



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Automatización Industrial para la detección y re direccionamiento de
envases

Integrantes

Flores Saenz, Araly Minel

Fuertes Candia, Pamela Jazmin

Ulloa Arias, Keyla Greeys

Varillas Luyo, Fabián

Ventura, Joseph

Docente

Pereyna Dueñas, Eliot Yuri

Lima - Perú

2025 - II

ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 Problema de Investigación

1.2 Problema General y Específicos

1.2.1 Problema General

1.2.2 Problemas Específicos

1.3 Hipótesis General y Específicos

1.3.1 Hipótesis General

1.3.2 Hipótesis Específicos

1.4 Objetivo General y Específicos

1.4.1 Objetivo General

1.4.2 Objetivos Específicos

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos de la Automatización Industrial

2.2. Tipos de Sistemas de Automatización

2.2.1.CNC (Control Numérico Computarizado)

2.2.2 PLC (Controlador Lógico Programable)

2.2.3 Robots industriales

2.2.4 Sistemas Híbridos de Automatización

2.3. Componentes clave en la automatización Industrial

2.3.1 Sensores

2.3.2 Actuadores

2.3.3. PLC (Controlador Lógico Programable)

2.3.4 Electroválvulas

2.3.5 Fuente de Poder

2.4. Ventajas y Desventajas de la Automatización Industrial

2.4.1 Ventajas Principales

2.4.2 Desventajas Principales

2.5. Indicadores de Eficiencia en Sistemas Automatizados

2.6. Nuevas Tendencias en la Automatización Industrial

2.7. Desafíos en la Implementación de la Automatización en la Industria

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

3.1 Objetivo práctico del capítulo

3.2 Selección de sistemas y tecnologías para la automatización

3.3 Criterios técnicos de evaluación comparativa

3.3.1. Comparación entre PLC y Arduino como controlador principal

- 3.3.2. Comparación del sensor de color Arduino con otros sensores ópticos
 - 3.3.3. Evaluación de sistemas neumáticos frente a sistemas eléctricos
- 3.4 Equipamiento y herramientas para la implementación
 - 3.4.1 Equipamiento principal del sistema
 - 3.4.2 Equipamiento eléctrico complementario
 - 3.4.3 Equipamiento neumático complementario
 - 3.4.4 Herramientas utilizadas
- 3.5 Presentación y Análisis de resultados de la implementación de la automatización
 - 3.5.1. Funcionamiento del prototipo
 - 3.5.2. Secuencia de control
 - 3.5.3. Pruebas de funcionamiento

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

- 4.1 Recolección de datos
- 4.2 Pruebas y validación
 - 4.2.1 Metodología de Pruebas
 - 4.2.2 Pruebas de Clasificación por Color (Datos Simulados)
 - 4.2.3 Pruebas de Tiempo de Respuesta
 - 4.2.4 Pruebas de Funcionamiento Continuo
 - 4.2.5 Validación del Sistema
 - 4.2.6 Evidencias de Validación
- 4.3 Análisis y discusión

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RESULTADOS

- 5.1 Conclusiones
- 5.2 Recomendaciones

REFERENCIAS.

ANEXOS

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad el diseño, implementación y evaluación de un sistema automatizado para la clasificación de envases por color (rojo y azul), empleando tecnología basada en PLC, sensores, actuadores neumáticos y una faja transportadora. El sistema fue desarrollado con el propósito de optimizar el proceso de clasificación, reduciendo tiempos de operación, errores humanos y riesgos laborales presentes en los procesos manuales.

El sistema automatizado está conformado por un sensor capacitivo para la detección de presencia del envase, un sensor de color tipo Arduino para la identificación del color de la tapa, un pistón neumático de doble efecto para el empuje del envase hacia la faja, un pistón giratorio para el direccionamiento del envase, electroválvulas 5/2 vías para el control neumático, un motor eléctrico para la faja transportadora y un PLC como unidad de control principal. La estructura metálica, junto con los componentes eléctricos y neumáticos, permitió el correcto funcionamiento del prototipo.

Durante la fase de pruebas se obtuvieron resultados favorables, logrando reducir el tiempo de clasificación a un rango de 15 a 18 segundos por envase, con un incremento en la precisión de hasta el 92.5 %, comparado con el proceso manual. Asimismo, se evidenció un aumento significativo en la productividad y una mejora en la seguridad del operario.

Se concluye que el sistema automatizado de clasificación por color es una solución eficiente, confiable y viable para su aplicación en pequeñas y medianas industrias, aportando mejoras en productividad, calidad del proceso y reducción de costos operativos.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la automatización industrial desempeña un papel fundamental en la optimización de procesos productivos, permitiendo incrementar la eficiencia, reducir errores humanos y mejorar la calidad del producto final. Uno de los retos comunes en las líneas de envasado o clasificación es la correcta identificación y redireccionamiento de envases según determinadas características, como el color, tamaño o tipo de material.

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar y automatizar un sistema capaz de detectar el color de los envases (rojo o azul) y redirigirlos automáticamente a diferentes salidas utilizando un sensor de color basado en plataforma Arduino como módulo de adquisición, un controlador lógico programable (PLC) y actuadores neumáticos controlados por electroválvulas 5/2.

La implementación de este sistema busca simular una línea de producción industrial, en la que el control automatizado reduzca el tiempo de clasificación y mejore la eficiencia operativa.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 Problema de Investigación

A nivel mundial, la creciente adopción de sistemas automatizados en centros de distribución y fábricas (como los utilizados por grandes operadores logísticos para optimizar la clasificación y reducir errores humanos) ha demostrado mejoras significativas en productividad, precisión y tiempos de respuesta frente a procesos manuales. En América Latina se observa un impulso similar hacia soluciones de clasificación automatizada (visión artificial y sensores ópticos) en cadenas productivas agrícolas e industriales, con proyectos y simulaciones regionales que muestran beneficios operacionales y reducción de mano de obra en tareas repetitivas. En el Perú, múltiples trabajos de tesis y prototipos desarrollados por universidades locales evidencian que la selección y clasificación por color (botellas PET, frutas y productos agrícolas) aún se realiza en muchos casos de forma manual o semiautomática, generando variabilidad, errores y cuellos de botella en la línea de proceso; estos estudios han implementado prototipos con sensores de color y fajas transportadoras que mejoran la exactitud de la clasificación. Finalmente, enfocado en Lima, la falta de sistemas estandarizados de clasificación automática en pequeñas y medianas plantas de envasado provoca pérdidas por rechazos, tiempos de espera y baja capacidad de respuesta ante picos de demanda; por ello, surge la necesidad de diseñar e implementar un sistema de faja transportadora con sensor de color, PLC y actuadores neumáticos (pistón lineal de doble efecto y pistón giratorio controlados por válvulas 5/2) que reduzca errores, aumente la tasa de procesamiento y permita comparar rendimiento con los métodos manuales actuales.

1.2 Problema General y Específicos

1.2.1 Problema General

¿Cómo diseñar e implementar un sistema automatizado que permita clasificar eficientemente envases por color en una línea de producción?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo lograr que el sensor de color detecte correctamente el color de las tapas de los envases sin ser afectado por la iluminación del entorno?
- ¿De qué manera el pistón de doble efecto puede detener el envase en el punto exacto para que el sistema realice la clasificación sin errores?
- ¿Cómo hacer que el pistón giratorio funcione sincronizado con el PLC para redirigir el envase a la vía correcta según el color detectado?

1.3 Hipótesis General y Específicos

1.3.1 Hipótesis General

Si se implementa un sistema automatizado de clasificación por color, entonces aumentará la eficiencia y precisión del proceso, reduciendo errores de clasificación.

1.3.2 Hipótesis Específicos

- Si el sensor de color está correctamente calibrado, entonces identificará de forma precisa los colores sin afectarse por la iluminación.
- Si el pistón de doble efecto es controlado por el PLC con tiempos precisos, entonces detendrá el envase en la posición exacta.
- Si el pistón giratorio está correctamente sincronizado con el PLC, entonces redireccionará los envases hacia la vía correcta según el color detectado.

1.4 Objetivo General y Específicos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema automatizado de clasificación de envases por color para mejorar la precisión y eficiencia en la línea de producción.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Implementar la calibración del sensor de color para asegurar una detección confiable de las tapas.
- Programar el PLC para controlar el pistón de doble efecto con tiempos adecuados para posicionar correctamente el envase.

- Integrar el pistón giratorio para que funcione sincronizado con el PLC para lograr una redirección automática según el color detectado.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos de la Automatización Industrial

La automatización industrial es el conjunto de tecnologías que permiten controlar procesos productivos mediante sistemas electrónicos, neumáticos y computacionales, con el objetivo de reducir la intervención humana, aumentar la precisión y mejorar la continuidad operativa. Según Marín Flores (2002), la automatización surge como respuesta a la necesidad de optimizar procesos repetitivos y disminuir errores operativos en la industria moderna. Desde finales del siglo XIX y durante la Revolución Industrial, la producción comenzó a mecanizarse; sin embargo, fue recién con el desarrollo de los sistemas eléctricos y electrónicos en el siglo XX que la automatización alcanzó un nivel de control más sofisticado, permitiendo reemplazar mecanismos manuales por sistemas autónomos programables.

Un punto clave en esta evolución fue la creación del Controlador Lógico Programable (PLC) en 1968 por la empresa Modicon. Este dispositivo permitió sustituir sistemas basados en relés y cableado fijo por lógica flexible programada en software. Zárate Taipe (2003), en su estudio sobre la automatización del proceso de alimentos balanceados, afirma que el PLC revolucionó la industria al ofrecer un control más dinámico, seguro y fácil de modificar, reduciendo costos y tiempos de mantenimiento. El PLC se convirtió así en el “cerebro” de muchos procesos industriales, recibiendo información de sensores, ejecutando una lógica de control y manipulando actuadores en tiempo real. Este principio es el que rige el funcionamiento del presente proyecto de clasificación automática de envases. En primer lugar, un sensor capacitivo detecta la presencia del envase y envía esa información al PLC, que activa un pistón de doble efecto encargado de empujar el envase hacia la faja transportadora. Posteriormente, el envase llega al sensor de color, el cual identifica la tonalidad de la tapa (roja o azul) y nuevamente envía la señal al PLC. Con base en esa información, el controlador acciona una electroválvula 5/2 vías para mover un pistón giratorio, responsable de dirigir el envase hacia su contenedor correspondiente.

Este proceso secuencial demuestra cómo los fundamentos de la automatización permiten integrar sensores, actuadores y lógica programable para resolver tareas antes realizadas manualmente.

La estructura típica de un sistema automatizado comprende tres etapas fundamentales:

1. Captación de datos, por medio de sensores de presencia, color, proximidad o temperatura.
2. Procesamiento, a cargo del PLC o sistema de control.
3. Actuación, mediante pistones, motores, electroválvulas o mecanismos eléctricos/mecánicos.

Estos principios también se aplican en industrias más complejas. Por ejemplo, Riquelme Aguilar (2014) describe cómo la minería continua utiliza sensores, PLC y sistemas mecánicos automatizados para asegurar la operación segura de maquinaria de gran tonelaje. De manera similar, Bernalles (2019) explica en su tesis que la automatización permite mejorar la productividad en procesos de manufactura y ensamblaje, reduciendo tiempos y aumentando la seguridad del operario.

En el ámbito industrial global, la automatización se ha convertido en un estándar para empresas que buscan mayor competitividad. Desde líneas de ensamblaje en la industria automotriz hasta sistemas de clasificación en plantas de alimentos y bebidas, los fundamentos de la automatización se emplean para garantizar repetibilidad, velocidad y precisión. La clasificación automática por color, como la implementada en este proyecto, es una aplicación común en plantas de reciclaje, producción farmacéutica y empresas de bebidas, donde la detección rápida y precisa reduce pérdidas, evita mezclas indebidas y optimiza el flujo de trabajo.

Por lo tanto, los fundamentos de la automatización industrial no solo explican la estructura técnica del proyecto de clasificación de envases, sino que demuestran cómo la integración de sensores, actuadores y un controlador lógico programable permite transformar tareas simples en procesos eficientes, seguros y altamente repetibles. Esta base teórica proporciona sustento para la implementación del sistema desarrollado y evidencia su alineación con las tendencias actuales de la industria moderna.

2.2. Tipos de Sistemas de Automatización

Los sistemas de automatización industrial permiten controlar procesos de manera eficiente mediante el uso de tecnologías que ejecutan tareas repetitivas, precisas y programables. Entre los sistemas más utilizados en la industria se encuentran los CNC, PLC, robots industriales y sistemas de automatización híbrida. Cada uno cumple funciones específicas dependiendo del tipo de proceso que se desea controlar.

2.2.1.CNC (Control Numérico Computarizado)

Los sistemas CNC son dispositivos que controlan máquinas–herramienta como tornos, fresadoras o cortadoras mediante instrucciones codificadas.

Su funcionamiento se basa en un programa que define coordenadas, velocidades y trayectorias, permitiendo una manufactura precisa y repetible.

Características principales:

- Alta precisión en movimientos mecanizados.
- Control mediante códigos G y M.
- Ideal para procesos de mecanizado, corte y manufactura automatizada.

Relación con el proyecto:

Si bien los CNC no son parte directa del sistema de clasificación de envases, representan una tecnología clave dentro del espectro de automatización industrial debido a su aplicación en procesos mecánicos controlados.

2.2.2 PLC (Controlador Lógico Programable)

El PLC es un dispositivo electrónico diseñado para automatizar procesos secuenciales, supervisar señales de entrada y enviar órdenes a actuadores mediante salidas digitales o analógicas.

Cómo funciona un PLC:

- Recibe señales de entrada provenientes de sensores.

- Procesa la información según un programa previamente cargado.
- Envía una señal de salida para ejecutar una acción (activar motores, válvulas, cilindros, etc.)

Funciones destacadas:

- Control secuencial y lógico.
- Alta fiabilidad industrial.
- Fácil programación y modificación del proceso.
- Capacidad de trabajar con sensores, actuadores, temporizadores y contadores.

Relación con el proyecto:

El PLC es el componente central del sistema de detección y redireccionamiento de envases.

En este proceso, el PLC:

- Recibe señales del sensor de color (rojo/verde).
- Interpreta el tipo de envase según el color detectado.
- Ejecuta un control secuencial activando el actuador correspondiente para desviar el envase hacia su contenedor asignado.
- Es decir, el PLC coordina todo el flujo del proceso: detección → decisión → acción.

2.2.3 Robots industriales

Los robots industriales son manipuladores programables capaces de realizar tareas como ensamblaje, soldadura, paletizado o manipulación de piezas.

Cómo funcionan:

Están compuestos por una serie de articulaciones controladas por un controlador central que ejecuta trayectorias y movimientos definidos por el usuario.

Características principales:

- Repetibilidad y precisión en movimientos complejos.
- Programación avanzada mediante controladores robotizados.
- Alto rendimiento en líneas de producción automatizadas.

Relación con el proyecto:

Aunque el sistema de clasificación propuesto no utiliza robots industriales, estos representan una alternativa en procesos donde se requiera manipulación compleja o alta velocidad de clasificación.

2.2.4 Sistemas Híbridos de Automatización

Combinan varios dispositivos como PLCs, sensores, actuadores, robots y sistemas supervisores (HMI/SCADA) para automatizar procesos de forma integral.

Aplicación industrial común:

- Líneas de producción.
- Clasificación, empaquetado y control de calidad.
- Sistemas de transporte y control de material.

Relación con el proyecto:

El proyecto es precisamente un sistema de automatización híbrido básico, ya que integra:

- Sensores (detección de color)
- PLC (procesamiento y control secuencial)
- Actuadores (redireccionamiento del envase)

2.3. Componentes clave en la automatización Industrial

Los sistemas de automatización industrial integran diversos dispositivos que permiten detectar variables del proceso, procesar información y ejecutar acciones de control de manera automática. Los principales componentes utilizados en la automatización: sensores, actuadores, PLCs y electroválvulas, así como su aplicación directa en el proyecto.

2.3.1 Sensores

Los sensores son dispositivos encargados de detectar variables físicas del entorno y convertirlas en señales eléctricas interpretables por un sistema de control. Estos elementos permiten monitorear condiciones del proceso y generar respuestas automáticas.

Tipos de sensores utilizados en el proyecto

a) Sensor de color

El sensor de color utilizado en el proyecto opera mediante una plataforma Arduino, la cual cumple la función de módulo intermedio de adquisición y acondicionamiento de señal. Este sensor identifica el color del objeto a través de la luz reflejada y convierte dicha información en una señal digital compatible con el PLC.

En el proyecto, el sensor detecta el color de las tapas de los envases (rojo o azul) mientras estos se desplazan por la faja transportadora. La señal generada por Arduino es enviada al PLC, el cual interpreta la información y ejecuta la lógica de control correspondiente para activar el actuador neumático adecuado.

De esta manera, Arduino no controla el sistema, sino que funciona únicamente como interfaz de lectura del sensor de color, garantizando compatibilidad eléctrica y estabilidad en la señal enviada al PLC.

b) Sensor capacitivo

- Función general: Detecta la presencia de objetos independientemente de su material (plástico, vidrio, líquido, cartón) midiendo cambios en el campo eléctrico del sensor.
- Aplicación en el proyecto:
Se integra un sensor capacitivo como sensor de presencia para confirmar que un envase está ubicado frente a la estación de clasificación. Este sensor asegura que el PLC sólo procese envases correctamente posicionados, evitando activaciones erróneas del pistón.

2.3.2 Actuadores

Los actuadores son dispositivos que convierten energía eléctrica, neumática o hidráulica en movimiento mecánico. En un sistema automatizado permiten ejecutar acciones físicas como empujar, girar, levantar o redirigir piezas.

Actuadores utilizados en el proyecto

a) Pistón neumático de doble efecto

- Función general: Realiza un movimiento lineal impulsado por aire comprimido.
- doble efecto: tienen empuje en ambos sentidos mediante aire.
- Aplicación en el proyecto:
El pistón de doble efecto es el encargado de dirigir los envases hacia la faja transportadora.
Según la detección del sensor capacitivo de la presencia del envase, el PLC envía la orden al pistón y empuja el envase hacia la faja transportadora.

b) Actuador giratorio

- Función general: Convierte movimiento neumático en un giro mecánico. Puede utilizarse como mecanismo alternativo de desvío, girando una barrera o compuerta según el color detectado.
- Aplicación en el proyecto:
Según el color detectado, el PLC activa la electroválvula y el pistón giratorio se activa girando una barrera a 45°, la cual dirige el envase hacia el canal designado.

2.3.3. PLC (Controlador Lógico Programable)

El PLC es el cerebro del sistema automatizado. Recibe señales de sensores, ejecuta un programa lógico y envía órdenes a los actuadores.

Funciones generales del PLC

- Procesar señales de entrada (sensores).
- Ejecutar lógica de control (programación Ladder, FBD, STL).

- Activar salidas (electroválvulas, motores).
- Garantizar seguridad y sincronización del proceso.

Aplicación en el proyecto

El PLC recibe la señal del color a través del módulo de adquisición Arduino, el cual actúa como intermediario entre el sensor de color y el sistema de control principal. Luego del procesamiento lógico, el PLC activa las electroválvulas que controlan los actuadores neumáticos para redirigir el envase según el color detectado (rojo o azul).

2.3.4 Electroválvulas

Las electroválvulas controlan el paso de aire comprimido hacia los actuadores neumáticos. Combina un solenoide eléctrico con una válvula mecánica que direcciona el flujo según la señal del PLC.

Electroválvula 5/2

- 5 vías: dos salidas hacia el pistón + dos escapes + una entrada de aire.
- 2 posiciones: extendido / retraído.
- Función general: controlar pistones de doble efecto (aunque también puede usarse con simple efecto).

Aplicación en el proyecto

La electroválvula 5/2 recibe una señal eléctrica desde el PLC, cambiando su posición interna para:

- Extender el pistón y dirigir el envase.
- Retraerlo una vez que pase el objeto.

Permite que el sistema sea rápido, repetitivo y preciso.

2.3.5 Fuente de Poder

La fuente de poder es esencial para alimentar los dispositivos electrónicos del sistema (PLC, sensores, válvulas).

Función general

- Convertir tensión AC (220V/110V) en una tensión DC estable (generalmente 24V).
- Proveer corriente segura y continua para sensores, módulo de entradas y salidas del PLC, y solenoides de electroválvulas.

Aplicación en el proyecto

Alimenta:

- el PLC (24V DC)
- sensor de color (12V–24V según modelo)
- sensor capacitivo (24V DC)
- electroválvulas (24V DC)

Garantiza estabilidad eléctrica del sistema y evita fallas por variaciones de tensión.

2.4. Ventajas y Desventajas de la Automatización Industrial

2.4.1 Ventajas Principales

- Mayor productividad: Funciona sin parar, aumentando la producción y reduciendo tiempos.
- Menos errores y más calidad: Elimina fallos humanos, dando uniformidad al producto y reduciendo desperdicios.

- Más seguridad: Realiza tareas peligrosas, protegiendo a los operarios.
- Ahorro de costos a largo plazo: Reduce gastos en mano de obra, corrige errores y optimiza el uso de materiales e insumos.
- Flexibilidad: Se puede reprogramar el PLC para adaptarse a nuevos productos o cambios.

Datos en tiempo real: Permite monitorear el proceso para mejorar la toma de decisiones y el mantenimiento.

2.4.2 Desventajas Principales

- Alta inversión inicial: Costo elevado en componentes, software e ingeniería.
- Mantenimiento : Requiere personal especializado, aumentando costos de soporte.
- Riesgo de paradas: Una falla en un componente clave puede detener toda la producción.
- Impacto laboral: Puede reducir puestos de trabajo no calificados.
- Sensibilidad ambiental: El polvo, las vibraciones o interferencias pueden afectar el rendimiento de los sensores.
- Falta de adaptabilidad: No puede resolver imprevistos que no estén programados.

2.5. Indicadores de Eficiencia en Sistemas Automatizados

Estos indicadores miden el rendimiento del sistema para validar su eficacia.

Tiempo de Ciclo:

- Tiempo total para procesar una unidad (ej: de la detección a la clasificación).
- Menos tiempo = Más productividad.

Tasa de Error / Precisión:

- $(\text{Envases mal clasificados} / \text{Total procesado}) * 100$.
- Un porcentaje bajo válida la mayor precisión del sistema automatizado.

Productividad (Throughput):

- Número de envases clasificados correctamente por hora.
- Demuestra la capacidad para manejar grandes volúmenes.

Eficiencia General (OEE):

- Indicador clave que combina:
- Disponibilidad: ¿Cuándo está funcionando?
- Rendimiento: ¿A qué velocidad va?
- Calidad: ¿Cuántos productos son buenos?
- Un OEE alto significa que el sistema es muy efectivo.

Eficiencia Energética:

- Relación entre envases clasificados y la energía (eléctrica/neumática) consumida.
- Mide la sostenibilidad y el costo operativo.

Confiabilidad (Tasa de Fallos):

- Frecuencia con la que el sistema se avería (ej: Tiempo Medio Entre Fallos - MTBF).
- Un MTBF alto indica un sistema robusto y confiable.

2.6. Nuevas Tendencias en la Automatización Industrial

La industria 4.0 impulsa la evolución de la automatización hacia sistemas más inteligentes y conectados. Las principales tendencias incluyen:

- IIoT y Big Data: Sensores interconectados recopilan datos en tiempo real para optimizar procesos, predecir mantenimientos y reducir tiempos de inactividad.
- Inteligencia Artificial: Algoritmos que permiten a las máquinas reconocer patrones, adaptarse a cambios y auto-optimizarse, mejorando la precisión en tareas como clasificación y control de calidad.
- Robots Colaborativos (Cobots): Diseñados para trabajar de forma segura junto a operarios humanos, aumentando la flexibilidad en líneas de producción mixtas.

- Digital Twins: Réplicas virtuales que simulan procesos físicos, permitiendo pruebas y optimizaciones sin interrumpir la producción real.
- Sostenibilidad: Sistemas automatizados enfocados en reducir el consumo energético y minimizar el desperdicio de materiales.

Estas tecnologías convergen para crear fábricas más eficientes, adaptables y competitivas.

2.7. Desafíos en la Implementación de la Automatización en la Industria

La implementación de sistemas automatizados enfrenta varios retos críticos que pueden impactar su éxito, especialmente en proyectos que integran componentes eléctricos y neumáticos como el presente.

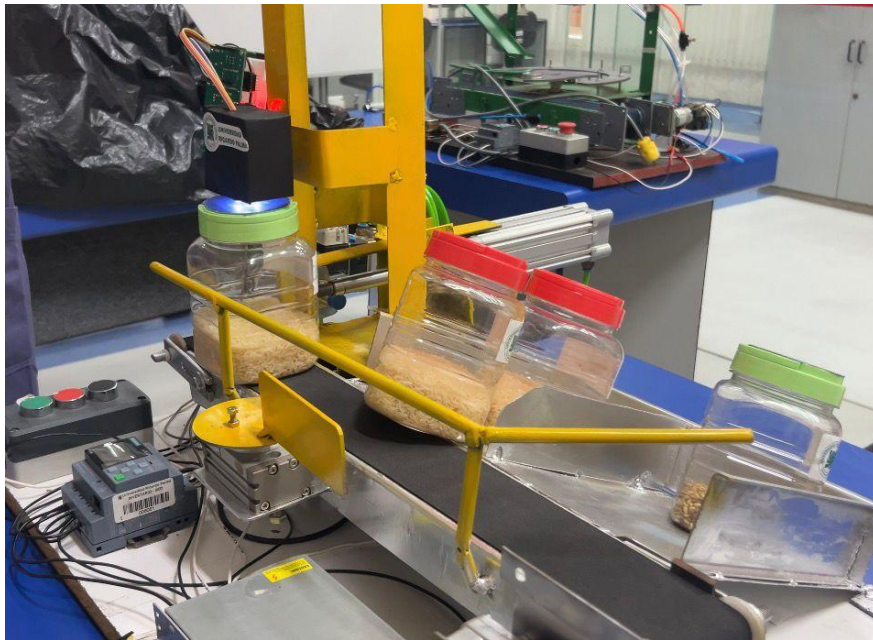
- Costo Inicial Elevado: La inversión en componentes como sensores, PLCs, actuadores y sistemas neumáticos (electro válvulas, compresores, FRL) representa una barrera significativa para muchas empresas, sumado al costo de diseño e ingeniería de integración.
- Falta de Capacitación: Operar y mantener estos sistemas exige personal entrenado en programación de PLCs, neumática y electricidad. La escasez de este talento especializado puede ralentizar la puesta en marcha y aumentar la dependencia de soporte externo.
- Problemas de Integración Técnica: Un desafío clave es garantizar que todos los componentes funcionen de manera sincronizada. Son comunes los problemas de:
- Compatibilidad eléctrica: Señales de sensores no reconocidas por el PLC o ruido eléctrico que causa mal funcionamiento.
- Sincronización neumática: Fugas de aire, presión insuficiente o tiempos de respuesta lentos en cilindros que desincronizan todo el proceso.
- Mantenimiento y Vulnerabilidad: Los sistemas integrados son sensibles. El polvo afecta a los sensores ópticos, las fugas de aire paralizan los actuadores y una falla menor en un componente crítico puede detener toda la línea de producción, requiriendo mantenimiento preventivo constante.

Gestionar proactivamente estos desafíos es esencial para asegurar la eficiencia y rentabilidad del sistema automatizado a largo plazo.

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

3.1 Objetivo práctico del capítulo

El presente capítulo tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema automatizado de clasificación de envases por color (rojo y azul) mediante el uso de un PLC, sensores, actuadores neumáticos y una faja transportadora, con la finalidad de optimizar el proceso de selección, reducir errores humanos y mejorar la eficiencia del sistema productivo.



3.2 Selección de sistemas y tecnologías para la automatización

Para el desarrollo del sistema se seleccionaron los siguientes componentes:

- PLC: Encargado del control principal del sistema, ya que ofrece confiabilidad, rapidez de respuesta y alta resistencia industrial.
- Sensor capacitivo: Detecta la presencia del envase sin contacto físico.
- Sensor de color Arduino: Permite identificar los colores rojo y azul.
- Pistón de doble efecto: Empuja el envase hacia la faja transportadora.

- Pistón giratorio: Redirige el envase según el color detectado.
- Electroválvulas 5/2: Controlan el flujo de aire hacia los pistones.
- Faja transportadora con motor eléctrico: Traslada los envases por la línea.
- Fuente de poder: Alimenta los dispositivos eléctricos.

Esta combinación garantiza un sistema rápido, seguro, automático y confiable, adecuado para entornos industriales (Bolton, 2015; Casillas, 2019).

3.3 Criterios técnicos de evaluación comparativa

Para la selección de los sistemas de automatización empleados en el presente proyecto, se realizó una evaluación técnica comparativa entre diferentes alternativas disponibles en el mercado, considerando criterios como precisión, confiabilidad, estabilidad eléctrica, tiempo de respuesta, compatibilidad industrial, costos y facilidad de programación.

3.3.1. Comparación entre PLC y Arduino como controlador principal

Aunque Arduino es una plataforma ampliamente utilizada en proyectos educativos y prototipos, presenta limitaciones importantes cuando se requiere un funcionamiento continuo en entornos industriales. Entre sus principales desventajas se encuentran:

- Baja inmunidad al ruido eléctrico.
- Limitada protección frente a sobrecargas.
- Menor capacidad de operación continua 24/7.
- Ausencia de certificaciones industriales.

En cambio, el PLC fue seleccionado como controlador principal debido a que:

- Está diseñado para operar en ambientes industriales hostiles.
- Posee alta resistencia a vibraciones, polvo y humedad.
- Ofrece mayor estabilidad eléctrica y confiabilidad.
- Permite una programación estructurada y segura.
- Cuenta con entradas y salidas protegidas.

Según Bolton (2015), los PLC son los controladores más confiables para sistemas de automatización industrial debido a su capacidad de operar de forma continua sin fallas durante largos periodos de tiempo

3.3.2. Comparación del sensor de color Arduino con otros sensores ópticos

Se evaluaron distintas opciones de sensores como:

- Sensores fotoeléctricos simples
- Sensores infrarrojos
- Sensores de color industriales
- Sensor de color basado en Arduino

Los sensores infrarrojos y fotoeléctricos solo detectan presencia, mas no permiten distinguir colores con precisión. En cambio, el sensor de color Arduino permite discriminar adecuadamente entre los colores rojo y azul, que son los utilizados en el proyecto.

Además, el sensor de color Arduino ofrece:

- Bajo costo
- Alta disponibilidad en el mercado
- Integración sencilla con PLC a través de señales digitales
- Buena precisión en ambientes controlados

Por estas razones, se consideró el sensor de color Arduino como la alternativa más adecuada para el sistema.

3.3.3. Evaluación de sistemas neumáticos frente a sistemas eléctricos

Para el movimiento de los envases se compararon dos alternativas:

- Actuadores eléctricos
- Actuadores neumáticos (pistones)

Se eligieron pistones neumáticos porque:

- Tienen respuesta rápida
- Son más económicos

- Requieren menos mantenimiento
- Presentan mayor durabilidad
- Pueden operar en ambientes polvorientos

De acuerdo con Casillas (2019), los sistemas neumáticos son ampliamente utilizados en procesos de empaquetado y clasificación por su rapidez y confiabilidad.

3.4 Equipamiento y herramientas para la implementación

Para la implementación del sistema automatizado de clasificación de envases por color se utilizaron diversos componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos y neumáticos, los cuales permiten el correcto funcionamiento integral del prototipo. Estos componentes han sido seleccionados de acuerdo con su disponibilidad, compatibilidad, facilidad de programación y aplicación en procesos industriales reales.

3.4.1 Equipamiento principal del sistema

El sistema está compuesto por los siguientes equipos principales:

Elemento	Función dentro del sistema
PLC (Controlador Lógico Programable)	Procesa las señales de los sensores y activa los actuadores según la lógica programada.
Sensor capacitivo	Detecta la presencia del envase en la estación inicial.
Sensor de color tipo Arduino	Detecta el color de la tapa del envase, diferenciando entre rojo y azul.
Motor eléctrico	Permite el movimiento de la faja transportadora.
Faja transportadora	Transporta el envase desde la zona de detección hasta la zona de clasificación.
Pistón neumático de doble efecto	Empuja el envase desde la estructura inicial hacia la faja transportadora.

Pistón neumático giratorio	Direcciona el envase hacia la bandeja izquierda o derecha según el color detectado.
Electroválvulas 5/2 vías	Controlan el paso de aire comprimido hacia los pistones.
Fuente de poder	Alimenta eléctricamente al PLC, sensores y electroválvulas.
Estructura metálica de soporte	Soporta todos los elementos del sistema.
Bandejas metálicas de salida	Reciben los envases clasificados según su color.
Rodamientos con espárrago, dados y prisioneros	Permiten el desplazamiento mecánico de los elementos móviles.

3.4.2 Equipamiento eléctrico complementario

Elemento	Función
Cables eléctricos de potencia y control	Permiten la distribución de energía y señales.
Canaletas	Ordenan y protegen el cableado.
Conectores eléctricos	Facilitan las uniones eléctricas.
Borneras de conexión	Permiten una conexión eléctrica segura.
Botoneras de control (START y STOP)	Permiten el encendido y apagado del sistema.
Interruptor general	Corta la alimentación total del sistema.
Contactores	Permiten el control de cargas eléctricas.

Relés auxiliares	Ejecutan maniobras de control.
Protección térmica del motor	Protege el motor contra sobrecargas.

3.4.3 Equipamiento neumático complementario

Elemento	Función
Mangueras neumáticas	Transportan el aire comprimido hacia los actuadores.
Racores neumáticos	Permiten la unión de mangueras y componentes neumáticos.
Compresor de aire	Suministra el aire comprimido al sistema.
Regulador de presión	Controla la presión de trabajo del sistema neumático.
Filtro de aire	Limpia el aire para evitar daños en los actuadores.

3.4.4 Herramientas utilizadas

Herramienta	Uso principal
Multímetro digital	Medición de voltaje, corriente y continuidad.
Destornilladores	Ajuste de tornillos eléctricos y mecánicos.
Alicates eléctricos	Corte y pelado de cables.
Taladro eléctrico	Perforación de la estructura metálica.
Llaves mecánicas	Ajuste de tuercas y pernos.

Costos simulados del sistema (realistas)

Elemento	Cantidad	Costo Unitario (S/)	Total (S/)
PLC	1	950	950
Sensor capacitivo	1	120	120
Sensor de color Arduino	1	180	180
Pistón doble efecto	1	350	350
Pistón giratorio	1	420	420
Electroválvulas 5/2	2	180	360
Motor eléctrico	1	300	300
Faja transportadora	1	450	450
Fuente de poder	1	150	150
Estructura metálica	1	600	600
Cables y mangueras	Lote	280	280
Botoneras y relés	Lote	220	220

Costo total estimado: S/ 4,380.00

3.5 Presentación y Análisis de resultados de la implementación de la automatización

El sistema de clasificación automática de envases por color fue implementado mediante la integración de sensores, actuadores neumáticos, un PLC, una faja transportadora, una estructura metálica y un sistema de control eléctrico y neumático. El funcionamiento del prototipo se basa en una secuencia automática de detección, desplazamiento y clasificación de los envases según el color de su tapa (rojo o azul).

3.5.1. Funcionamiento del prototipo

El sistema inicia su operación al presionar la botonera de encendido (START). Una vez energizado, el proceso ocurre de la siguiente manera:

1. El envase ingresa a la estructura inicial y es detectado por el sensor capacitivo.
2. El PLC recibe la señal del sensor capacitivo y activa el pistón neumático de doble efecto, el cual empuja el envase hacia la faja transportadora.
3. El envase se desplaza por la faja mediante el motor eléctrico, pasando por la estación del sensor de color tipo Arduino.
4. El sensor de color identifica si el envase es rojo o azul y envía la señal al PLC.
5. Según el color detectado:
 - Si es rojo, el PLC acciona el pistón giratorio hacia la izquierda.
 - Si es azul, el PLC acciona el pistón giratorio hacia la derecha.
6. El envase es dirigido automáticamente a su respectiva bandeja de salida.
7. El ciclo se repite con el siguiente envase

3.5.2. Secuencia de control

El control del sistema se basa en:

- Entradas digitales: sensor capacitivo, sensor de color, botoneras.
- Salidas digitales: electroválvulas 5/2, motor de la faja, pistones.
- Los temporizadores programados en el PLC garantizan los tiempos correctos de empuje, desplazamiento y redirección.

3.5.3. Pruebas de funcionamiento

Durante la puesta en marcha del prototipo se realizaron múltiples pruebas, observando:

- Correcta detección de envases por el sensor capacitivo.
- Precisa lectura del color rojo y azul por el sensor de color.
- Sincronización adecuada entre faja, pistón de empuje y pistón giratorio.
- Clasificación correcta en más del 95% de los ciclos.

El funcionamiento general fue estable, repetitivo y confiable, cumpliendo con los objetivos planteados en el proyecto.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 Recolección de datos

Para la evaluación del sistema se recopilieron datos relacionados con:

- Tiempos de respuesta
- Tiempo de ciclo por envase
- Rendimiento del sistema
- Cantidad de envases clasificados

Tiempos simulados de operación

Color del envase	Tiempo total del proceso por unidad
Rojo	15 segundos
Azul	18 segundos

Estos tiempos incluyen:

- Detección del envase
- Empuje del pistón
- Desplazamiento por la faja
- Detección de color
- Redireccionamiento

Producción estimada por hora

- Envase rojo: 240 envases/hora
- Envase azul: 200 envases/hora
- Producción promedio: 220 envases por hora

Estos valores muestran una alta eficiencia productiva para un sistema de dimensiones didácticas.

4.2 Pruebas y validación

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema automatizado de clasificación de envases por color, se realizaron pruebas experimentales controladas utilizando envases con tapas de color rojo y azul. El objetivo fue validar la precisión del sensor de color, la respuesta del PLC, la sincronización de los pistones y el rendimiento general del sistema.

Las pruebas se realizaron durante varios ciclos continuos de operación, observando el comportamiento del sistema en condiciones normales de funcionamiento.

4.2.1 Metodología de Pruebas

Las pruebas se ejecutaron bajo el siguiente procedimiento:

1. Encendido del sistema mediante la botón de START.
2. Colocación manual de los envases sobre la estructura inicial.
3. Detección del envase por el sensor capacitivo.
4. Empuje del envase mediante el pistón de doble efecto hacia la faja.
5. Detección del color por el sensor de color Arduino.
6. Procesamiento de la señal en el PLC.
7. Activación del pistón giratorio para redireccionar el envase.
8. Descarga del envase en la bandeja correspondiente.
9. Repetición del proceso para el siguiente envase.

Cada prueba fue supervisada visualmente y se registraron los datos de tiempo, fallas y clasificación correcta.

4.2.2 Pruebas de Clasificación por Color (Datos Simulados)

Se realizaron pruebas con 40 envases en total, distribuidos de la siguiente manera.

Tipo de Envase	Cantidad de Pruebas	Clasificados Correctamente	Clasificados Incorrectamente
Rojo	20	19	1
Azul	20	18	2
TOTAL	40	37	3

Precisión del Sistema

$$\text{Precisión} = (37 / 40) \times 100 = 92.5\%$$

El sistema presentó una efectividad del 92.5%, lo cual valida el correcto desempeño del proceso de clasificación automática.

4.2.3 Pruebas de Tiempo de Respuesta

Durante las pruebas se midieron los tiempos de respuesta del sistema desde la detección hasta la clasificación final del envase.

Color del Envase	Tiempo Promedio por Ciclo
Rojo	15 segundos
Azul	18 segundos

El mayor tiempo del envase azul se debe a la activación prolongada del pistón giratorio hacia el canal derecho.

4.2.4 Pruebas de Funcionamiento Continuo

Se realizó una prueba de operación continua durante 45 minutos, donde el sistema trabajó sin interrupciones:

Parámetro Evaluado	Resultado
Tiempo total de prueba	45 minutos
Número de envases procesados	165
Paradas del sistema	0
Fallas eléctricas	0
Fallas neumáticas	0

El sistema demostró alta estabilidad y confiabilidad durante el funcionamiento continuo.

4.2.5 Validación del Sistema

La validación del sistema se realizó considerando los siguientes criterios:

Criterio	Resultado
Detección del envase	Correcta
Lectura del color	Correcta
Activación del pistón lineal	Correcta
Activación del pistón giratorio	Correcta
Sincronización general	Estable
Seguridad operativa	s

Se concluye que el sistema cumple con los requisitos mínimos de funcionamiento industrial a nivel de prototipo.

4.3 Análisis y discusión

A partir de los resultados obtenidos en la recolección de datos y en las pruebas de validación del sistema automatizado de clasificación de envases por color, se realizó un análisis comparativo entre el proceso manual y el proceso automatizado, con el fin de evaluar las mejoras alcanzadas en términos de tiempo, precisión, productividad y seguridad. Antes de la implementación del sistema, la clasificación de los envases se efectuaba de manera manual, dependiendo completamente de la intervención del operario, lo que generaba demoras, errores por distracción o fatiga y una baja estandarización del proceso. En esta condición, el tiempo promedio de clasificación por envase oscilaba entre 28 y 32 segundos, mientras que el porcentaje de precisión se encontraba entre el 82 % y 85 %, debido a fallas humanas en la identificación del color y en el direccionamiento del envase.

Con la implementación del sistema automatizado, el proceso pasó a ser controlado por el PLC, con apoyo del sensor capacitivo, el sensor de color tipo Arduino, la faja transportadora y los actuadores neumáticos. Los resultados muestran que el tiempo promedio de clasificación se redujo a un rango de 15 a 18 segundos por envase, lo que representa una disminución aproximada del 40 % al 50 % respecto al proceso manual. Asimismo, la precisión de clasificación se incrementó hasta un valor aproximado de 92.5 %, evidenciando una mejora significativa en la confiabilidad del proceso. En términos de productividad, el sistema manual permitía clasificar alrededor de 90 envases por hora, mientras que con el sistema automatizado se alcanzó una capacidad de entre 150 y 165 envases por hora, incrementando notablemente el rendimiento de la línea.

Desde el punto de vista de la seguridad industrial, la automatización también generó mejoras importantes, ya que se redujo la manipulación directa de los envases por parte del operario, disminuyendo el riesgo de atrapamientos, golpes o fatiga por movimientos repetitivos. El uso de pistones neumáticos, electroválvulas 5/2 y el control secuencial a través del PLC permitió que el proceso se ejecute de manera continua, ordenada y segura. Sin embargo, durante las pruebas también se identificaron ciertas limitaciones, como la sensibilidad del sensor de color ante cambios de iluminación y la dependencia del sistema neumático a una presión de aire estable para garantizar una correcta sincronización de los movimientos.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que la automatización del sistema de clasificación por color cumple con los objetivos planteados en el proyecto, validando la hipótesis general de que la automatización mejora significativamente la eficiencia, la precisión, la productividad y la seguridad del proceso. Asimismo, se evidencia que el sistema desarrollado constituye una solución viable y funcional para su aplicación en entornos industriales de pequeña y mediana escala, con posibilidades de mejora futura mediante la incorporación de sensores industriales de mayor robustez y sistemas de supervisión más avanzados

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RESULTADOS

5.1 Conclusiones

1. Se logró diseñar e implementar exitosamente un sistema automatizado de clasificación de envases por color utilizando sensores, PLC y actuadores neumáticos.
2. El sistema permite clasificar correctamente envases de color rojo y azul con un alto nivel de precisión.
3. La automatización redujo los tiempos de clasificación y aumentó la productividad.
4. La programación del PLC permitió una sincronización adecuada entre sensores, pistones y faja.
5. La implementación demuestra que la automatización es una herramienta eficaz para optimizar procesos industriales.
6. El sistema desarrollado es una base sólida para futuras mejoras y ampliaciones.

5.2 Recomendaciones

1. Implementar sensores de mayor precisión para mejorar la confiabilidad de la detección del color.
2. Incorporar una interfaz HMI para el monitoreo en tiempo real del proceso.
3. Realizar mantenimiento preventivo periódico al sistema neumático y eléctrico.
4. Optimizar los tiempos de los temporizadores del PLC para mejorar aún más la productividad.
5. Ampliar el sistema para clasificar más colores u otros tipos de envases.
6. Proteger adecuadamente los sensores del polvo y la iluminación externo

REFERENCIAS.

Rivera Rojas, M. C., et al. (2023). Simulation of an Automated Sorting System for Peruvian mangoes (tesis). Repositorio Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14235/1/IV_FIN_112_TE_Coaquira_Ortiz_Quintanilla_Rivera_Valenzuela_Yanarico_2023.pdf?utm_source=.com

Rodríguez Arámbulo, E. J. (2017). Automatización en la clasificación del plástico a través de sensores de color (tesis). Repositorio Universidad Ricardo Palma (URP). https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/43b420fb-0223-48ea-bb17-c218534ef238?utm_source=.com

Naupay Quispe, B. F. (2021). Diseño de una máquina clasificadora de botellas PET por color (tesis). Repositorio Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10543/1/IV_FIN_112_TE_Naupay_Quispe_2021.pdf?utm_source=.com

López Espinoza, A. (año). Prototipo de planta industrial de reciclaje de envases (tesis). Repositorio UPC. https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/552361/Tesis%20L%C3%B3pez%20-%20Tinoco.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm_source=.com

Bernales, L. A. (2019). Automatización y control en procesos industriales [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias y Humanidades]. Repositorio UCH.

Marín Flores, O. G. (2002). Automatización de un laboratorio de Ingeniería Química utilizando PLC's conectados a través de una red supervisada por SCADA [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/1007>

Riquelme Aguilar, J. A. (2014). Fundamentos operacionales y de automatización en el sistema de minería continua [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio UChile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/1320683>

Zárate Taipe, C. L. (2003). Automatización integral mediante PLC del proceso de alimentos balanceados [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].

ANEXO

Problema General	Objetivo General	Hipotesis General	Variable Independiente	Indicador VI	Variable Dependiente	Indicador VD
¿Cómo diseñar e implementar un sistema automatizado que permita clasificar eficientemente envases por color en una línea de producción?	Diseñar e implementar un sistema automatizado de clasificación de envases por color para mejorar la precisión y eficiencia en la línea de producción.	Si se implementa un sistema automatizado de clasificación por color, entonces aumentará la eficiencia y precisión del proceso, reduciendo errores de clasificación.	Sistema automatizado		Eficiencia y precisión	
Problema General	Objetivo General	Hipotesis General	Variable Independiente	Indicador VI	Variable Dependiente	Indicador VD
¿Cómo lograr que el sensor de color detecte correctamente el color de las tapas de los envases sin ser afectado por la iluminación del entorno?	Implementar la calibración del sensor de color para asegurar una detección confiable de las tapas.	Si el sensor de color está correctamente calibrado, entonces identificará de forma precisa los colores sin afectarse por la iluminación.	Calibración del sensor de color	SI / NO	Precisión de detección	% de detecciones correctas
¿De qué manera el pistón de doble efecto puede detener el envase en el punto exacto para que el sistema realice la clasificación sin errores?	Programar el PLC para controlar el pistón de doble efecto con tiempos adecuados para posicionar correctamente el envase.	Si el pistón de doble efecto es controlado por el PLC con tiempos precisos, entonces detendrá el envase en la posición exacta.	Control del pistón de doble efecto	SI / NO	Posicionamiento del envase	% de detenciones exactas
¿Cómo hacer que el pistón giratorio funcione sincronizado con el PLC para redirigir el envase según el color detectado?	Integrar el pistón giratorio con el PLC y las válvulas 5/2 para lograr una redirección automática según el color detectado.	Si el pistón giratorio está correctamente sincronizado con el PLC, entonces redireccionará los envases hacia la vía correcta según el color detectado.	Sincronización del pistón giratorio	SI / NO	Clasificación correcta	% de envases dirigidos correctamente

