas, asegurando que el sistema completara el proceso de manera eficiente.

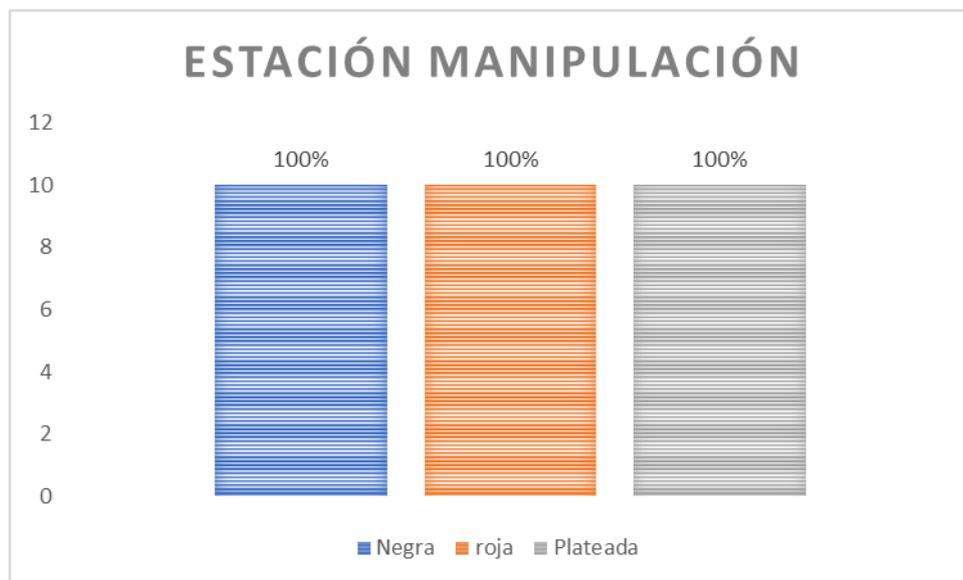
Figura 42

PLC y Panel de simulación cambiados



En la estación de verificación, se identificó que el PLC estaba generando un cortocircuito recurrente que afectaba el funcionamiento del sistema. Tras evaluar la situación y confirmar que el fallo provenía del dispositivo, se tomó la decisión de reemplazar completamente el PLC por otro de la misma serie y especificaciones como se puede visualizar en la figura 42.

Para optimizar la estación de manipulación, se graduó el brazo grúa en base a las pruebas realizadas para alcanzar un mayor alcance y precisión al recoger las piezas. Se calibró la pinza neumática para asegurar un agarre firme y seguro durante el transporte. Se verificaron las conexiones neumáticas y eléctricas del sistema, incluyendo la correcta operación del cilindro que extiende y retrae la pinza. Al igual que en las otras estaciones, se realizaron pruebas funcionales para garantizar que el ciclo de recogida y entrega de piezas se completara sin inconvenientes.

Figura 43*Ensayo de piezas en la estación de manipulación*

En la figura 43 pueden visualizarse los resultados de la validación y se recomienda consultar el Anexo O. Prueba de funcionamiento de estaciones para más detalles.

Con la estación de manipulación, se llevaron a cabo 30 pruebas en total, logrando un desempeño del 100% en todas las categorías de piezas (negras, rojas y plateadas), se hizo una calibración del sistema, donde se ajustaron los ángulos el equipo pudiera posicionarse correctamente, recoger cada pieza con precisión y liberarla en el lugar designado.

En la estación de clasificación se configuró una banda transportadora calibrada a una velocidad constante 500 mm/s, lo que permite un flujo controlado de las piezas. Se ajustaron sensores ópticos a intervalos estratégicos para detectar la llegada de las piezas, color y material. Los cilindros de parada fueron calibrados en ángulo y a una distancia de 4cm para redirigir las piezas hacia sus rampas correspondientes de manera fluida previniendo sobrecargas en el proceso de clasificación. Además, se hizo el uso del sensor óptico (B4) para asegurar que la capacidad de las rampas se gestionara adecuadamente, deteniendo el proceso automáticamente si una rampa se llenaba, los resultados de la validación pueden visualizarse en la figura 44.

Figura 44*Ensayo de piezas en la estación de clasificación*

Se realizaron 10 pruebas por cada tipo de pieza para evaluar el desempeño de la estación de clasificación. La Figura 44 muestra los porcentajes de aciertos obtenidos, destacando diferencias según el color de las piezas: las negras alcanzaron un 90%, mientras que las rojas y plateadas lograron un 100% de aciertos cada una, obteniendo así una eficacia general del 97%.

El 10% de error en las piezas negras se atribuye a inconsistencias como la intervención manual en la estación para retirar las piezas almacenadas, lo que afectó la precisión del proceso en ese caso específico.

Para completar la configuración, se integraron todas las estaciones usando un sistema de comunicación Profinet, donde todas las estaciones están conectadas a un módem central ver figura 45, lo que permite un control del sistema más flexible. Se verificaron todas las conexiones de cableado, asegurando que la transmisión de datos y señales fuera fluida y sin interrupciones.

Figura 45*Modem Ethernet*

Para iniciar la configuración y pruebas de la conexión entre los PLC mediante Profinet, se utilizó PLCSIM, una herramienta de simulación que permitió verificar cada paso antes de la implementación física. Durante esta fase, se ajustaron las configuraciones de las memorias de ciclo para así estar mandando los datos simultáneos. Fue necesario desactivar temporalmente algunas protecciones y deshabilitar la optimización de las DB para asegurar el correcto funcionamiento de los bloques GET y PUT ver figura 46.

Figura 46*Propiedades de la data bock*

Protection

No protection
 Write protection
 Write/Read protection
 Can be canceled with password

Password for read/write access

Password:

Confirm password:

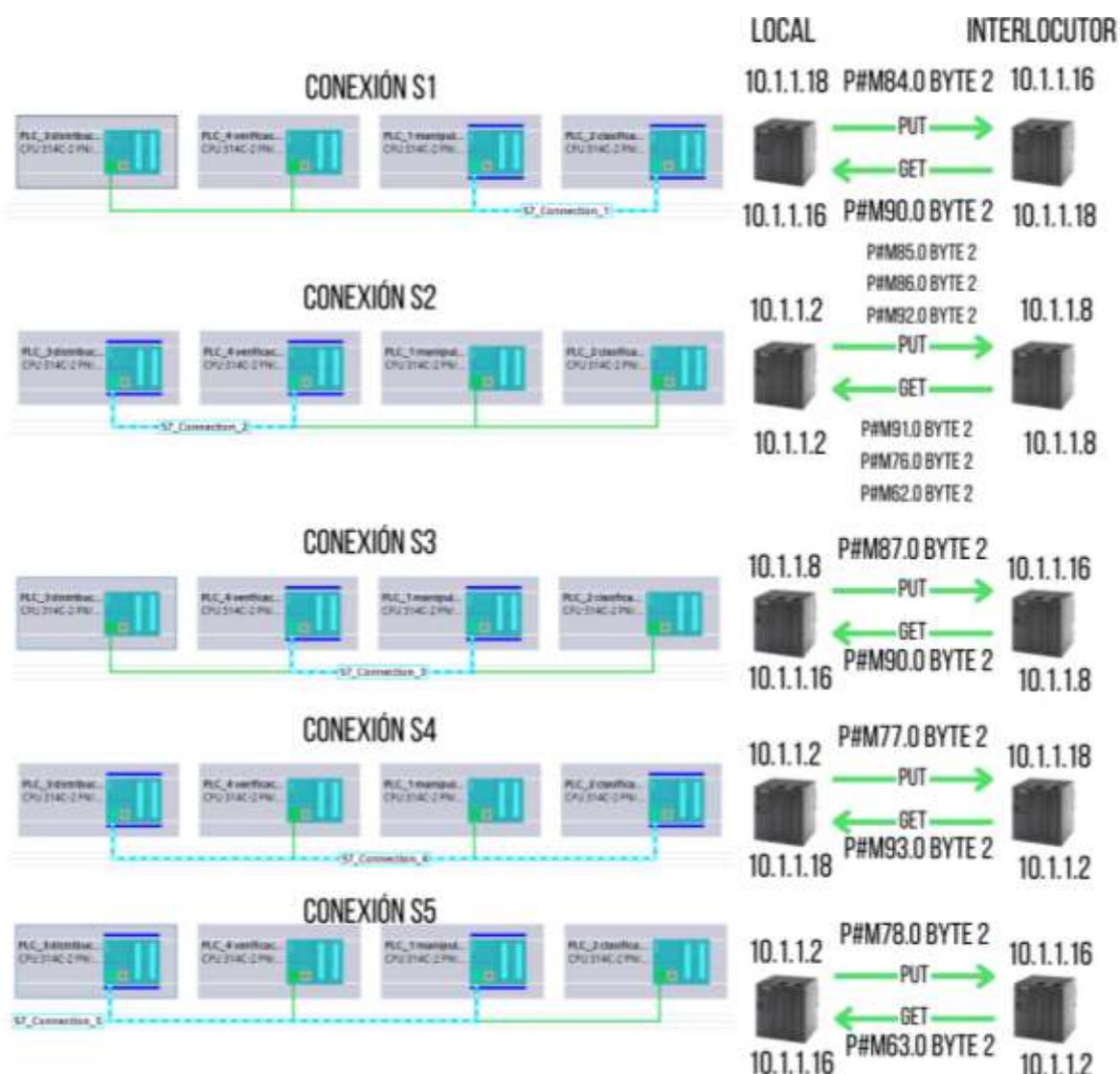
Esto implicó modificar las protecciones y configuraciones de las propiedades de las DB desde el entorno de programación, deshabilitando la opción de optimización estructurada de

las DB. Este ajuste fue necesario debido a que los bloques GET y PUT requieren un acceso directo a las direcciones de memoria, las cuales no están disponibles cuando las DB están optimizadas.

En TIA Portal, se implementó y configuró una red de comunicación basada en el protocolo PROFINET con conexiones S7, cuyo desempeño fue evaluado en el entorno de la estación FMS para más detalle diríjase al Anexo O. Prueba de funcionamiento de estaciones. Se demuestra una integración y sincronización entre las estaciones de trabajo mediante el intercambio de datos en tiempo real, utilizando bloques PUT y GET. La topología diseñada se encuentra representada en la figura 47

Figura 47

Conexión S7 con el protocolo profinet

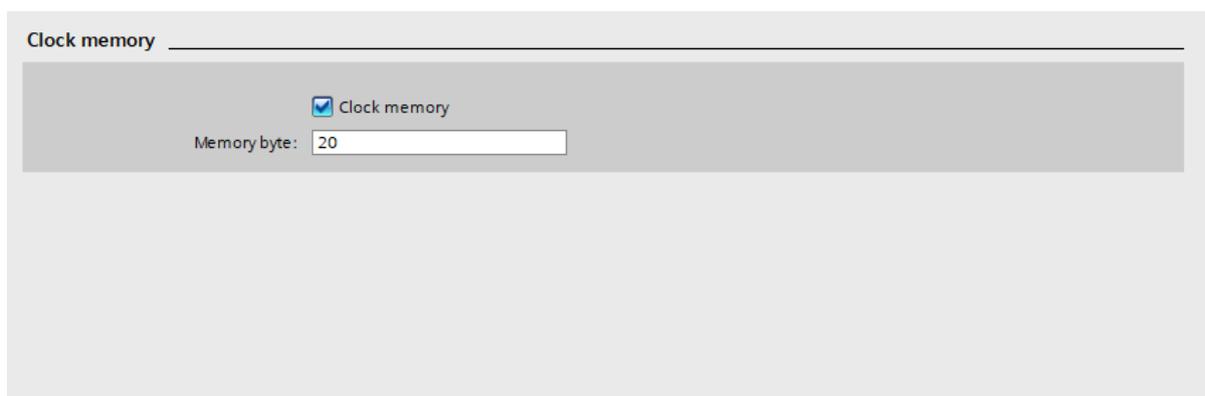


La figura 47 muestra cinco configuraciones específicas de conexión (S1 a S5), donde cada PLC se comunica de manera bidireccional con otro controlador lógico, asegurando la transferencia de información en direcciones de memoria asignadas (P#M). Como primer caso en la conexión S1, el PLC_3 realiza operaciones de envío (PUT) hacia el interlocutor ubicado en la dirección IP 10.1.1.16, gestionando bloques de datos como P#M84.0 BYTE 2 y recibiendo (GET) respuestas en P#M90.0 BYTE 2 desde la misma IP, de manera similar con las conexiones S2 a S5 dependiendo totalmente de la asignación del PLC local e interlocutor.

Durante la configuración de la red de comunicación basada en PROFINET con conexiones S7, se habilitaron las marcas de ciclo desde propiedades del hardware del PLC S7-300, específicamente configuradas en el byte de memoria 20. Para este proyecto, se utilizó el bit 20.3, que corresponde a una frecuencia de 2 Hz y un período de 0.5 segundos, como se observa en la figura 48.

Figura 48

Activación de memorias de ciclo



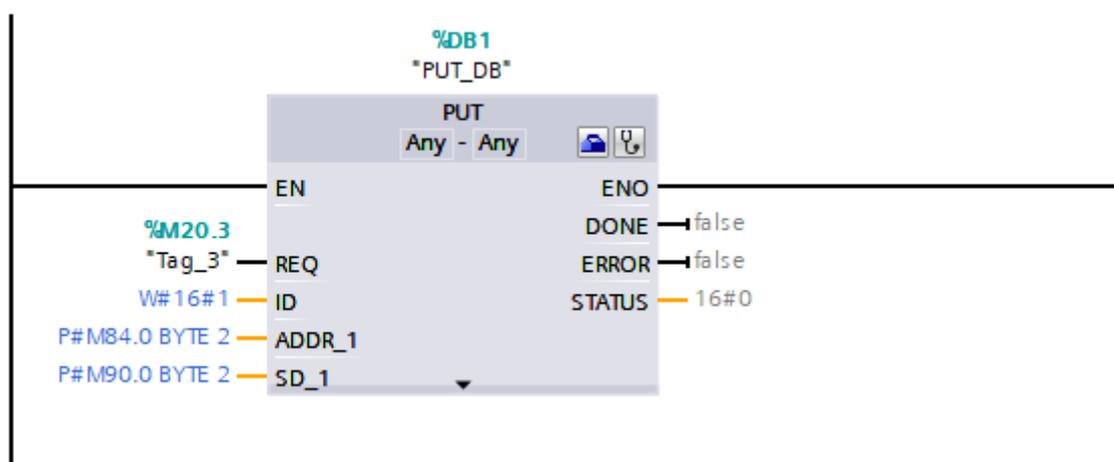
Estas marcas de ciclo son señales internas generadas automáticamente por el PLC, diseñadas para operar como relojes lógicos con frecuencias predefinidas. Su propósito principal fue sincronizar las operaciones de petición (request) en los bloques GET y PUT, asegurando la alineación temporal entre las operaciones de lectura y escritura y evitando conflictos en la transferencia de información.

Para la comunicación entre los PLC en la red PROFINET, se emplearon los bloques PUT y GET, los cuales permiten el intercambio directo de datos entre las áreas de memoria de los dispositivos.

En el bloque PUT, se definió el ID de conexión, un identificador único que vincula la tabla de conexiones con la dirección IP del PLC remoto; además, se especificó la dirección de memoria local (RECORD), para indicar que se enviarían 2 bytes de datos, y la dirección remota (ADDR) que recibiría la información en el PLC objetivo visualizar en la figura 49.

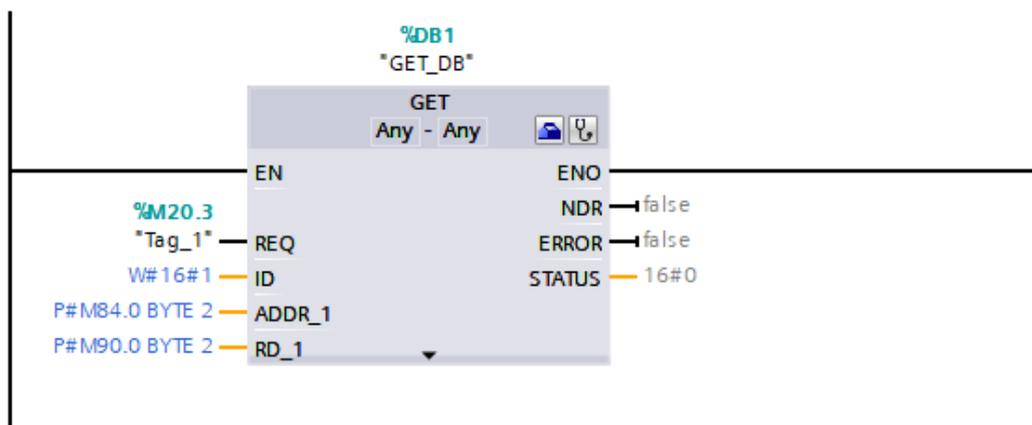
Figura 49

Bloque conexión PUT

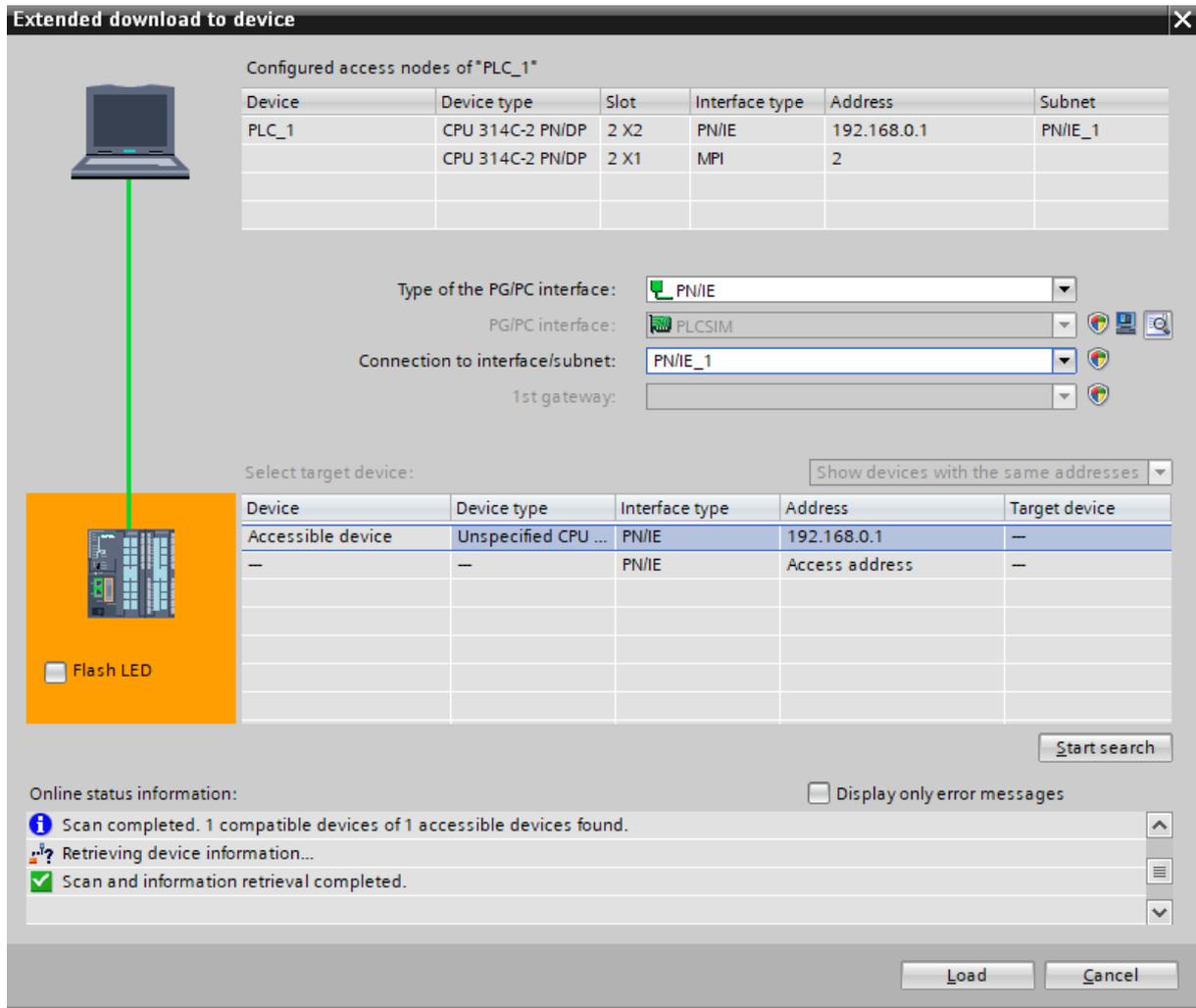


El bloque PUT figura 49 está configurado para enviar datos desde el PLC local hacia otro PLC en la red. Se activa mediante la dirección de memoria %M20.3 para que así los datos se enviarán se tomen de la dirección de memoria local P#M90.0 BYTE 2 y se envían al otro PLC, almacenándose en la dirección P#M84.0 BYTE 2.

Por su parte, el bloque GET configuró el mismo ID de conexión para garantizar la comunicación coherente, indicando la dirección de memoria remota desde donde se leerían los datos y la memoria local (RECORD) que los recibiría visualizar en la figura 50.

Figura 50*Bloque conexión GET*

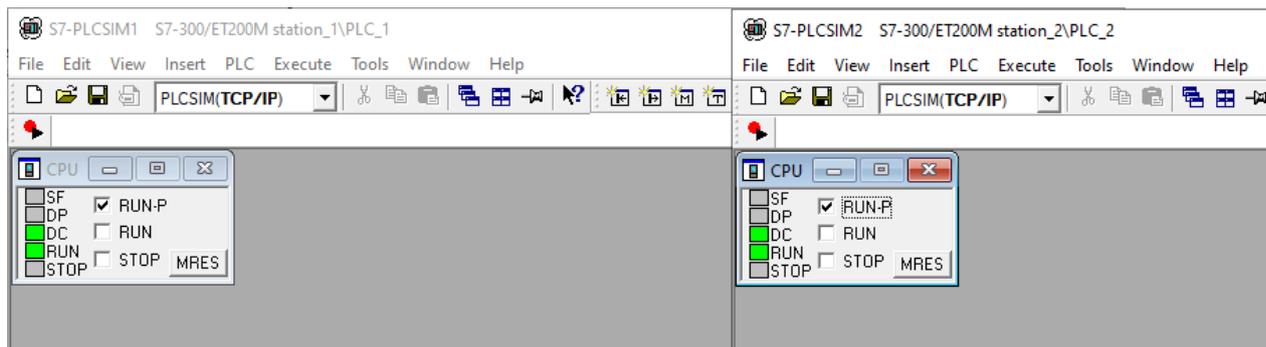
El bloque GET figura 50 está configurado para recibir datos desde otro PLC hacia el PLC local. Igual que el bloque PUT, se activa a través de la dirección %M20.3. Al recibir los datos, estos se almacenan en la dirección local P#M84.0 BYTE 2, que obtiene la información directamente desde P#M90.0 BYTE 2 del otro PLC. Para probar esta configuración, se realizó una simulación en PLCSIM. Donde se cargarán los códigos en cada PLC correspondiente dentro del entorno de simulación, asignando el programa de cada estación a su respectivo PLC virtual en PLCSIM.

Figura 51*Establecer conexión*

En la figura 51 se presenta la configuración inicial realizada en PLCSIM, donde se cargaron los códigos de cada estación en su respectivo PLC virtual. se activará la ejecución Simulada dando Run a cada PLC, lo que permitirá observar y verificar la interacción entre los bloques PUT y GET en tiempo real.

Figura 52

Simulación PLCsim



La figura 52 muestra cómo se activó la ejecución simulada colocando cada PLC virtual en modo RUN. Este paso es crucial para iniciar la interacción entre los bloques PUT y GET, permitiendo que los datos fluyan entre las memorias configuradas en tiempo real.

Como parte del proceso de simulación, un sensor de llenado ubicado en la estación de clasificación detecta cuando una línea de clasificación está completamente llena. Al activarse este sensor Óptico, el bloque PUT envía una señal desde el PLC de la estación de clasificación hacia el PLC de la estación de manipulación.

Figura 53

Sensor de llenado

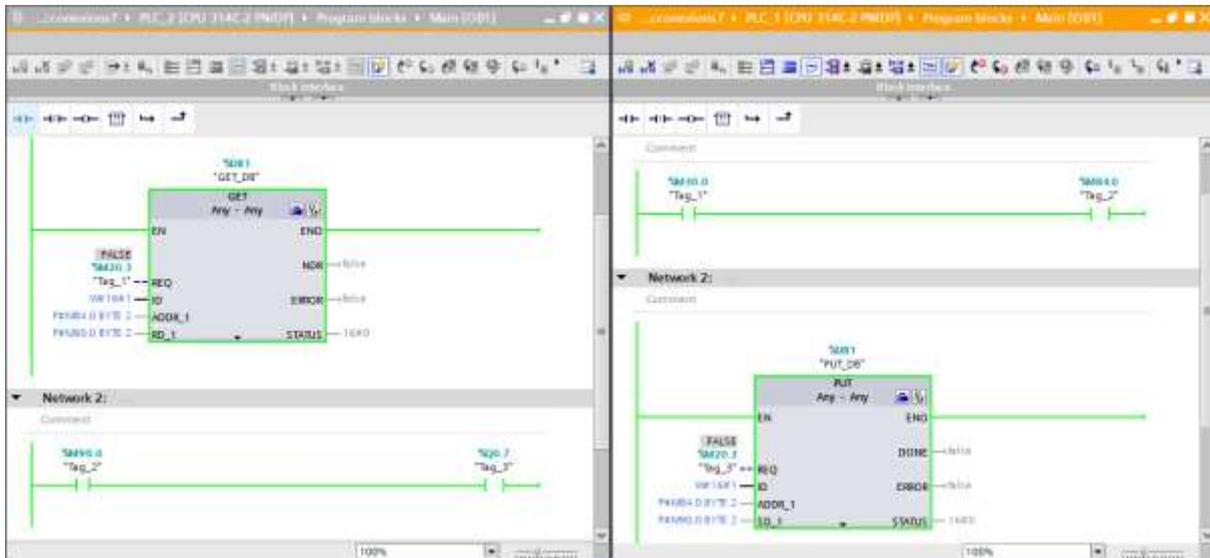


En la figura 53 se observa que se agregó un parámetro en la programación en el cual se guarda la señal recibida, el bloque GET en el PLC de la estación de manipulación procesa la información y si el sensor óptico manda señal detiene el funcionamiento de esa estación para

evitar sobrecarga o acumulación innecesaria, podrá observarse a más detalle el envío y la recepción en el Anexo Q Conexión Profinet.

Figura 54

Escritura y lectura de datos



En la figura 54 se puede observar el monitoreo de los bloques PUT y GET mediante las herramientas de diagnóstico de TIA Portal. Aquí se verifica que las transferencias de datos se ejecutaran correctamente, confirmando que los valores enviados desde el bloque PUT del PLC local eran recibidos en el bloque GET del PLC remoto.

Una vez establecida la comunicación entre las estaciones, se procedió a su interconexión completa. Para ello, se implementaron en el programa principal (Main) de cada PLC los bloques PUT y GET necesarios para gestionar eficientemente las transferencias de datos entre los dispositivos. Además, se realizó una validación de las estaciones en conjunto, poniendo en marcha el proceso completo utilizando los 3 tipos de piezas. Los resultados detallados de estas pruebas se presentan en la Tabla 9 y Tabla 10, donde se puede observar el desempeño del sistema en los diferentes escenarios operativos, para más detalle revisar anexo S.

Tabla 9*Funcionamiento completo piezas variadas opción uno*

Numero de prueba	Estación	Pieza	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Observaciones
1	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
2	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
3	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
4	Proceso Completo	Negra	Correcto	Incorrecto	Falló en Distribución
5	Proceso Completo	Roja	Correcto	Incorrecto	Falló en Verificación
6	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
7	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
8	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
9	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
10	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
11	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
12	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
13	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
14	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-

15	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
16	Proceso Completo	Negra	Correcto	Incorrecto	Falló en Distribución
17	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
18	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
19	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
20	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
21	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
22	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
23	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
24	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
25	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
26	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
27	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
28	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
29	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
30	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-

Nota: Los resultados reflejan pruebas realizadas con piezas de colores negra, plateada y roja, opción 1.

Los resultados reflejan pruebas realizadas con piezas de colores negra, plateada y roja. Las pruebas 4 y 16 presentaron fallos en la estación de distribución al procesar piezas negras, mientras que la prueba 5 evidenció un fallo en la estación de verificación al procesar una pieza roja.

La tabla 9 detalla el desempeño del sistema al someterlo a un proceso completo de interconexión entre estaciones. La mayoría de las pruebas alcanzaron los resultados esperados, mientras que los fallos detectados en las pruebas mencionadas evidencian puntos específicos de mejora.

Tabla 10

Funcionamiento completo piezas variadas opción dos

Numero de prueba	Estación	Pieza	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Observaciones
1	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
2	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
3	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
4	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
5	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
6	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
7	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
8	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-

9	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
10	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
11	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
12	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
13	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
14	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
15	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
16	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
17	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
18	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
19	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
20	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Incorrecto	Falló en Distribución
21	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-
22	Proceso Completo	Negra	Correcto	Correcto	-
23	Proceso Completo	Plateada	Correcto	Correcto	-
24	Proceso Completo	Roja	Correcto	Correcto	-

25	Proceso Completo	Negra	Correcto	-
26	Proceso Completo	Plateada	Correcto	-
27	Proceso Completo	Roja	Correcto	-
28	Proceso Completo	Negra	Correcto	-
29	Proceso Completo	Plateada	Correcto	-
30	Proceso Completo	Roja	Correcto	-

Nota: Los resultados reflejan pruebas realizadas con piezas de colores negra, plateada y roja, opción 2.

Esta tabla 10 corresponden a las pruebas realizadas con el proceso 2 completo de interconexión entre las estaciones del sistema. Se probaron piezas de diferentes colores, obteniéndose 29 resultados correctos y un único fallo registrado en la prueba número 20, relacionado con la estación de distribución al procesar una pieza plateada. En general, esta configuración mostró un desempeño más consistente, con solo un fallo registrado. Esto indica un avance significativo respecto a la tabla 9, pero también señala la necesidad de realizar ajustes específicos en la estación de distribución. Los detalles de funcionamiento sobre estas pruebas se encuentran en el Anexo T.

Para medir el progreso y desempeño se diseñó un modelo de rúbrica detallado, descrito en el Anexo R. Este modelo incluye criterios como pruebas individuales, configuración de comunicación (PROFINET), programación y configuración del PLC, integración de componentes, validación funcional y documentación técnica. Cada criterio se evalúa en niveles de desempeño desde "Deficiente" hasta "Excelente", permitiendo identificar fortalezas y áreas de mejora en los futuros evaluados.

2.2. Discusión

La implementación de sistemas MPS de Festo en el ámbito educativo resalta la importancia de familiarizar a los estudiantes con la manufactura flexible y los sistemas de automatización, ambos elementos cruciales para el avance en la Industria 4.0. Durante el desarrollo del proyecto, se identificaron las estaciones clave del sistema MPS (Distribución, Verificación, Manipulación y Clasificación), cada una desempeñando un papel esencial para simular un proceso productivo adaptable y eficiente.

El uso de tecnologías de simulación, como TIA Portal y FluidSIM, facilitó el diseño y la programación de los módulos de manera remota, lo que optimiza los tiempos de aprendizaje y disminuye el riesgo de desgaste en el equipo físico. Además, la interconexión de los módulos a través de Profinet proporcionó una visión de cómo los sistemas industriales se integran para responder a cambios de demanda, sin perder la eficiencia operativa.

Este enfoque plantea una serie de perspectivas futuras, tales como la implementación de estos sistemas en contextos de producción más complejos o en la educación técnica a niveles avanzados. Con el crecimiento del Internet de las Cosas (IoT) y la digitalización de los procesos, los sistemas de producción modular, como los MPS, tienen el potencial de integrarse en líneas de producción reales, promoviendo una transición hacia entornos de manufactura inteligentes y sostenibles

3. Conclusiones

El desarrollo de procesos de manufactura flexible mediante el uso de módulos MPS de Festo (distribución, verificación, manipulación y clasificación) demuestra que los los módulos replican condiciones reales de producción y facilitan la comprensión de conceptos de automatización y control. Entre las fortalezas del proyecto se encuentra la integración efectiva de tecnologías como la neumática, electroneumática y redes de comunicación. Las limitaciones incluyen la dependencia de simulaciones para algunas pruebas debido al acceso limitado a los equipos, mientras que la principal restricción es la complejidad inicial en la programación y configuración de redes Profinet para garantizar una comunicación eficiente entre estaciones.

La identificación de la metodología aplicada a los procesos flexibles que involucran sistemas de automatización modular estructura un enfoque claro y secuencial para el desarrollo del proyecto. Este enfoque incluye la recopilación de información técnica, la creación de diagramas de flujo y la simulación inicial, lo que facilita la implementación ordenada y eficiente de los procesos.

La generación de operaciones de automatización mediante los módulos MPS representa procesos de manufactura flexible con precisión y versatilidad. Las operaciones diseñadas son escalables y adaptables, lo que confirma la capacidad de los módulos para simular diversos escenarios de producción automatizada.

La validación del funcionamiento de los módulos MPS mediante pruebas de test confirma su efectividad para operar bajo las condiciones definidas. Las estaciones interactúan correctamente a través de Profinet. Las simulaciones previas en FluidSIM y GRAFCET optimizan los tiempos de configuración y reducen errores en la implementación física.

4. Recomendaciones

Durante la ejecución del proyecto, se identificaron algunas limitaciones y desafíos que impactaron el desarrollo y precisión del sistema:

- **Disponibilidad de estaciones:** El proyecto se desarrolló utilizando únicamente cuatro estaciones, ya que las demás no se encontraban en condiciones óptimas para su operación.
- **Fallas en sensores:** Muchos sensores no estaban en funcionamiento, lo que obligó a realizar adaptaciones en la programación para omitir su uso. Si bien estas adaptaciones permitieron completar el proyecto, redujeron la precisión del proceso.
- **Conexiones físicas:** Se detectó la necesidad de prestar especial atención a las conexiones electrónicas y neumáticas para evitar problemas operativos.
- **Comunicación entre PLCs:** La desconexión de cables Ethernet puede interrumpir la comunicación entre PLCs, afectando el flujo del proceso automatizado.
- **Estado de los componentes:** Algunos componentes presentaron fallas o estaban mal conectados, lo que requería ajustes y revisiones adicionales.

Para optimizar el proceso de aprendizaje y asegurar una comprensión más profunda de los sistemas de automatización, se recomienda implementar una rúbrica detallada como la propuesta, que guíe y evalúe cada etapa del proyecto. Esta rúbrica no solo facilita la organización del trabajo, sino que también proporciona una evaluación estructurada de las actividades y competencias alcanzadas

Se recomienda considerar la integración de módulos adicionales al sistema MPS, lo cual permitiría ampliar la variedad de escenarios productivos y desarrollar un aprendizaje más completo sobre los procesos industriales flexibles. Incorporar sensores avanzados RFID, como de visión artificial o de calidad, también podría optimizar la precisión en la clasificación y mejorar el control de calidad, proporcionando una experiencia de formación más robusta y acorde con los estándares de la Industria 4.0.

Se sugiere realizar inspecciones detalladas de los componentes de las estaciones para asegurar que no presenten defectos y estén conectados de manera adecuada, reduciendo así la probabilidad de interrupciones o fallos en el sistema. Asimismo, se sugiere sustituir o reparar

los sensores que presentaron fallas, con el fin de garantizar un proceso más preciso y alineado con el funcionamiento ideal esperado.

Por otro lado, se sugiere implementar procedimientos regulares de mantenimiento y revisión tanto de las conexiones electrónicas como de las neumáticas, lo que ayudará a minimizar posibles fallos operativos y asegurar la continuidad del proceso. Además, es importante verificar que los cables Ethernet estén correctamente conectados antes de iniciar cualquier operación, garantizando así una comunicación estable y efectiva entre los PLCs de las estaciones.

Las recomendaciones propuestas buscan abordar las limitaciones identificadas durante la ejecución del proyecto, mejorando tanto la precisión como la funcionalidad del sistema. La reparación y optimización de las estaciones no operativas, junto con el reemplazo o reparación de componentes defectuosos, permitirá alcanzar un funcionamiento más eficiente y preciso.

Referencias bibliográficas

- Alomia Grain, R. S., & López Zuleta, M. A. (2022). *Diseño de un sistema de gestión inteligente para una planta de fabricación didáctica MPS® PA Bottling Learning System by Festo Didactic* [Pasantía institucional, Universidad Autónoma de Occidente]. Cali, Colombia.
- Bolton, W. (2013). *Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. Un enfoque multidisciplinario*. Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Boshalla, A. (n.d.). *Flexible manufacturing systems (FMS)*. SlideShare. Recuperado el 26 de noviembre de 2024, de Flexible manufacturing systems (FMS) | PPT
- Carlos, E. Flores, R. (s.f.). Sistema de fabricación flexible: FMS. Boletín Electrónico de la Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar, (03), 1-7.
- Carvajal Cruz, A. (2010). visualización y programación básicas de mps a partir de comunicacion mps- [Trabajo de grado, Universidad de San Buenaventura], 23-3.
- Chacón Valdés, S., & Pulido Forero, C. D. (2018). *Identificación de sistemas dinámicos a través de técnicas de aprendizaje de máquina utilizando la planta de control MPS Workstation de Festo* [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia]. Bogotá, D.C., Colombia.
- Castillo Espinoza, M. A., & Guerrero López, D. F. (2019). *Automatización y monitoreo para planta Festo MPS-500 del laboratorio de fabricación flexible de UPS-G* [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Guayaquil, Ecuador.
- Congreso de la República de Colombia. (2009). *Ley 1341 de 2009 – Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC)*. Diario Oficial No. 47.426, 30 de julio de 2009.
- Congreso de la República de Colombia. (1982). *Ley 23 de 1982 – Sobre derechos de autor*. Diario Oficial No. 35.327, 28 de enero de 1982.

Congreso de la República de Colombia. (2018). *Ley 1915 de 2018 – Por medio de la cual se modifica la Ley 23 de 1982 y se establece el régimen de derechos de autor en el entorno digital*. Diario Oficial No. 50.679, 12 de julio de 2018.

Control Engineering. (2023, May 25). *Industrial networking 101: Everything you need to know*. <https://www.controleng.com/articles/industrial-networking-101-everything-you-need-to-know/>

Festo Didactic. (2018). *Modular Production System (MPS): Training for tomorrow technology*. Festo Didactic. Recuperado de [Festo Didactic website].

Feld, J. (2004). PROFINET - scalable factory communication for all applications. *IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, 2004. Proceedings.*, 33-38. <https://doi.org/10.1109/WFCS.2004.1377673>

Groover, M. P. (2020). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (5th ed.). Pearson.

Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems*. Hoboken, NJ: J. Wiley & Sons

GEA. (2024). *Module Type Package (MTP) – The future “language” of modern production*. GEA. <https://www.gea.com/en/campaigns/automation-controls-separation/automation-controls-separation-MTP/>

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015 – Quality management systems – Requirements*. Geneva, Switzerland: ISO.

International Organization for Standardization. (2013). *ISO 27001:2013 – Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements*. Geneva, Switzerland: ISO.

- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14000 – Environmental management systems – Guidelines*. Geneva, Switzerland: ISO.
- International Electrotechnical Commission. (2010). *IEC 61508 – Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*. Geneva, Switzerland: IEC.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001 – Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use*. Geneva, Switzerland: ISO.
- Koren, Y. (2010). *The global manufacturing revolution: Product-process-business integration and reconfigurable systems*. John Wiley & Sons.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson.
- Ministerio del Trabajo. (2022). *Trabajos del futuro y la cuarta revolución industrial exigirán nuevos talentos*. <https://www.mintrabajo.gov.co>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Panopoulos, N., & Vlahakis, J. (2019). The evolution of manufacturing systems: From Industry 3.0 to Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 79, 469-474. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.048>
- Nugroho, A., Lestari, Y., & Prasetyo, I. (2020). Training effectiveness with modular production systems in vocational education. *International Journal of Technology and Engineering Studies*, 6(1), 1-6. <https://doi.org/10.20469/ijtes.6.10001-1>
- Nufactur. (2024). IEC 61131-3 Explained. Recuperado de <https://www.nufactur.com/iec-61131-3-explained>
- Pérez Ramírez, J., González Díaz Conti, G., & Padilla Ybarra, J. J. (s.f.). La automatización modular: una nueva opción para procesos automatizables. *IMPULSO, Revista de Electrónica, Eléctrica y Sistemas Computacionales*, 1-6.

- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. Crown Business.
- Sethi, A. K., & Sethi, S. P. (1990). Flexibility in manufacturing: A survey. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2(4), 289-328.
<https://doi.org/10.1007/BF00186471>
- Siemens. (2023). *Leveraging a modular approach on the path to digital transformation*. Siemens. <https://blog.siemens.com/2023/05/leveraging-a-modular-approach-on-the-path-to-digital-transformation/>
- Siemens. (2011). *S7-300 Programmable Controller: Technical Specifications*. Recuperado de <https://www.siemens.com>
- Siemens Industry Support. (2006). *AS-Interface: Introduction and Basics*. Recuperado de <https://support.industry.siemens.com>
- Torres Guerrero, A. A. (2023). Implementación del sistema de producción modular al sector de la confección aplicado en la empresa Great Land S.A.S. [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. 14-18.
- Tabares Alba, A. J., & Rodríguez Serrano, O. M. (2024). *Montaje de una línea de ensamble de piezas que simulan la fabricación de un cilindro neumático de simple efecto para el laboratorio STEM mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga* [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Bucaramanga]. Bucaramanga, Colombia.
- Thurrow, K. (2022). System concepts for robots in life science applications. MDPI. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/7/3257>
- Tovar, E., & Vasques, F. (1999). Real-time fieldbus communications using Profibus networks. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 46(6), 1241–1251.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/808018>

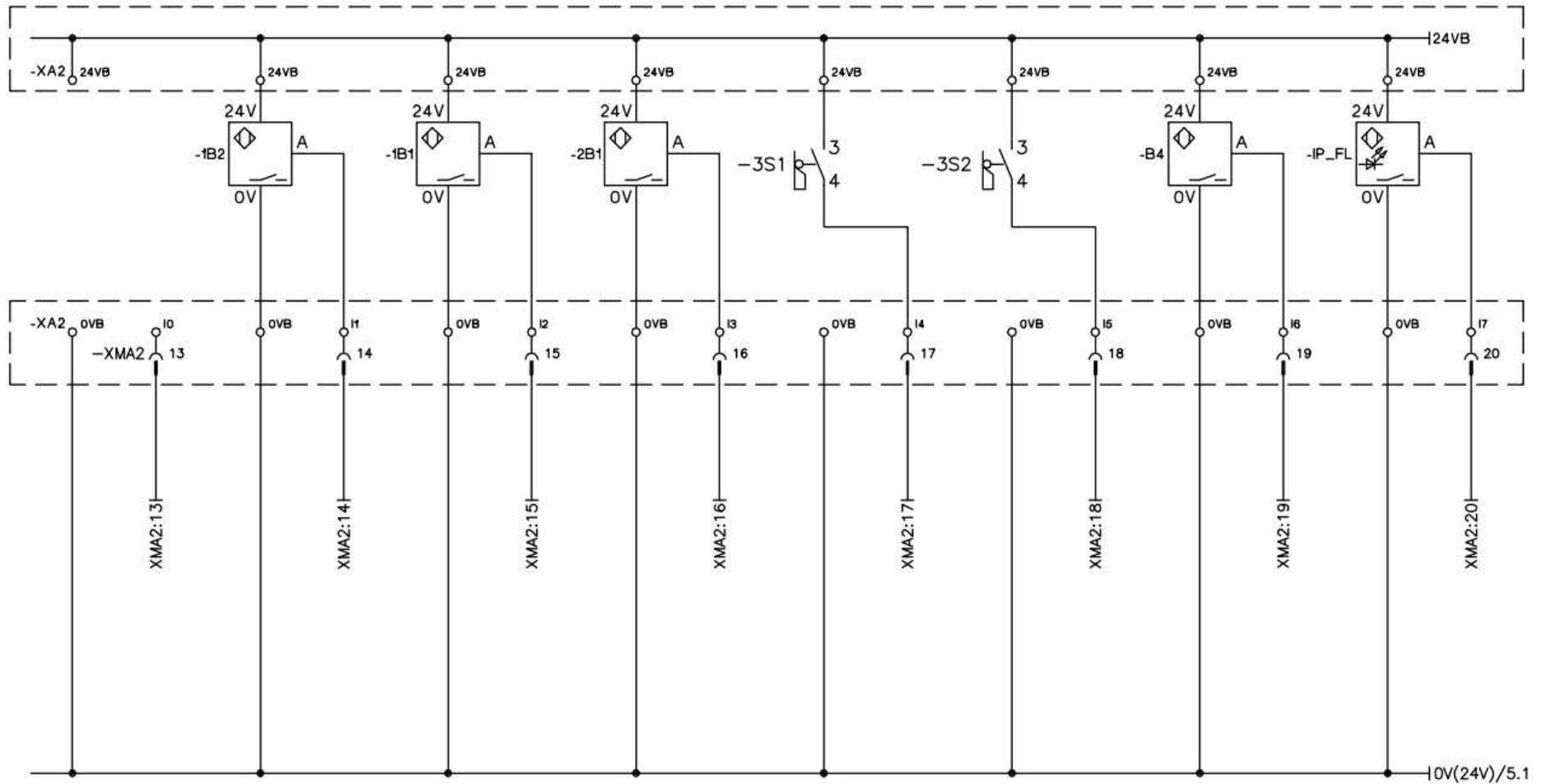
Villacreses Pita, A. A. (2021). *Diseño e implementación de un sistema de medición y supervisión de eficiencia productiva de una máquina FESTO MPS-500 del laboratorio de flexible utilizando TVC* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Guayaquil, Ecuador.

Yalçın, M. (2009). Chapter 19: Programmable Logic Controllers (PLCs). Retrieved from https://web.itu.edu.tr/yalcinme/files/courses/MMG/ch19_1%20PLC.pdf

ZVEI. (2019). *Status report: Process INDUSTRIE 4.0 - The age of modular production*. https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2019/Maerz/Status_Report_Modulare_Produktion_-_On_the_doorstep_to_market_launch/Statusreport_Process_INDUSTRIE_4.0-_The_Age_of_Modular_Production_19.02.19__8_.pdf, 11.

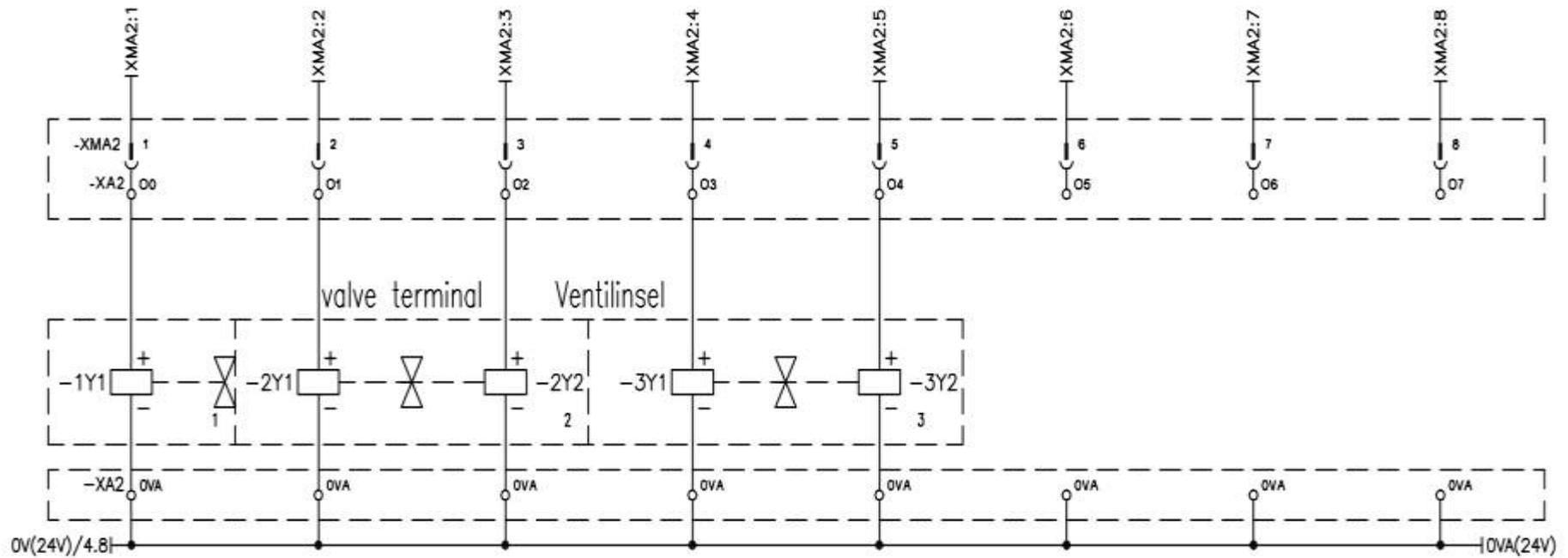
Anexos

Anexo A. Diagrama de circuitos de entradas estación de distribución



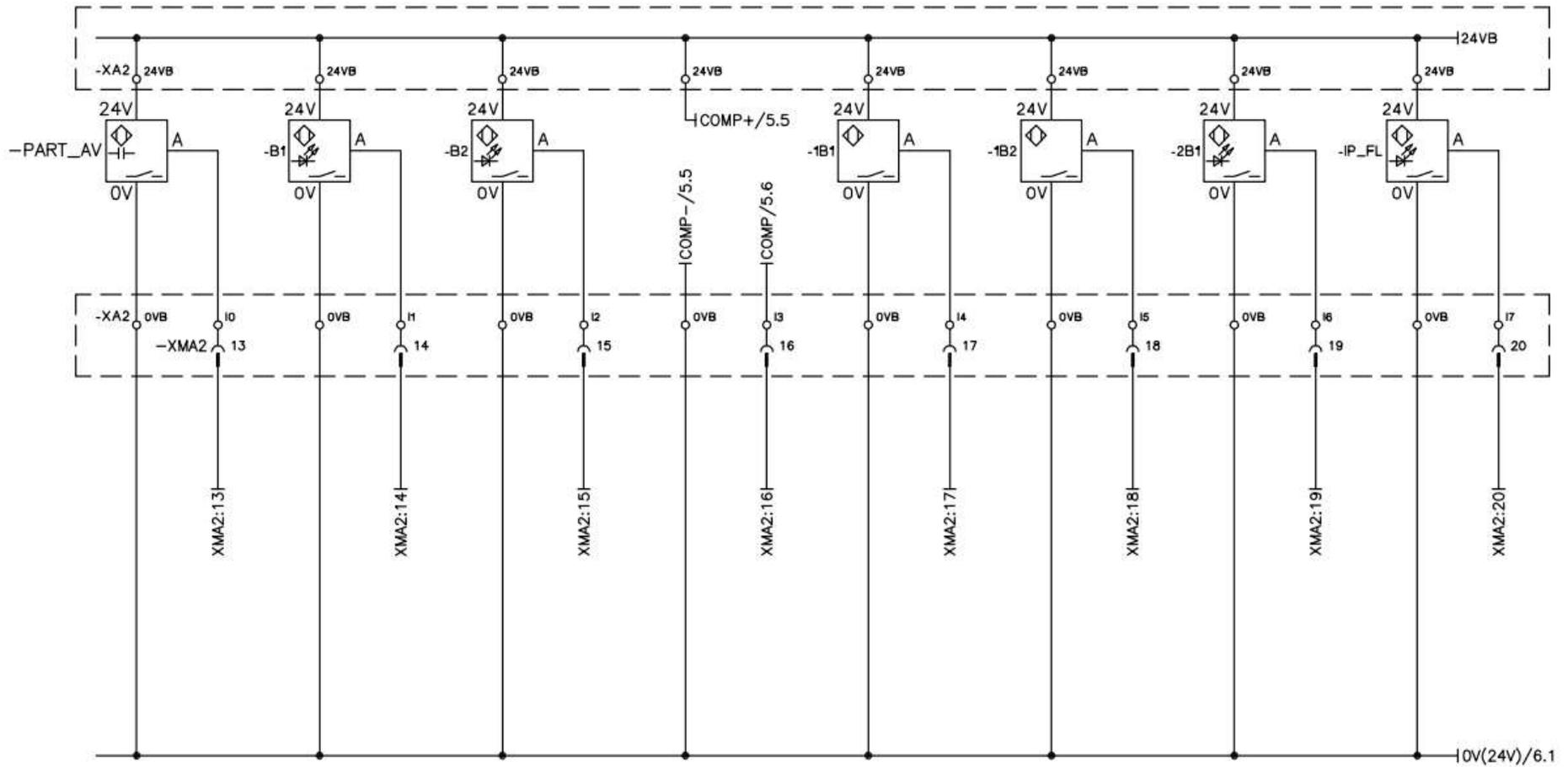
Fuente: Festo Didactic, 2002.

Anexo B. Diagrama de circuitos de salidas estación de distribución



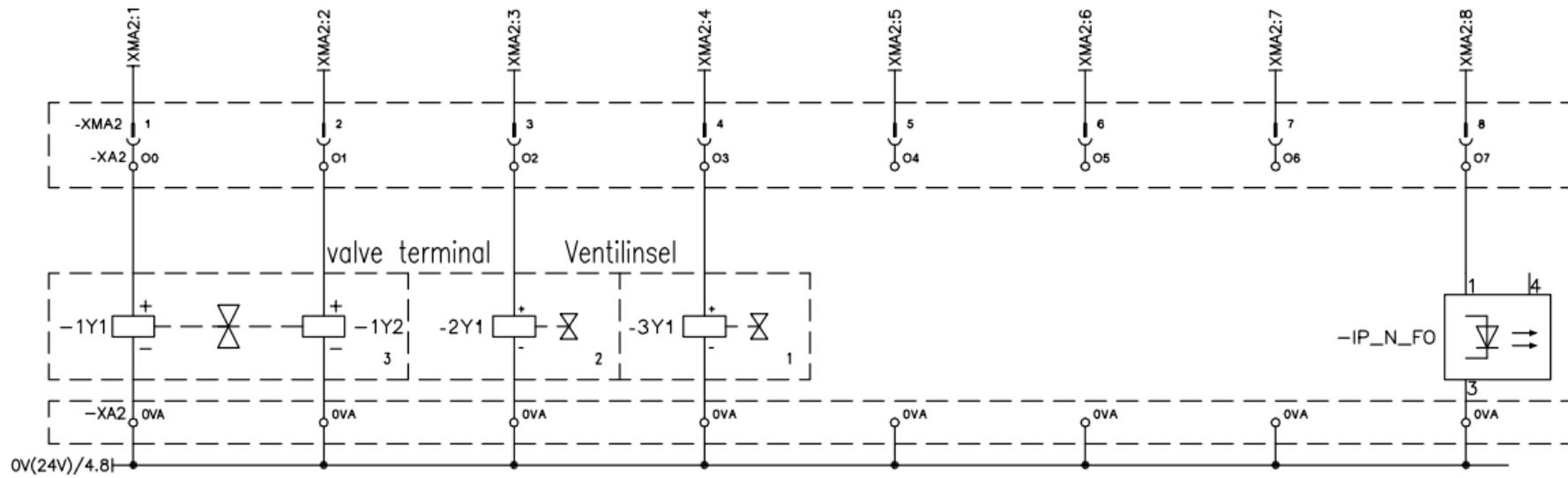
Fuente: Festo Didactic, 2002.

Anexo C. Diagrama de circuitos de entradas estación de verificación



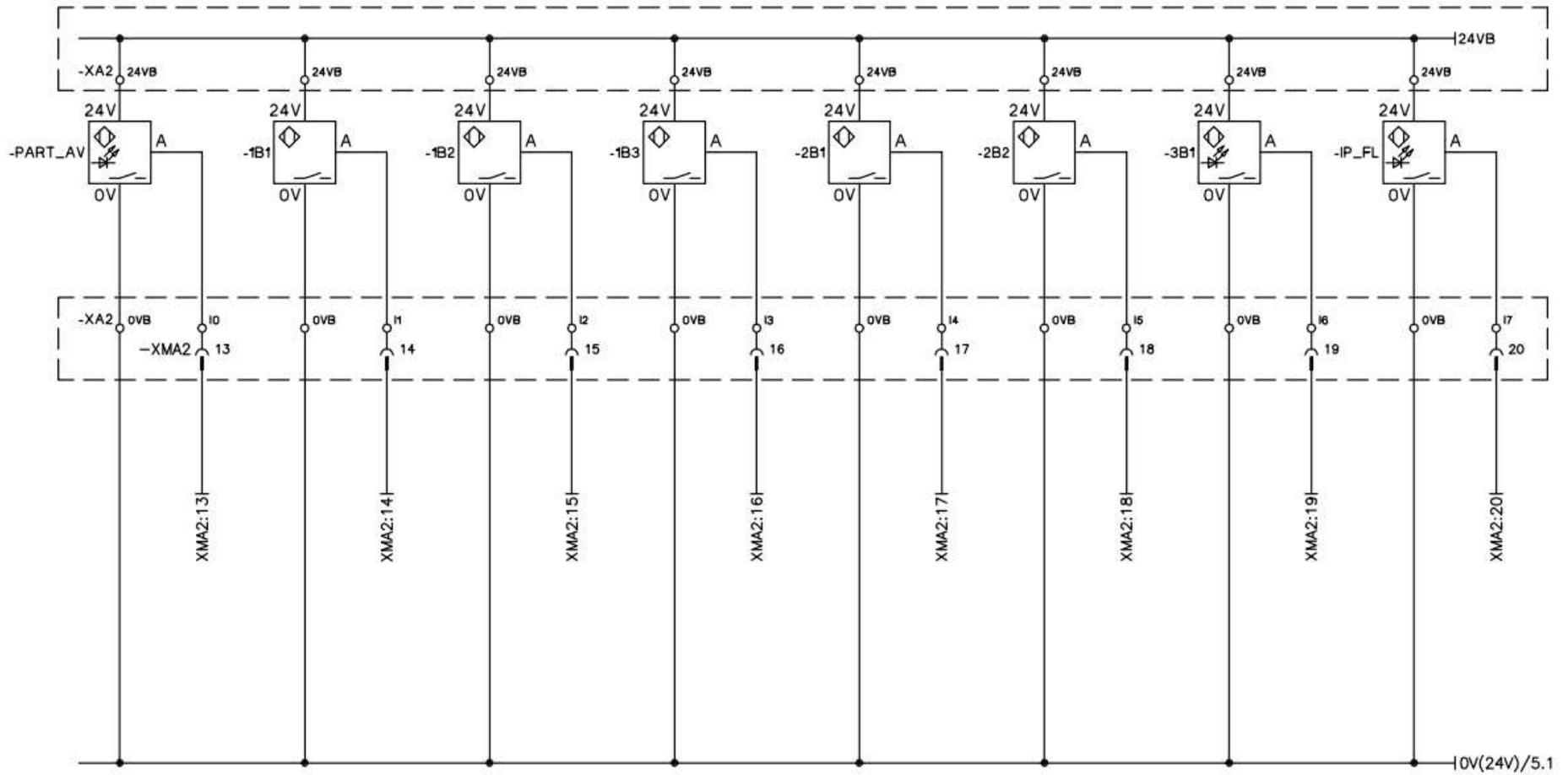
Fuente: Festo Didactic, 2002.

Anexo D. Diagrama de circuitos de salidas estación de verificación



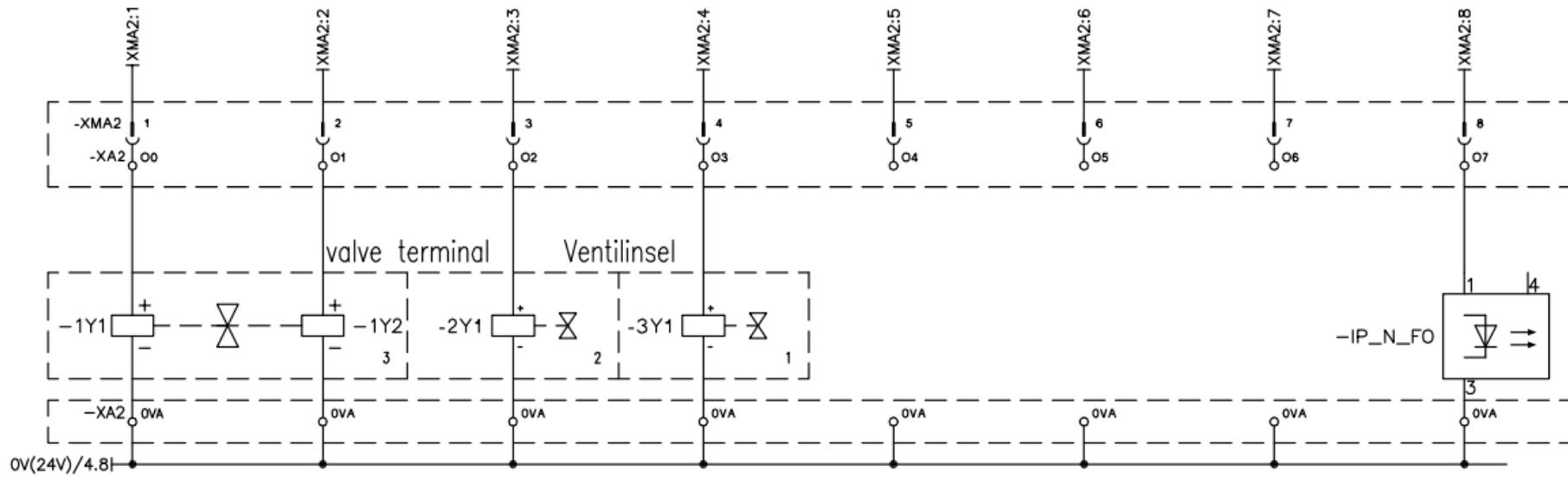
Fuente: Festo Didactic, 2002.

Anexo F. Diagrama de circuitos de entradas estación de manipulación



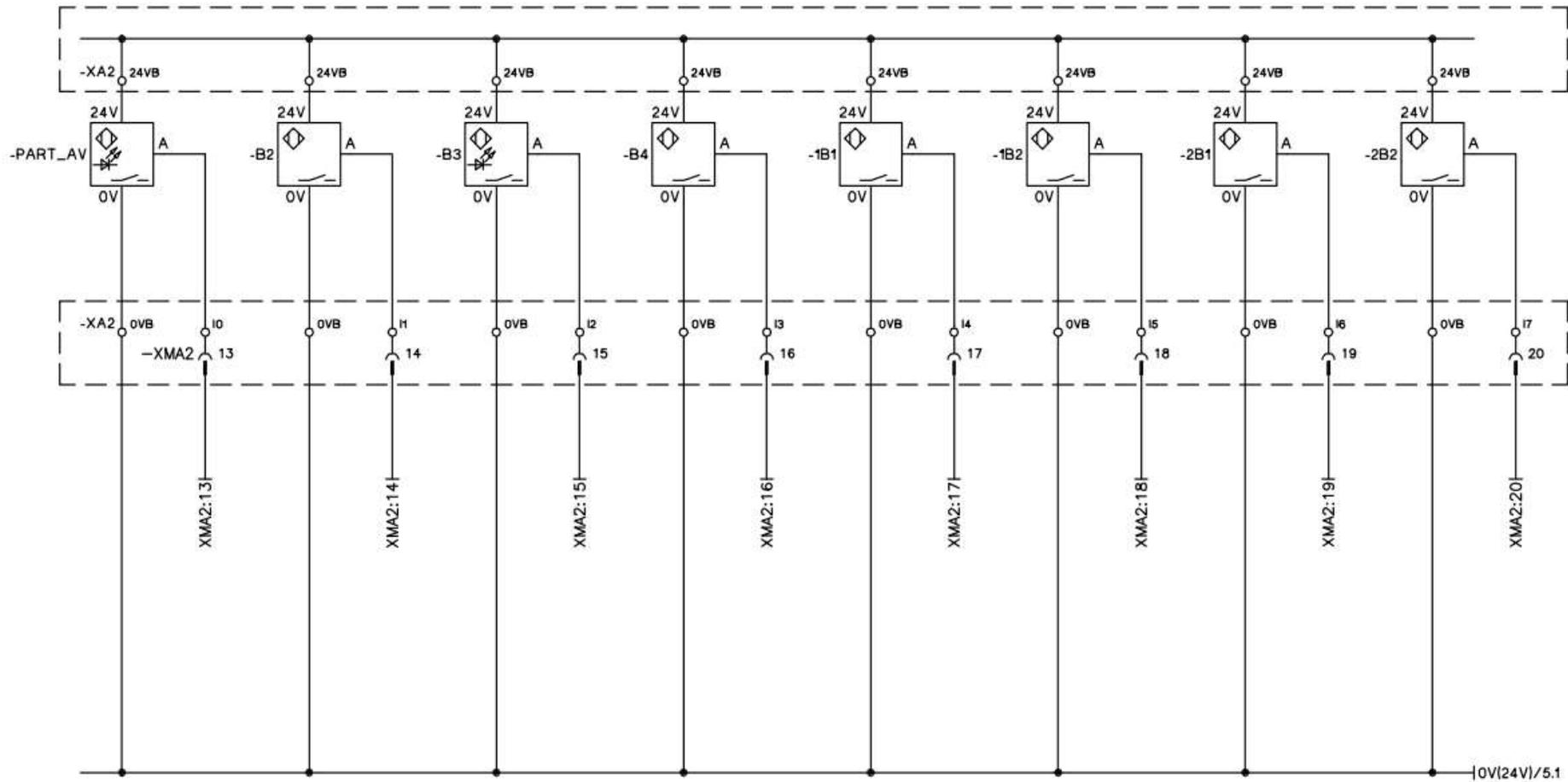
Fuente: Festo Didactic, 2002.

Anexo G. Diagrama de circuitos de salidas estación de manipulación



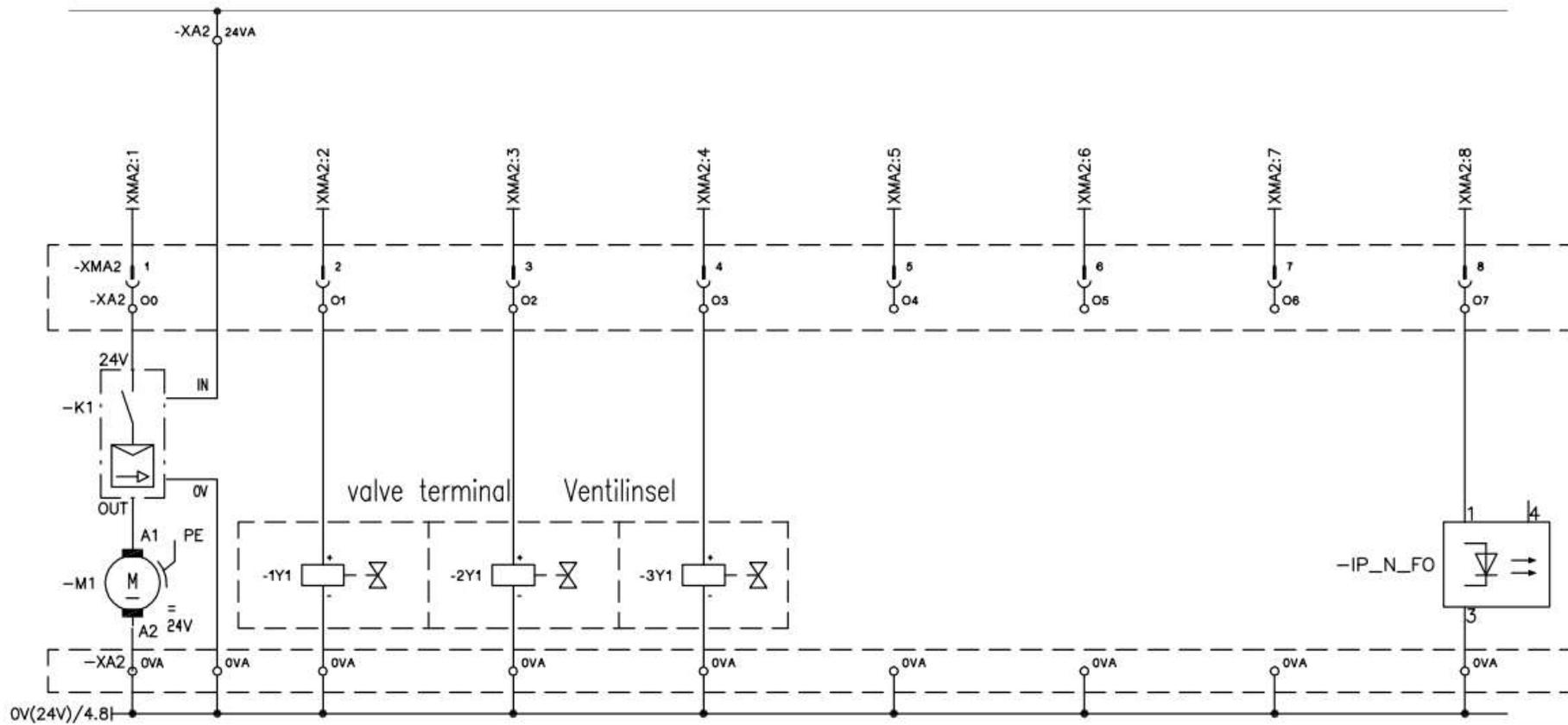
Fuente: Festo Didactic, 2002.

Anexo H. Diagrama de circuitos de entradas estación de clasificación



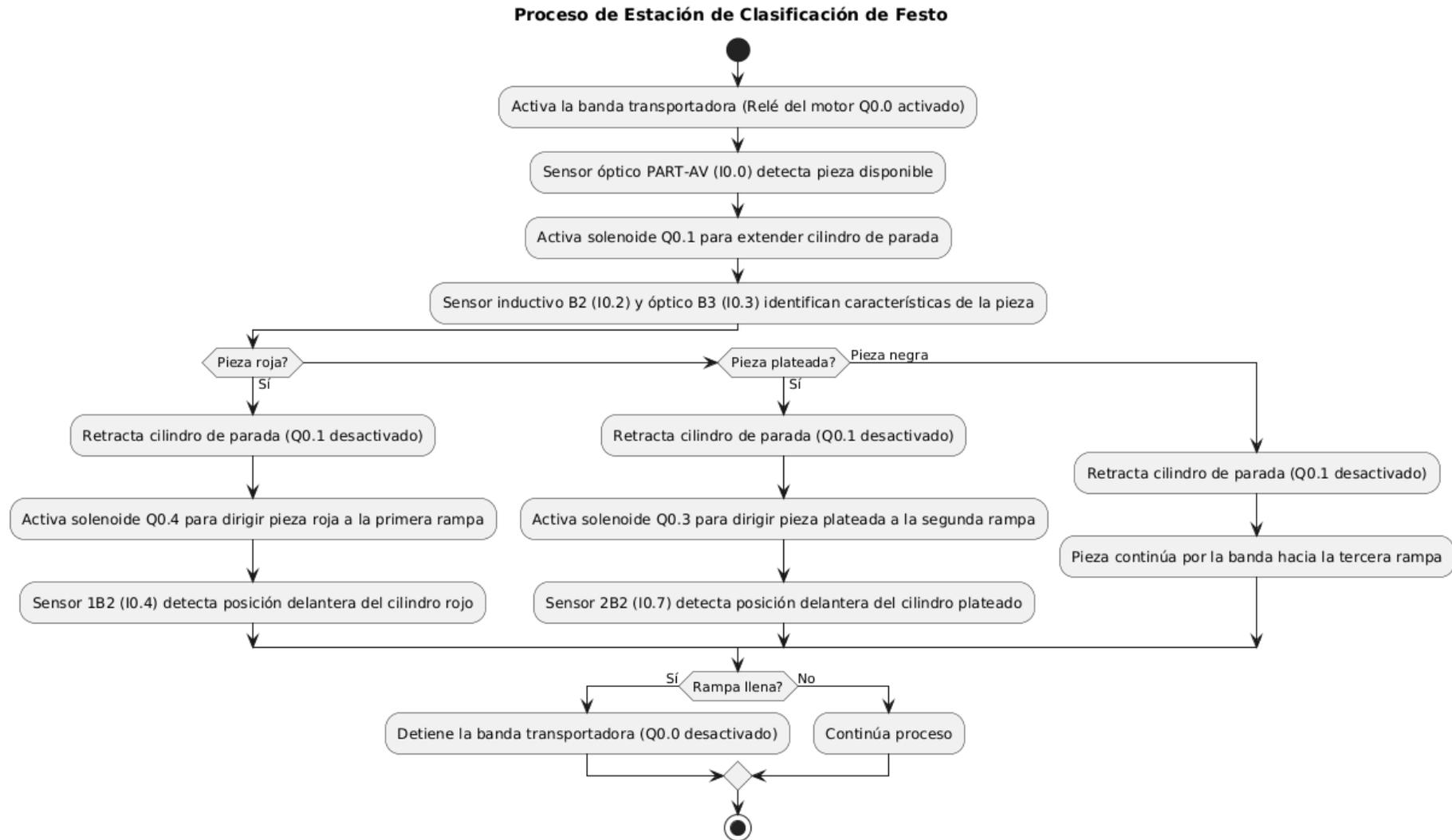
Fuente: Festo Didactic, 2002.

Anexo I. Diagrama de circuitos de salidas estación de clasificación



Fuente: Festo Didactic, 2002.

Anexo J. Diagrama de flujo estación de clasificación



Anexo K. Simulación de estaciones en FluidSIM

https://drive.google.com/file/d/1CokZ8K_C0vnd2fnHOES5eKtcjySWgcGM/view?usp=drive_link

Anexo L. Archivos de simulación de estaciones en FluidSIM

https://drive.google.com/file/d/1mD_ZdYTB7lJj6NVf_5_fYoF7JxubvCCN/view?usp=drive_link

Anexo M. Archivos de simulación de estaciones conexión TIA Portal - FluidSIM

https://drive.google.com/drive/folders/19CK26dVq6uCBPN3A2N2rNBLzGS_jnIvo?usp=drive_link

Anexo N. Ejemplo conexión TIA portal - FluidSIM estación de distribución

https://drive.google.com/drive/folders/1hzzQef5JRd_YAO1U6LLcMhTt-4aNY_Af?usp=drive_link

Anexo O. Prueba de funcionamiento de estaciones

https://drive.google.com/drive/folders/1lGFWOydWj0pAk7m-5X0XZmHj-Q50ifLX?usp=drive_link

Anexo P. Archivos de prueba de estaciones con TIA Portal

https://drive.google.com/drive/folders/18hYxt27jJhCxxhyBsSAkIcFQOTISnkSR?usp=drive_link

Anexo Q. Conexión Profinet

https://drive.google.com/drive/folders/13fHkO0kTimHJ90wqlS3M89s7XWRY2kAS?usp=drive_link

Anexo R. Rubrica de evaluación

https://drive.google.com/drive/folders/1jrWTxLGiP7q1juQIhaDLxswQZ5kwLg90?usp=drive_link

Anexo S. Tablas de validación

https://drive.google.com/drive/folders/1xCy3dONsPmKwaTiSlkOewERFv5fjQYAs?usp=drive_link

Anexo T. Funcionamiento Completo

https://drive.google.com/drive/folders/1xCy3dONsPmKwaTiSlkOewERFv5fjQYAs?usp=drive_link