



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TEMA:

**Diseño de un sistema automatizado para el proceso de traslado de
botellas en una planta de envasado.**

AUTOR:

Barberán López, Fabián André

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TUTOR:

Ing. Bonilla Sánchez, Ronnie Alexander, MsC.

Guayaquil, Ecuador

25 de agosto del 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Barberán López, Fabián André**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Automatización**.

TUTOR (A)

f. _____

Ing. Bonilla Sánchez, Ronnie Alexander, MsC.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD.

Guayaquil, a los 25 del mes de agosto del año 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Barberán López, Fabián André**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño de un sistema automatizado para el proceso de traslado de botellas en una planta de envasado** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Automatización**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 25 del mes de agosto del año 2025

EL AUTOR (A)

f. _____

Barberán López, Fabián André



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Barberán López, Fabián André**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño de un sistema automatizado para el proceso de traslado de botellas en una planta de envasado**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 25 del mes de agosto del año 2025

EL AUTOR:

f. _____

Barberán López, Fabián André



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis - André Barberán - 2025

< 1%
Textos sospechosos

< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas
2% Idiomas no reconocidos (ignorado)
5% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: Tesis - André Barberán - 2025.docx
ID del documento: 2a2cc73d115c7cca5727976550d601c66af355c7
Tamaño del documento original: 8,47 MB

Depositante: Ronnie Alexander Bonilla Sánchez
Fecha de depósito: 21/8/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 21/8/2025

Número de palabras: 13.567
Número de caracteres: 92.693

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.pilz.com EN ISO 13849-1 ▶ La base para el nivel de prestaciones - Pilz ES https://www.pilz.com/en-ES/support/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
2	TT-TL-B-2023-Final- recibida 29-01-2024.docx TT-TL-B-2023-Final- recib... #4e465c viene de: de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
3	repositorio.utc.edu.ec https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9171/1/AUTC-PIM-000581.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
4	dspace.ucuenca.edu.ec Implementación de una aplicación de Internet Industri... http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/37165/4/Trabajo de Titulacion.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
5	www.amoriabond.com The advantages and disadvantages of automation and t... https://www.amoriabond.com/en/insights/oleg/the-advantages-and-disadvantages-of-autom...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)

Se revisó el Trabajo de Titulación, **Diseño de un sistema automatizado para el proceso de traslado de botellas en una planta de envasado** presentado por el estudiante **Barberán López, Fabián André** de la carrera de Ingeniería en Electrónica y automatización, donde obtuvo del programa COMPILATIO, el valor de <1% de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección.

Certifica,

TUTOR:

f. _____

Ing. Bonilla Sánchez, Ronnie Alexander, MsC.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico, en primer lugar, a Dios, porque sin Él no tendría la oportunidad de estar donde estoy y alcanzar este importante logro en mi vida.

A mis padres, quienes con su ejemplo me enseñaron que el sacrificio, la honestidad y la humildad son los pilares que permiten llegar a alcanzar todas tus metas y sueños.

De manera especial, dedico este esfuerzo a la memoria de mi abuelo Freddy, quien partió este año, pero cuyo recuerdo me acompaña siempre. Estoy seguro de que, desde el cielo, me brinda su apoyo y bendición.

Finalmente, a mis amadas mascotas Tino y Max, quienes también partieron este año y a quienes extraño profundamente. Su compañía y cariño fueron parte importante de mi vida, y esta dedicatoria también es para ellos.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza y la perseverancia necesarias en los momentos más difíciles, cuando creí que no sería posible culminar este proyecto. Su guía me permitió mantener la fe y avanzar con determinación en cada etapa de mi formación.

A mi familia, en especial a mis padres y a mi hermana, les expreso mi más profundo agradecimiento por su apoyo incondicional, por alentarme a seguir adelante y acompañarme en cada paso de mi carrera universitaria. Sin su respaldo, este logro no habría sido posible.

Extiendo también mi gratitud a mi tutor de tesis, el ingeniero Ronnie Alexander Bonilla Sánchez, quien con sus consejos, conocimientos y orientación constante, fue una guía fundamental durante el desarrollo y sustentación de este trabajo.

Finalmente, deseo agradecer a mis mascotas, Gigi y Lucky, quienes con su compañía incondicional hicieron más llevaderas las largas jornadas de desvelo dedicadas a la elaboración de esta tesis.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD.

DECANO O DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. Ubilla González, Ricardo Xavier, MsC.

COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

(NOMBRES Y APELLIDOS)

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Generalidades Del Trabajo De Titulación 2	
1.1 Introducción	2
1.2 Definición del problema.....	3
1.3 Justificación del problema	4
1.4 Objetivos del problema de investigación	5
1.5 Antecedentes	5
1.6 Metodología de la investigación	6
1.7 Hipótesis	7
Capítulo 2: Marco Teórico.....	8
2.1 Automatización Industrial	8
2.1.1 Definición.....	8
2.1.2 Ventajas y Desventajas	8
2.1.3 Niveles de automatización	10
2.1.4 Aplicaciones	11
2.2 Sistemas de Transporte en Plantas de Producción	12
2.2.1 Tipos de sistema de traslado	12
2.2.2 Selección de sistema de transporte	13
2.2.3 Parámetros de diseño.....	14
2.3 Sistemas de Control.....	15
2.3.1 Controladores Lógicos Programables (PLC).....	15
2.3.2 Tipos y características de un PLC	15
2.3.3 Lenguajes de programación	17
2.3.4 Sensores y actuadores	20
2.3.5 Tipos de sensores	21
2.3.6 Tipos de actuadores	23
2.3.7 Variadores de frecuencia	24
2.4 Componentes Eléctricos	24
2.4.1 Elementos eléctricos de Automatización.....	24
2.4.2 Sistemas de alimentación y protección	26
2.4.3 Elementos de control	28
2.5 Mecánica y Neumática	29
2.5.1 Principios básicos de la neumática	29
2.5.2 Elementos neumáticos.....	29
2.5.3 Elementos mecánicos.....	30
2.5.4 Relación entre mecánica y automatización.....	31
2.6 Normativas y Seguridad Industrial.....	32

2.6.1 Normas aplicables a procesos automatizados	32
2.6.2 Seguridad en sistemas de transporte de botellas	33
2.6.3 Protección de operadores y prevención de accidentes	34
2.7 Comunicación de Procesos.....	35
2.7.1 Reseña de comunicación de Procesos	35
2.7.2 Interfaz Hombre-Máquina	36
2.8 Casos de estudio o antecedentes similares	36
Capítulo 3: Levantamiento de información	39
3.1 Antecedentes de la empresa.....	39
3.2 Ubicación de la empresa	40
Capítulo 4: Diseño del sistema y resultados	44
4.1 Descripción General del Sistema	44
4.2 Requerimientos del Sistema.....	45
4.2.1 Requerimientos funcionales.....	45
4.2.2 Requerimientos técnicos.....	48
4.2.3 Requerimientos de seguridad	50
4.3 Selección de Componentes.....	51
4.3.1 Componentes mecánicos y neumáticos.....	51
4.3.2 Componentes eléctricos y electrónicos	53
4.3.3 Sistemas de control y monitoreo	57
4.4 Diseño del Sistema	59
4.4.1 Diagrama del proceso automatizado.....	59
4.5 Programación y Lógica de Control	65
4.5.1 Visión General del Sistema.....	65
4.5.2 Variables y Bloque de Datos.....	66
4.5.3 Lógica de Control de Movimiento.....	70
4.5.4 Configuración de Hardware	71
4.5.5 Guía de Operación y Solución de problemas.....	71
4.5.6 Creación del objeto tecnológico Motion Control para posicionamiento vertical del cabezal.....	72
4.5.7 Descripción de los bloques de función y datos del sistema...	73
4.6 Simulación y Validación del Diseño	78
Capítulo 5: Evaluación técnica económica.....	81
5.1 Análisis técnico	81
5.2 Evaluación económica	83
Bibliografía	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de automatización e Industria 4.0	10
Figura 2. Controlador Lógico Programable	15
Figura 3: Controlador Lógico Programable Modular	17
Figura 4: Lenguaje de Programación Ladder Diagram.....	17
Figura 5: Lenguaje de Programación Function Block Diagram	18
Figura 6: lenguaje de Programación Sequential Function Chart	19
Figura 7: Lenguaje de Programación Structured Text.....	19
Figura 8: Sensor de Luz	20
Figura 9: Válvula de Bola.....	21
Figura 10: Sensor de Proximidad Inductivo	22
Figura 11: Sensor de proximidad capacitivo	22
• Figura 12: Motor Eléctrico	23
Figura 13: Variador de Frecuencia.....	24
Figura 14: Ubicación Geográfica de la empresa	40
Figura 15: Plano físico de la planta de envasado.....	43
Figura 16: Diagrama de Flujo de la secuencia del sistema	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Normativas que se aplican a procesos automatizados industriales ...	32
Tabla 2: Variables de Parámetros y Bloque de Datos	66
Tabla 3: Posición de camadas y Descarga de envases.....	68
Tabla 4: Entradas y Salidas de Variables Analógicas y Digitales	68
Tabla 5: Tabla detallada de costos directos e indirectos	83
Tabla 6: Tabla de beneficio en relación al Costo (TIRIBAN).....	84

Resumen

El presente proyecto de tesis comprende el diseño de un sistema automatizado destinado al traslado de botellas hechas de vidrio en una planta de envasado. Hoy en día, este trabajo se maneja de forma manual gracias al apoyo de montacarguistas y operarios, lo que provoca tiempos improductivos, riesgos de seguridad y posibles daños en el producto. Teniendo en cuenta esta problemática, se propone una solución que se basa en la incorporación de un manipulador que se controla mediante un PLC, equipado con pinzas inflables que permiten sujetar de manera segura y eficiente los envases.

El sistema está hecho para trasladar las botellas desde los pallets hasta una banda transportadora que alimenta a la máquina decoradora de envases. Su diseño integra sensores, motores eléctricos y dispositivos neumáticos, los cuales se encuentran coordinados por medio de un esquema de control que mejora la eficiencia del proceso. Con esta idea, se busca además de disminuir la dependencia de la mano de obra en tareas repetitivas, aumentar la productividad de la empresa, y mejorar la seguridad laboral y no comprometer la integridad del material que se transporta.

Palabras clave: *Sistema automatizado, Botellas, Camadas, Envases, Sostenibilidad, Rentabilidad*

Abstract

This thesis project involves the design of an automated system for transporting glass bottles in a packaging plant. Currently, this work is handled manually by forklift drivers and operators, resulting in downtime, safety risks, and potential damage to the product. Considering this problem, a solution is proposed based on the incorporation of a PLC-controlled manipulator equipped with inflatable grippers that safely and efficiently hold the containers.

The system is designed to move the bottles from pallets to a conveyor belt that feeds the container-decorating machine. Its design integrates sensors, electric motors, and pneumatic devices, which are coordinated through a control scheme that improves process efficiency. This idea seeks to reduce the dependence of labor on repetitive tasks, increase the company's productivity, and improve workplace safety without compromising the integrity of the transported material.

Keywords: *Automated system, Bottles, Layers, Packaging, Sustainability, Profitability*

Capítulo 1: Generalidades Del Trabajo De Titulación

1.1 Introducción

Dentro del área de las industrias en el Ecuador, la automatización se plantado como una respuesta efectiva para la optimización procesos y reducción de costos. A pesar de que aún existen plantas que siguen los métodos tradicionales, a medida que pasa el tiempo la importancia de recurrir a tecnologías automatizadas es cada vez más notable. Ciertas ciudades como Guayaquil, donde la industrialización juega un rol indispensable en la economía local, la implementación de sistemas inteligentes permite aumentar la seguridad, mejorar el desempeño y reducir la dependencia de la mano de obra directa. En este campo, las soluciones autónomas no aportan únicamente a los beneficios técnicos, sino que también a la contribución del desarrollo industrial sostenible a nivel nacional. Es por este motivo que proyectos que se enfocan en este ámbito poseen un gran potencial de impacto y aplicabilidad en la vida real.

El presente proyecto de tesis se enfoca en el diseño de un sistema automatizado para el proceso de traslado de botellas en una planta de envasado que se encuentra ubicada en la Vía Perimetral, Guayaquil. Hoy en día, esta tarea se realiza manualmente por operarios, generando errores en el posicionamiento, retrasos en el tiempo de trabajo y costos operativos elevados. Con esta propuesta de diseño se busca

mejorar el rendimiento del flujo de producción, reducir la intervención humana y asegurar un aumento en la precisión del proceso. El sistema automatizado cuenta con elementos que garanticen continuidad, seguridad y eficiencia en la línea de envasado. Asimismo, el diseño se orienta a ser viable técnicamente y aplicable dentro del entorno real de la planta. Este trabajo significa una solución sólida a una necesidad operativa y un aporte al avance tecnológico del sector.

1.2 Definición del problema

En la planta de envasado localizada en la Vía Perimetral, Guayaquil, el ciclo de traslado de envases se realiza de manera manual en la actualidad, lo cual representa un conjunto de problemas tanto económicos como operativos. La manera en la que se maneja este trabajo, aparte de requerir mayor cantidad de personal, aumenta los costos laborales y causa retrasos en la línea de producción.

La manipulación manual también conlleva un mayor margen de errores, tales como la ubicación incorrecta de los envases, que puede generar caídas o interrupciones en el flujo del proceso. Estos errores no solo afectan la productividad, sino que también pueden verse manifestadas en la calidad del producto final y la seguridad del personal que se encuentra en la zona de trabajo. Teniendo presente estas limitaciones, surge la necesidad de implementar una solución automatizada que permita optimizar el

traslado de botellas, disminuir el rango de error y mejorar la continuidad del proceso productivo.

1.3 Justificación del problema

La instalación de sistemas autónomos en los procesos industriales ha pasado a ser en una necesidad para las empresas que buscan mejorar su competitividad en el mercado y eficiencia operativa. Específicamente hablando de la planta de envasado, automatizar el traslado de botellas es una gran oportunidad para optimizar el uso de recursos, minimizar los tiempos de producción y reducir errores a causa de la manipulación manual.

Un sistema automatizado ayudaría a estandarizar el proceso, aumentar la precisión en el posicionamiento de las botellas y disminuir el peligro de daños o interrupciones en la línea. Incluso, el hecho de no depender de la mano de obra directa contribuiría a una operación más sostenible y rentable por un período largo de tiempo. Este proyecto, por ende, no solo busca resolver una problemática puntual, sino que también se acopla con las tendencias actuales de modernización industrial y mejora continua dentro del área de automatización.

1.4 Objetivos del problema de investigación

1.4.1 Objetivo General

Realizar una propuesta de mejora para el proceso de traslado de botellas de vidrio mediante un sistema automatizado en una planta de envasado.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un levantamiento de información de los procesos de la planta de envasado.
2. Diseñar un sistema del proceso de traslado de botellas el cual opere de manera automatizada.
3. Evaluar los beneficios técnicos y económicos del proyecto.

1.5 Antecedentes

A medida que el tiempo avanza, también avanza la tecnología, la cual día a día va convirtiéndose en algo más indispensable y cotidiano en nuestra rutina, y es algo que también sucede en las plantas industriales, específicamente en los procesos que se llevan a cabo para que la empresa produzca.

Últimamente en el negocio la competencia entre empresas se vuelve cada vez más competitiva, en la cual quien lleve consigo mejor calidad y eficacia en el menor tiempo posible para tener listos sus productos llevan la ventaja sobre los demás, y lo que se

implementa en la mayoría de plantas industriales hoy en día para lograr eso es la automatización.

La automatización surge como una herramienta clave para lograr estos objetivos. Adaptarse a esta transformación tecnológica ya no es una opción, sino una necesidad para avanzar. Así, se abre paso a proyectos que integren tecnología con eficiencia operativa.

1.6 Metodología de la investigación

La presente investigación se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo, el cual permite analizar de forma objetiva y precisa los datos recolectados durante el estudio. Este enfoque resulta pertinente debido a que el diseño y la evaluación de un sistema automatizado para el traslado de botellas requiere la medición de variables técnicas como tiempos de traslado, eficiencia del sistema, consumo energético, entre otros. Además, se empleará un método investigativo y descriptivo, ya que se busca comprender en detalle el funcionamiento actual del proceso de transporte en la planta de envasado, identificar sus limitaciones y proponer una solución técnica fundamentada. Por medio de la observación directa, recolección de datos, y análisis técnico, se pretende describir de manera clara y bien estructurada cada ciclo del sistema a proponer, asegurando que éste cumpla con los requerimientos operativos y de automatización que se necesiten.

1.7 Hipótesis

Los sistemas automatizados mejoran el proceso de traslado de botellas de la planta de envasado.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Automatización Industrial

2.1.1 Definición

La automatización industrial se define como el empleo de tecnologías avanzadas tales como sensores inteligentes, actuadores, redes industriales y sistemas informáticos para gestionar y optimizar procesos productivos con mínima intervención humana. Este enfoque integra el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), la instrumentación avanzada y el análisis de datos en tiempo real, esto ayuda a mejorar la precisión, seguridad y eficiencia operativa. Según (Cyngn, 2022) la automatización industrial es “el uso de tecnología avanzada y maquinaria para agilizar tareas industriales con menor intervención humana”.

2.1.2 Ventajas y Desventajas

Ventajas

- Aumento en la productividad y eficiencia; Las máquinas trabajan sin detenerse, acelerando los procesos de producción y disminuyendo tiempos muertos (Akshay, 2025).
- Consistencia en la calidad; La precisión de los sistemas automatizados minimiza errores y exceso de trabajo, garantizando uniformidad en los productos (RoboticsBiz, 2021).

- Mejora en la seguridad laboral; cuando a tareas peligrosas se refiere, la automatización reduce el riesgo de accidentes (Javier, 2024).
- Optimización de costos operativos; a pesar de la inversión inicial, a mediano y largo plazo se consiguen ahorros de manera significativa (Akshay, 2025).

Desventajas

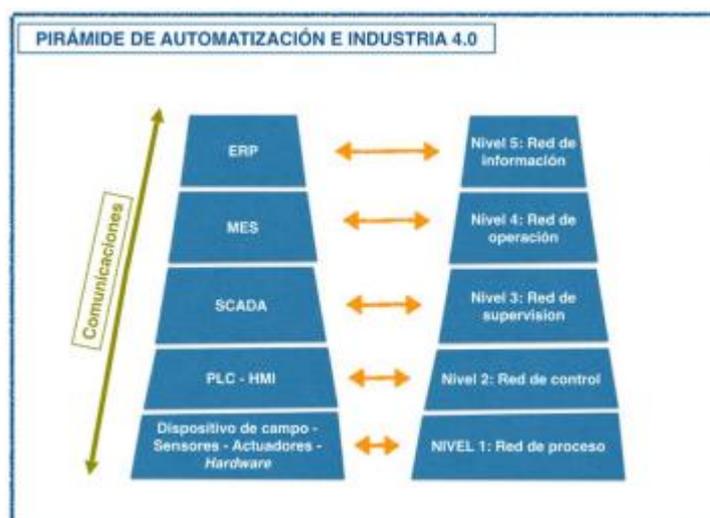
- Costo inicial elevado; la adquisición e instalación de sistemas automatizados significa un gasto considerablemente grande, lo que representa una barrera en empresas que poseen pocos recursos (Siddhesh, 2024).
- Habilidades técnicas como requerimiento; se necesita de trabajadores calificados para la operación y mantenimiento, lo que tiene como consecuencia que se tiene que invertir en formación (Amaria, 2023).
- Desplazamiento laboral; las tareas cotidianas pueden ser realizadas por máquinas, lo que conlleva al reemplazo de los trabajadores por máquinas y significa la pérdida de empleo de una parte del personal (Siddhesh, 2024).
- Falta de flexibilidad ante cambios; los sistemas de especialización alta requieren que se rediseñen o una reprogramación para adaptarse a nuevas líneas o productos. (Amaria, 2023).

2.1.3 Niveles de automatización

La estructura de la automatización industrial normalmente se organiza en niveles jerárquicos:

- Nivel de campo; donde sensores y actuadores interactúan de manera directa con el entorno físico.
- Nivel de control; los controladores lógicos programables (PLC) gestionan operaciones en tiempo real.
- Nivel de supervisión; los sistemas SCADA/HMI permiten monitoreo y control centralizado.
- Nivel MES/ERP, donde se gestiona la ejecución de la producción (MES) y une con la planificación empresarial (ERP) (Barragán, 2023).

Figura 1. Pirámide de automatización e Industria 4.0



Nota: Gestión de procesos y mejora continua de procesos. Fuente: (Barragán, 2023)

Con la evolución hacia la Industria 4.0, se incorporan arquitecturas distribuidas, gemelos digitales, IA y sistemas ciberfísicos, que integran todos los niveles en tiempo real (Javier, 2024).

2.1.4 Aplicaciones

La automatización industrial actualmente cuenta con un amplio campo de aplicaciones, entre ellas:

- Ensamblaje y manufactura, en donde las máquinas realizan tareas como soldar, agarrar y colocar, y empaquetar con una precisión alta (Daniel, 2023).
- Logística y almacenamiento, el cual consiste en vehículos guiados (AGVs) que se encargan de gestionar el transporte de materiales sin la necesidad de intervención de mano de obra (Cyngn, 2022).
- Inspección automatizada, básicamente sistemas de visión artificial que realizan control de calidad en línea, eliminando productos que contengan cualquier tipo de defecto (Daniel, 2023).
- Entornos de riesgo, la aplicación de la automatización remota en minería, química o alta temperatura se encarga de proteger a los operadores (Bauer Harald, 2023).
- Monitoreo y optimización continua, el internet de las cosas, la inteligencia artificial y el análisis de datos permiten mantenimiento predictivo y ajustes en tiempo real (Javier, 2024).

2.2 Sistemas de Transporte en Plantas de Producción

2.2.1 Tipos de sistema de traslado

En el área industrial los sistemas de transporte son variables y se seleccionan según las características del material que se transporta y la configuración del proceso productivo (Exotec, 2024). Los principales tipos de traslado que se encuentran en las industrias son:

- Transportadores de banda; se hace uso de una cinta continua que se impulsa por medio de rodillos motorizados. Son de versatilidad alta y de bajo costo, adecuados para transportar productos de diversos tamaños y formas. Además, manejan inclinaciones moderadas y recorridos curvos gracias a rodillos especiales.
- Transportadores de rodillos; tal como su nombre indica, se conforman por rodillos giratorios; útiles para cajas y pallets, ofrecen una fricción mínima y un mantenimiento sencillo para su cuidado.
- Transportadores de cadena; se basa en el uso de rodillos giratorios montados sobre un bastidor, son ideales para cargas pesadas o con temperaturas elevadas, e incluye cadenas metálicas que arrastran productos en entornos complicados.
- Transportadores neumáticos y de vacío; basados en corrientes de aire que desplazan materiales livianos o granulares, comunes en alimentos y farmacéutica.
- Transportadores de gravedad; aprovechan la pendiente y el peso natural, sin necesitar el uso de un motor, adecuados para movimientos horizontales o descendentes simples.

- AGVs (Vehículos de Guiado Automático); sistemas móviles autónomos que transportan cargas en piso, siguiendo rutas predefinidas por medio de sensores y software de control. (Azangoo, 2021)

2.2.2 Selección de sistema de transporte

La elección del sistema de transporte adecuado se fundamenta en parámetros determinantes como el tipo de carga, la velocidad operativa que se requiera, la distribución del layout, el espacio disponible y los costos asociados, según investigaciones recientes (Fernández, 2021).

- Naturaleza del material; frágil, abrasivo, polvoriento o pesado exige sistemas específicos, como bandas suaves, tubulares sellados o cadenas resistentes.
- Flujo y rendimiento; tasa de producción, ritmo de línea y acumulación intermedias definen la velocidad, capacidad y automatización del sistema.
- Distribución del layout; el espacio físico guía la elección; bandas para recorridos lineales, AGVs si hay múltiples rutas o varia layouts combinación de sistemas mixtos.
- Mantenimiento y confiabilidad; se evalúan costos totales de propiedad, facilidad de acceso, fallos comunes e impacto de paradas.
- Economía; se equivalentes los costos iniciales, operativos y de infraestructura para seleccionar la opción más eficiente.

2.2.3 Parámetros de diseño

- Capacidad de carga; dependiendo del volumen o masa promedio a transportar, se determina el tamaño de la banda transportadora y la potencia del motor a utilizar (Oketola, 2021).
- Velocidad de transporte; la velocidad que se va a aplicar al proceso se ajusta a la cadencia de producción para evitar caídas de botella o acumulación excesiva de envases en ciertas zonas del proceso.
- Configuración geométrica; este es otro aspecto clave ya que la longitud, los giros, las pendientes, y el espacio libre influyen en la disposición del sistema y la funcionalidad del mismo (Rodríguez, 2023).
- Selección del motor y transmisión; para llevar a cabo una selección adecuada de estos componentes se realiza un cálculo que se basa según la carga y la velocidad, teniendo en cuenta también las arrancadas, el torque y la eficiencia energética.
- Seguridad y normativas; en este parámetro se incluyen todo lo que son las cercas, las protecciones, los controles de parada y que el sistema se encuentra adherido a normas las internacionales (CE, ISO, ANSI).
- Integración con automatización; en esta parte es donde se tienen los sensores de presencia, los códigos QR, los sistemas WMS/MES y el control del PLC o AGVs para asegurar esa sincronía hará que el proceso sea eficiente y fluido.

2.3 Sistemas de Control

2.3.1 Controladores Lógicos Programables (PLC)

El Controlador Lógico Programable (PLC) ha sido el pilar fundamental de los sistemas de control industrial a lo largo de toda la tercera revolución industrial, donde su misión ha sido principalmente comandar los lazos de control de bajo nivel regulatorio. Los PLC son controladores digitales esenciales en la automatización industrial, ya que su función principal es automatizar procesos y controlar maquinarias, esto gracias a que son capaces de gestionar entradas y salidas en tiempo real bajo condiciones adversas. (Mellado Aceitón, 2020)

Figura 2. Controlador Lógico Programable



Nota: PLC marca SIEMENS modelo S7-1200. Fuente: (Siemens, 2023)

2.3.2 Tipos y características de un PLC

Los tipos de PLC pueden ser:

- **Monolíticos:** Todo integrado en una única carcasa, donde se integran el CPU, las entradas y salidas digitales, y la fuente de alimentación. Son ideales para aplicaciones compactas gracias a su estructura fija e instalación simple.

- Modulares: Consta de un CPU independiente, y cuenta con módulos de entradas y salidas (E/S) y comunicación y alimentación que se convergen en un bastidor común. Esta estructura ofrece una mayor flexibilidad ante cambios, ya que ayuda a que el sistema se adapte fácilmente al crecimiento de la planta agregando nuevos módulos según se necesite.

- Componentes: CPU (el cual contiene un procesador y una memoria ROM/RAM), fuente de alimentación, módulos de entrada y salida, y puertos de conexión (entre los cuales se encuentran Ethernet, RS-485, Profibus, entre otros).

En cuanto a las características de los PLC tenemos:

- Programabilidad, ya que puede ser configurado mediante cualquier lenguaje de programación que se encuentre estandarizado (ICE 61131-3).

- Flexibilidad, debido a que se adapta a varios procesos industriales gracias a los módulos de entradas y salidas que posee.

- Confiabilidad, su alta tolerancia a vibración, polvo y temperaturas extremas, lo convierte en un componente con alta tolerancia a fallos en estos entornos industriales exigentes.

- Interfaz con el proceso, permitiendo el enlace directo con actuadores, sensores, y sistemas de comunicación industrial, ejecutado en ciclos de escaneo cortos, asegurando respuestas en tiempo real. Además de que se comunica con sistemas SCADA, HMI, entre otras plataformas de automatización.

Figura 3: Controlador Lógico Programable Modular



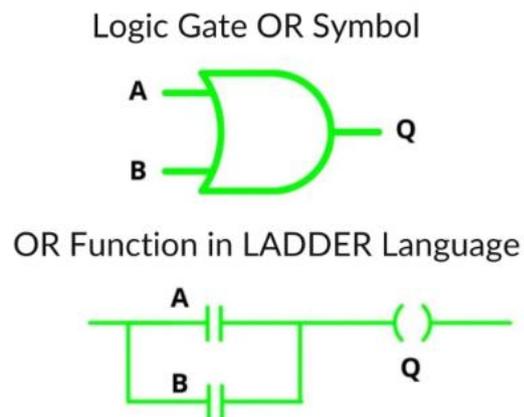
Nota: PLC modular marca LS Electric modelo XBM/XEM-H. Fuente: (Vector Energy, 2023)

2.3.3 Lenguajes de programación

Los PLC aceptan distintos lenguajes según la norma IEC 61131-3, y cada uno cuenta con características determinadas para adecuarlas a aplicaciones específicas:

- **Ladder Diagram (LD):** Lenguaje gráfico que emula esquemas de relés y es muy utilizado por técnicos e ingenieros de campo ya que les resulta muy intuitivo. Contiene un diseño simple que representa la lógica en forma de escalera con contactos y bobinas que se identifican de manera fácil, lo que hace que su comprensión sea sencilla y su mantenimiento no sea complejo (Biedulski, 2024).

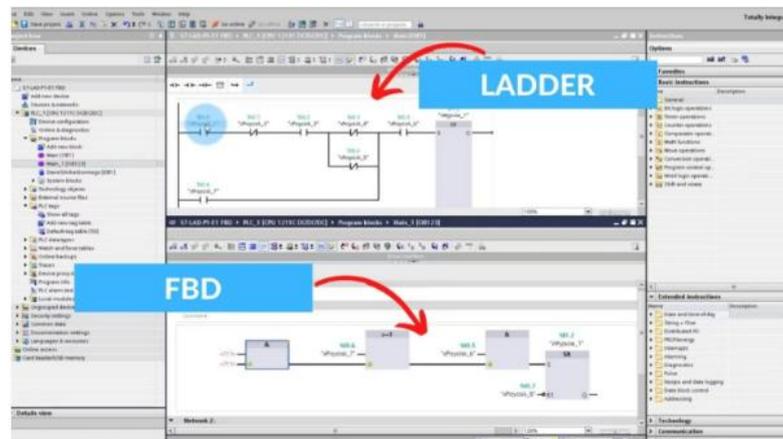
Figura 4: Lenguaje de Programación Ladder Diagram



Nota: Implementación de puerta lógica OR en lenguaje Ladder Diagram. Fuente: (Biedulski, 2024)

- **Function Block Diagram (FBD):** Este lenguaje visual permite construir lógica por medio de bloques que se encuentran interconectados de manera modular. Es ideal para controlar dispositivos donde sus entradas, salidas, comandos e interlocks requieran de una representación legible y compacta. No obstante, necesita una planificación previa mayor y puede volverse complicado de manejar en programas extensos debido al espacio gráfico que posee (Biedulski, 2024).

Figura 5: Lenguaje de Programación Function Block Diagram

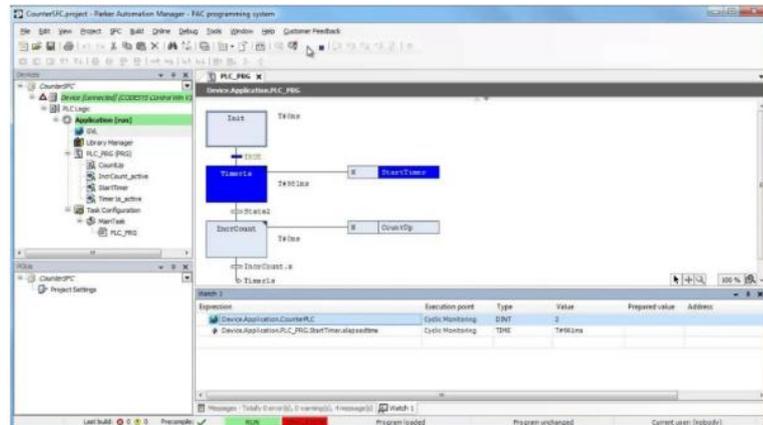


Nota: Ejemplo de un programa escrito en el lenguaje Function Block Diagram de funciones. Fuente: (Biedulski, 2024)

- **Sequential Function Chart (SFC):** Excelente para formar procesos que van por etapas identificadas de manera clara. Este lenguaje ocupa elementos gráficos como transiciones y pasos, autorizando que cada acción se ejecute hasta que una condición se cumpla para poder avanzar. Su estructura ayuda a que el seguimiento visual del flujo sea sencillo, a pesar de que en ciertos casos se

opta por reproducir la secuencia en LD por familiaridad (Biedulski, 2024).

Figura 6: lenguaje de Programación Sequential Function Chart



Nota: Ejemplo de un programa escrito en el lenguaje SFC secuencial en el entorno Codesys.

Fuente: (Biedulski, 2024)

- **Structured Text (ST):** Lenguaje de programación tipo texto de nivel alto que fue inspirado en Pascal, y tiene ciertas similitudes a C. Permite controlar estructuras complejas por medio de lógica por condiciones, bucles e invocación de funciones. Esto lo convierte en un lenguaje ideal para cálculos matemáticos y lógica avanzada, lo que ofrece más expresividad a comparación de los lenguajes gráficos, y cada vez se lo utiliza de manera más frecuente en plataformas modernas y automatización con PLC (Biedulski, 2024).

Figura 7: Lenguaje de Programación Structured Text

```
IF iTemperatura < -20 AND iWilgotnosc > 100 THEN (* sprawdź warunek dla temperatury i wilgotności *)
  xGrzałka := TRUE; (* włącz grzałkę *)
  xWentylator := TRUE; (* włącz wentylator *)
ELSE
  xGrzałka := FALSE; (* wyłącz grzałkę *)
  xWentylator := FALSE; (* wyłącz wentylator *)
END_IF;
```

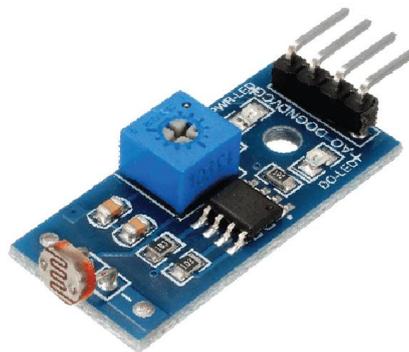
Nota: Ejemplo de comandos utilizados en el lenguaje Structured Text. Fuente: (Biedulski, 2024)

- **Behavior Trees (BT):** A pesar de que es reciente en entornos industriales, estos ofrecen una estructura jerárquica modular para representar conductas complejas mediante ramas y nodos. Al incorporarse con algún PLC permiten separar la lógica de coordinación de funciones de hardware, aumentando la modularidad, claridad y flexibilidad del control (Sidorenko, 2024).

2.3.4 Sensores y actuadores

- **Sensores:** Componentes eléctricos que se encargan de medir variables físicas tales como presión, presencia, temperatura, nivel, entre otras y las transforman en señales eléctricas (UMH, 2022).

Figura 8: Sensor de Luz



Nota: Sensor de luz fotosensible analógico/digital. Fuente: (Robotics, 2022)

- **Actuadores:** Son dispositivos indispensables para todo lo que son sistemas automatizados, esto debido a que transforman diferentes formas de energía, tales como la eléctrica, neumática, hidráulica o térmica. Esta conversión permite que se ejecuten acciones específicas como movimiento, apertura y cierre, y arranque. (Thangam, 2023)

Figura 9: Válvula de Bola



Nota: Válvula de Bola (Actuador Neumático). Fuente: (Sufec, 2024)

2.3.5 Tipos de sensores

- **Sensores de proximidad inductivos**

Son frecuentemente usados en áreas industriales debido a su capacidad de identificar objetos de metal sin requerir de contacto físico, empleando para ello un campo magnético. Estos sensores se caracterizan normalmente por tener una resistencia considerable ante condiciones ambientales exigentes tales como el polvo, las vibraciones, y cambios de temperatura, lo que asegura un funcionamiento garantizado en líneas de producción (UMH, 2022).

Figura 10: Sensor de Proximidad Inductivo



Nota: Sensor de Proximidad Inductivo LJ18A3-5-Z/BX (NPN-NO). Fuente: (Novatronic, 2023)

- **Sensores de proximidad capacitivos**

Ofrecen una versatilidad mayor al poder detectar materiales de todo tipo, ya sean estos metálicos o no metálicos, incluyendo polvos, líquidos y plásticos. La base de su funcionamiento está en la variación de la capacitancia que existe entre el electrodo del sensor y el objeto identificado, lo que ayuda a operar con precisión sin necesidad de contacto directo (UMH, 2022).

Figura 11: Sensor de proximidad capacitivo



Nota: Sensor de proximidad capacitivo. Fuente: (WEG, 2023)

2.3.6 Tipos de actuadores

- **Motores eléctricos:** En lo que son sistemas de automatización industrial estos motores son componentes esenciales, ya que transforman la energía eléctrica en movimiento mecánico de manera eficiente y a la vez controlada. Existen diferentes tipos, tales como motores DC y motores AC, empleados en aplicaciones generales (Motion, 2022).

- *Figura 12: Motor Eléctrico*



Nota: Motor eléctrico. Fuente: (Packsys Academy, 2022)

- **Cilindros neumáticos:** Componentes capaces de convertir la energía del aire comprimido en movimiento lineal, esto los hace muy eficaces al momento de realizar tareas de empuje, y separación o clasificación de objetos, como es el caso de envases en líneas de producción (Mugo, 2023).
- **Válvulas solenoides:** Tienen un rol fundamental en el control de fluidos dentro de sistemas hidráulicos y neumáticos, ya que regulan el aire o el líquido que pasa por medio de una señal eléctrica, y se destacan por su rapidez de actuación y capacidad

de integrarse con sistemas automatizados de control (Group, 2024).

2.3.7 Variadores de frecuencia

Ajustan la velocidad y par de motores AC ajustando tensión y frecuencia, ofreciendo ventajas como arranques suaves, eficiencia energética y control de flujo en sistemas de bombeo o transporte. Permiten diagnóstico predictivo mediante datos de torque y eficiencia, optimizando mantenimiento (Inducom, 2023).

Figura 13: Variador de Frecuencia



Nota: Variador de Frecuencia marca INVT. Fuente: (SIOELEC, 2024)

2.4 Componentes Eléctricos

2.4.1 Elementos eléctricos de Automatización

Son componentes que permiten el control y supervisión de procesos automatizados. Entre estos componentes podemos encontrar relés, contactores, bobinas, fuentes de alimentación y controladores de lógica discreta.

Tipos y características:

- **Relés electromecánicos:** componentes que cuentan con contactos abiertos o cerrados según la señal eléctrica, utilizados comúnmente en lógica cableada y protección.
- **Contactores:** están diseñados para manejar altos niveles de corriente para darle arranque a motores o accionar válvulas.
- **Relés térmicos:** encargados de proteger los motores contra las sobrecargas manteniendo temperatura crítica.
- **Fuentes de alimentación:** transforman y regulan tensión, con opciones redundantes o para montaje en riel DIN, diseñadas para estabilidad continua en entornos industriales.

Estos elementos son los que encontramos en tableros normalizados y conectan circuitos de control por medio de borneras y esquemas con lógica relé o contactor, antes de trasladarse al PLC (Eabel, 2024).

2.4.2 Sistemas de alimentación y protección

Sistemas de alimentación:

Los sistemas de alimentación son circuitos que suministran energía confiable a maquinaria y controles, lo cual lo convierte en algo esencial para asegurar la eficiencia, la seguridad en entornos industriales, y la continuidad operativa. Este sistema incluye:

- Redes monofásicas o trifásicas, dependiendo de la potencia y la carga que el sistema requiera. Mientras que las monofásicas se utilizan en equipos de baja demanda energética, las trifásicas son requeridas en instalaciones industriales.

- Fuentes con redundancia o paralelización, se instalan en sistemas para evitar fallos críticos, como por ejemplo que exista un fallo en alguna fuente, ya que permite que otra fuente asuma la carga sin interrupciones de manera automática.

- Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI): aseguran que no hayan interrupciones en cargas esenciales, correctores de voltaje y protección contra armónicos llevando energía temporal en el momento que el suministro eléctrico principal es interrumpido.

Protecciones eléctricas:

Garantizan la seguridad del sistema y personas ante cualquier tipo de avería como un cortocircuito, dentro de lo que son las protecciones eléctricas se encuentran componentes como:

- Fusibles y disyuntores (breakers), los cuales se ocupan de desconectar en sobre corriente o cortocircuito (Eabel, 2024).
- Protectores térmicos o guardamotores, se encargan de prevenir cualquier tipo de daño causado por temperatura (CPI, 2025).
- Interruptores diferenciales, estos componentes son capaces de detectar fugas.
- Transformadores y relés de protección, su función se basa en gestionar errores existentes en los sistemas de potencia en grandes instalaciones (Eabel, 2024).

Estos sistemas deben diseñarse según normativas locales, dimensionar secciones, corregir el factor de potencia y planificar el cableado para seguridad y eficiencia.

2.4.3 Elementos de control

Son los dispositivos encargados de activar o desactivar acciones dentro del sistema eléctrico y de automatización, estos reciben señales de mando directas.

Principales componentes:

- **Botoneras y pulsadores (on-off):** permiten intervención manual y control discreto.
- **Selector de modos:** para ajustar manual/automático, local/remoto o bloqueos operacionales.
- **Luces piloto (LED, lámparas):** indican estado de procesos: encendido, falla o modo automático.
- **Temporizadores y contadores:** permiten retardos temporales o secuencias por conteo, muy útiles en respuestas controladas.
- **Convertidores e inversores:** adaptan señales entre sensores, controladores y actuadores; transforman niveles o protocolos como 0–10 V, 4–20 mA, Modbus, Profibus.

Estos elementos facilitan la interfaz operario-máquina y permiten la orquestación de secuencias de arranque-paro, selección de funciones y retroalimentación visual del sistema (Sicma21, 2023).

2.5 Mecánica y Neumática

2.5.1 Principios básicos de la neumática

La neumática utiliza aire comprimido como portador de energía para controlar y ejecutar movimientos en sistemas automáticos. Su fundamento físico se basa en las leyes de los gases ideales, como la Ley de Boyle, que relaciona presión y volumen manteniendo la temperatura constante.

Características principales:

- Rapidez en respuesta y ciclo.
- Sistema limpio y seguro (no inflamable).
- Fiabilidad incluso en ambientes con variación térmica.

Además, la normativa ISO 18582-2:2018 establece la estructura de un sistema neumático: fuente de aire, elementos de tratamiento, componentes de control y actuadores.

2.5.2 Elementos neumáticos

Son todos aquellos componentes que permiten conducir, regular y transformar el aire comprimido.

Clasificación según función (ECCI, 2024):

- Fuente de alimentación; compresores (pistón, tornillo, paletas), secadores y depósitos.
- Tratamiento del aire; filtros, reguladores, lubricadores para aire seco y limpio.

- Elementos de control; válvulas direccionales (3/2, 5/2), válvulas de presión y caudal.
- Actuadores neumáticos; cilindros de simple o doble efecto; martillos neumáticos o pinzas.

La industria adopta cada vez más válvulas digitales o proporcionales activadas electrónicamente, con sensores y comunicación para integración IIoT.

2.5.3 Elementos mecánicos

Los componentes mecánicos son elementos físicos hechos para transmitir, convertir o soportar fuerzas y movimientos en sistemas de automatización. Son esenciales para transformar la energía suministrada por actuadores (ya sean neumáticos, hidráulicos o eléctricos) en acciones reales como desplazamientos, giros, agarre, empujes o levantamiento de objetos en un proceso productivo (ECCL, 2024).

Cuando se combinan con la neumática, estos componentes convierten el movimiento lineal o rotatorio en trabajo útil:

- **Cilindros neumáticos:** Producen movimientos lineales continuos, con opciones de efecto simple o doble.
- **Motores neumáticos:** Encargados del accionamiento rotatorio, de alta velocidad.
- **Pinzas, mesas y ejes:** Permiten que se manipulen y cambien las piezas de posición.

- **Acoplamiento y guías:** Promueven la precisión y la reducción de fricción en sistemas mecánicos conectados a actuadores.

2.5.4 Relación entre mecánica y automatización

La neumática y la mecánica interactúan estrechamente en los que son sistemas automatizados:

- Un sistema automatizado integra control lógico (PLC, sensores) con componentes neumáticos/mecánicos para realizar acciones físicas.
- La retroalimentación en bucles cerrados potencia precisión. Por ejemplo, un sensor de posición puede detener un cilindro en posición exacta.
- Las válvulas proporcionales controladas digitalmente ajustan velocidad y posición, integrándose en arquitecturas IIoT (comunicación, diagnósticos, control dinámico).
- La integración en conjunto de la mecánica, neumática, y electrónica permite el diseño de secuencias de movimiento inteligentes que mejoran la seguridad, velocidad y eficiencia energética, como en líneas de envasado automatizado.

2.6 Normativas y Seguridad Industrial

2.6.1 Normas aplicables a procesos automatizados

Las normativas vigentes dictan cómo diseñar, manejar y mantener sistemas automatizados garantizando la seguridad funcional y física de máquinas y operadores de las mismas para así evitar accidentes laborales ante cualquier novedad o alerta de peligro. Entre las principales destacan:

Tabla 1: Normativas que se aplican a procesos automatizados industriales

Normativa	Descripción
ISO 12100	Establece principios y el método para el diseño seguro de maquinaria por medio de análisis de riesgos y medidas de mitigación (Pilz, EN ISO 12100. Guía para la fabricación de máquinas seguras, 2025).
IEC 62061	Se aplica en sistemas eléctricos y electrónicos para seguridad a nivel funcional, es una extensión de la IEC 61508 adaptada a maquinaria industrial (Pilz, IEC 62061– Safety integrity level (SIL), 2025).
ISO 13849	Define los niveles de integridad que necesitan los componentes de control relacionados con la seguridad, tales como las paradas de emergencia (Pilz, EN ISO 13849-1 - Norma sobre seguridad funcional, base para el nivel de prestaciones (PL), 2025).
IEC 62443	Son normas de ciberseguridad que garantizan la protección de redes de control industrial ante amenazas digitales (Pilz, Serie de normativas sobre protección IEC 62443, 2025).

Nota: Fuente (Elaboración propia)

El cumplimiento de estas normas asegura que los sistemas automatizados cuenten con evaluaciones de riesgo y protección funcional ante eventos de peligro (ISOTools, 2024).

2.6.2 Seguridad en sistemas de transporte de botellas

En plantas de llenado y envasado, los sistemas de transporte deben incluir dispositivos físicos y lógicos que protejan tanto al personal de trabajo como a la máquina:

- Interlocks mecánicos y guardas; se encargan de bloquear puertas o tapas para evitar acceso a zonas en movimiento.
- Sensores de presencia; estos detectan obstáculos cercanos y reducen la velocidad o detienen la línea automáticamente, según los niveles SIL definidos por normas como EN 62061.
- Sistemas de parada de emergencia; estas siguen las normas ISO 13850 y permiten detener toda la línea manualmente en situaciones críticas.
- Protección higiénica y normativa de alimentos; comprende de elementos tolerantes productos de limpieza (IP69), inocuidad en los materiales y resistentes a detergentes, que eviten la contaminación y garanticen seguridad alimentaria.

2.6.3 Protección de operadores y prevención de accidentes

No sólo se debe actuar ante situaciones de peligro cuando ya está presente, sino que también se pueden prevenir algunos de estos eventos, y es por eso que para proteger al personal y disminuir riesgos, se aplican medidas organizacionales y técnicas:

- ✓ Evaluación de riesgos; identificación de peligros usando FMEA, matrices de riesgo y análisis de fallos (ISO 12100).

- ✓ Equipos de Protección Personal (EPP); uso de cascos, gafas, guantes y protección auditiva según riesgo identificado.

- ✓ Diseño ergonómico y señalización; ubicación clara de E-stop y rutas de escape, con interfaces intuitivas (bajo la recomendación de ISA y Pilz).

- ✓ Gestión de salud y seguridad (ISO 45001); marco para mejorar continuamente las condiciones laborales, integrando inspección, capacitación y objetivos de prevención.

- ✓ Mantenimiento preventivo y formación; mantener equipos en condiciones óptimas y asegurar que los operadores conozcan protocolos de emergencia y gestión de riesgos.

2.7 Comunicación de Procesos

2.7.1 Reseña de comunicación de Procesos

La comunicación de procesos es una parte indispensable en los sistemas de automatización industrial, ya que da lugar a la transmisión correcta de información que pasan entre los diferentes elementos de un proceso de producción, tales como actuadores, controladores lógicos programables, sensores, actuadores, entre. Lo que se quiere lograr principalmente con la comunicación de procesos es una interacción precisa, segura y que esté en sincronía con los distintos niveles del sistema, desde el control de campo hasta los sistemas de gestión.

Con el pasar de los años, esta comunicación ha desarrollado desde sistemas propietarios y de baja velocidad, hasta redes de alta capacidad, estandarización y confiabilidad. Protocolos como Modbus, Ethernet/IP y OPC-UA han sido herramientas importantes para asegurar la interoperabilidad entre equipos que provienen de diferentes fabricantes. Asimismo, permiten supervisar el monitoreo y control de procesos en tiempo real, lo cual aumenta la eficiencia operativa y la trazabilidad de las acciones.

Actualmente, gracias a la transición hacia la Industria 5.0, la comunicación de procesos no se limita solo al intercambio de datos entre dispositivos, sino que busca de igual manera que el ser humano sea parte activa del sistema. Esto se logra mediante la colaboración entre sistemas cibernéticos y operadores, fomentando una interacción intuitiva, segura y eficiente entre ambas partes (Aula21, 2025).

2.7.2 Interfaz Hombre-Máquina

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) representa el medio a través del cual los operadores pueden interactuar con los sistemas automatizados. Esta interfaz tiene el trabajo de mostrar en tiempo real información crítica del proceso, como alarmas, variables de operación, estado de equipos, entre otros datos relevantes. Asimismo, permite al usuario ejecutar comandos o ajustes necesarios para mantener o modificar el comportamiento del sistema según las condiciones necesarias.

En los últimos tiempos el diseño de las HMI ha tenido un avance significativo, incorporando tecnologías como el Internet de las Cosas, la Inteligencia Artificial, y el análisis de datos en la nube. Gracias a estas herramientas se hizo posible mejorar la estabilidad de procesos, disminuir los tiempos muertos y aumentar la eficiencia operativa en más de un 20% según estudios recientes (Automation, 2025).

2.8 Casos de estudio o antecedentes similares

La automatización de un proceso de traslado de botellas en las industrias es un campo de investigación y desarrollo industrial que ha tenido una evolución notable, la cual fue impulsada por la búsqueda constante de eficiencia operativa, reducción de costos y optimización del tiempo de producción. Los sistemas modernos integran diferentes tipos de tecnologías, desde transportadores inteligentes hasta robótica

avanzada y sistemas de control complejos, para garantizar un flujo continuo y sin interrupciones del producto. Los antecedentes y las implementaciones prácticas comprenden una base concreta para entender las soluciones existen y los desafíos propios a la automatización de la manipulación de envases.

En el primer caso la investigación realizada por Llanqui Gavilanes y Pallo Macías en el 2022, se presenta un proyecto de implementación de un sistema automático de llenado de botellas de agua en la empresa ecuatoriana Spring Water. El estudio abarca a detalle el diseño de un sistema electromecánico que incorpora sensores para el control de volumen, actuadores neumáticos, bandas transportadoras y una interfaz de control basada en PLC, con el objetivo de modernizar y optimizar el proceso productivo. El sistema permitió reducir tiempos de fabricación, disminuir costos operativos, y garantizar un control preciso en las cantidades llenadas, lo cual mejoró notablemente la calidad del producto final y aumentó la capacidad productiva (Gavilanes, 2022).

Luego tenemos el trabajo de David Luena Saráchaga (2023) quien desarrolló un estudio académico en España enfocado en la simulación de un proceso automatizado integral que abarca el llenado, taponado y embalado de botellas. EL diseño emplea un PLC Siemens S7-1214C para controlar una banda transportadora y sensores ópticos reflexivos, poniendo en marcha cilindros neumáticos que se encargan del llenado con regulación PID del flujo. En la etapa de taponado, se

simula el uso de un robot industrial IRB120 que tiene equipada una herramienta diseñada con el fin de manipular tapas, realizar el enroscado y transferir botellas a estibas automáticas. El modelo incluye también el análisis sistemático del robot, y control de velocidad precisa y aceleración en tramos automatizados (Luena Saráchaga, 2023).

Capítulo 3: Levantamiento de información

3.1 Antecedentes de la empresa

La empresa en la que se ha basado para la realización de este estudio es una industria manufacturera la cual se dedica a la producción de recipientes y envases hechos de vidrio, y principalmente se encuentra destinado a sectores de bebidas (botellas de refrescos o cervezas), alimentos (recipientes para mermeladas, entre otros), y farmacéuticos (envases para jarabes o pastillas). Desde que la empresa se asentó en el Ecuador ha sostenido un crecimiento notable, esto gracias a la implementación de tecnología avanzada y que se incorporen procesos de producción que llevan consigo calidad, seguridad, y cumplimiento de normas internacionales de forma asegurada.

La planta se encuentra conformada por líneas automatizadas que se utilizan para el conformado, tratamiento térmico y control de calidad del vidrio. Por medio de las técnicas de prensado y soplado, se convierte la materia prima de pureza alta en envases que cumplen con ciertas especificaciones técnicas, tales como la inocuidad, lo que las adapta a lo que el cliente y el mercado necesitan.

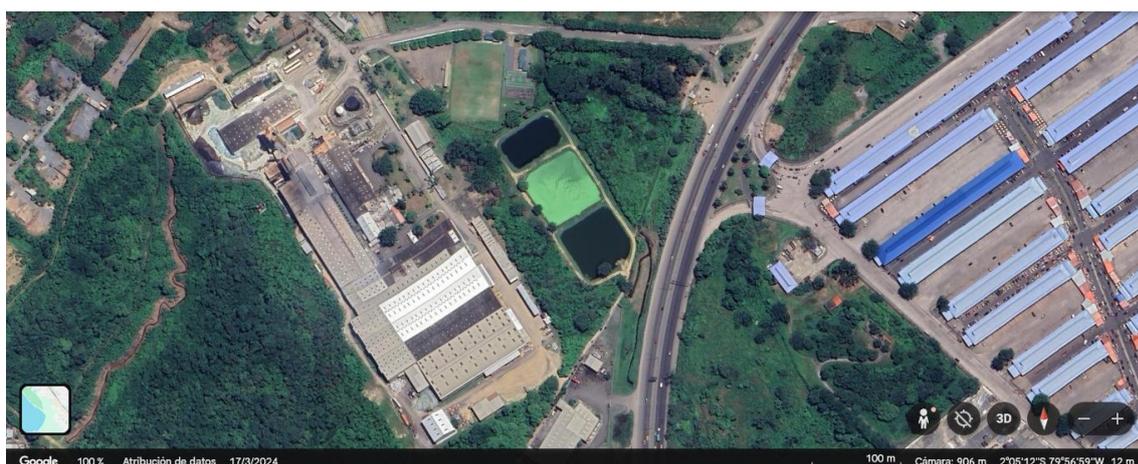
La meta primordial de esta organización es brindar soluciones de vidrio que sean confiables, sostenibles en el tiempo, y que estéticamente capten al cliente. Para obtener esto, se concentra en la eficiencia productiva, que sus recursos se optimicen al máximo, y que el diseño sea algo innovador, todo esto manteniendo un compromiso con el cuidado del medio ambiente. Esto permite que se consolide como un proveedor estratégico y que gane ventaja con respecto a su competencia, lo que hace que su contribución al desarrollo de la cadena productiva nacional sea notable.

3.2 Ubicación de la empresa

La empresa se encuentra ubicada a lo largo de la Vía Perimetral frente al Mercado de Transferencias. Cuenta con un área de construcción de 77360,47 m² y se encuentra a una elevación de 17 m sobre el nivel del mar, y presenta los siguientes datos X: 20519, Y: 795703.

A continuación, se evidencia la ubicación geográfica de la empresa.

Figura 14: Ubicación Geográfica de la empresa



Nota: Planta industrial de producción de envases de cristal – Guayaquil, Ecuador. Fuente: Google Earth, 2025

3.3 Procesos de la zona a trabajar

3.3.1 Paletizado de envases

El paletizado de botellas se encarga del empacado organizado de los envases que finaliza con su respectivo almacenamiento en la bodega, donde finalmente son retiradas por el cliente. Esta parte del proceso incluye cuatro máquinas paletizadoras, las cuales automatizan la mayoría del trabajo: consta de una máquina manual, una máquina semiautomática, y dos que son netamente automáticas. Este conjunto de máquinas realiza básicamente el mismo proceso: Empiezan con la ubicación del pallet, continúan con la formación de camadas de botellas, las cuales van intercaladas con cartón,

hasta que se complete la altura definida, y finaliza con la colocación de un marco superior.

Luego los pallets se transportan por medio de bandas de rodillos hasta las máquinas sunchadoras, en las cuales se aplican zunchos en configuraciones de 4x4 o 2x4 dependiendo del tipo de envase, asegurando de esta manera la estabilidad de la carga. Posteriormente pasan por las máquinas flejadoras que se encargan de envolver el pallet por completo con plástico film stretch, respaldando la protección del producto mientras su traslado. Finalmente, un operario haciendo uso de un montacargas moviliza los pallets terminados hacia la bodega de almacenamiento, quedando preparados para su respectiva entrega a los clientes.

3.3.2 Decoración de envases

Este proceso consta de ser una etapa adicional en esta zona del proceso, debido a que no todos los envases necesitan ser decorados, ya que esto queda a decisión del cliente y las especificaciones que pide. Cuando se requiere que se decoren envases, el montacarguista lleva los pallets, que fueron guardados anteriormente en la bodega de almacenamiento, hasta la zona de bandas transportadoras, donde un grupo de trabajadores se encarga de retirar el material de empaque, incluyendo los zunchos, el plástico y el marco superior. Luego proceden a colocar de manera cuidadosa botella por botella en la banda transportadora. Este procedimiento se repite con cada pallet hasta llegar a la cantidad de envases que se soliciten.

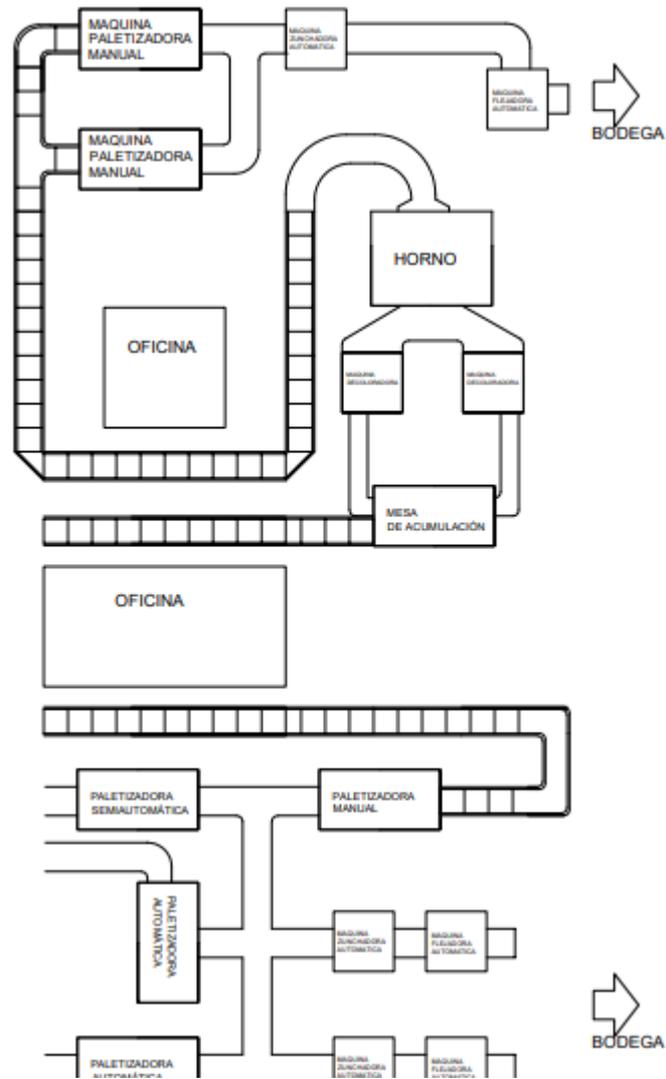
Una vez colocadas en las bandas, las botellas se trasladan hacia dos máquinas decoradoras automatizadas, que se encargan de aplicar color y diseño que el cliente pide, para posteriormente pasar por un horno a

temperaturas elevadas que aseguran la fijación de la pintura, y que finalmente las botellas se sometan a un tratamiento químico especializado para proteger el diseño de ralladuras y aumentar su durabilidad.

Para finalizar, las botellas decoradas se dirigen nuevamente a una paletizadora manual, seguida de el proceso de empaque que consiste en la aplicación de zunchos y envolvimiento en plástico film stretch por medio de máquinas automáticas, replicando el proceso de paletizado anterior. Y una vez terminado este procedimiento, vuelven a ser almacenados en la bodega por el montacarguista encargado, para que el cliente pueda retirar el producto.

3.4 Disposición de maquinarias y equipos

Figura 15: Plano físico de la planta de envasado



Nota. Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4: Diseño del sistema y resultados

4.1 Descripción General del Sistema

En el contexto de una planta de envasado de envases de vidrio, una de las tareas que hoy en día se ejecutan es su traslado desde los pallets de almacenamiento hacia la banda transportadora que alimenta a la máquina de decoración. Este procedimiento implica que dos o tres operarios retiren, una a una, las botellas de cada camada del pallet, acción que se repite hasta vaciar de manera total la carga. El proceso requiere un desgaste físico fuerte, con altas probabilidades de errores humanos, lo que conlleva consigo riesgos tanto para el producto como para la seguridad e integridad física de los trabajadores.

Con el objetivo de proponer una mejora en este proceso, se diseña un sistema automatizado que sea el encargado de ejecutar de manera eficiente el traslado de botellas desde los pallets hacia la banda transportadora. El sistema cuenta con la incorporación de elementos eléctricos, neumáticos y mecánicos, bajo la supervisión de un PLC, el cual se encargará de guiar la secuencia de operaciones con precisión y seguridad.

El funcionamiento general del sistema empieza con la colocación adecuada del pallet en una zona de trabajo delimitada por guías físicas. Una vez retirada manualmente el material de empaque (envoltura plástica, zunchos de sujeción y marco superior) el sistema arranca. Un cabezal automatizado que opera con un sistema de ventosas neumáticas accionadas por vacío, desciende por medio de un mecanismo motorizado hasta alcanzar la primera camada de botellas, donde se activa la succión para lograr el agarre de las botellas, y posteriormente el cabezal sube hasta llegar a una altura

preestablecida. Luego de esto el cabezal se desplaza de manera horizontal hasta llegar a la banda transportadora, en donde el cabezal realiza su descenso nuevamente para poder colocar las botellas y proceder a su liberación, todo esto bajo condiciones medidas con seguridad. Finalmente, el sistema retorna a su posición cero para repetir el mismo ciclo con la siguiente camada.

Este diseño busca no solo disminuir el desgaste físico al cual se exponen los trabajadores y disminuir la manipulación directa de las botellas, sino también tiene como objetivo aumentar la eficiencia operativa del proceso, optimizando los tiempos de traslado y minimizando la probabilidad de roturas o posicionamientos erróneos de los envases. En cuanto al ámbito económico, la automatización de este proceso comprende una oportunidad importante para la empresa de mejorar, ya que el diseño ayudaría a reducir los costos asociados de la mano de obra, disminuye las pérdidas por rotura de envases, y ofrece una mayor fluidez en la producción al reducir tiempos muertos o pausas operativas.

A través de esta propuesta, se busca no únicamente hacer factible la técnica del sistema, sino también justificar su impacto económico positivo, colocándolo como una solución viable, rentable y alineada con los fines de eficiencia industrial de la empresa.

4.2 Requerimientos del Sistema

4.2.1 Requerimientos funcionales

Para garantizar un óptimo desempeño del sistema automatizado propuesto, se tienen definidos un grupo de requerimientos funcionales que establecen las capacidades mínimas

con las que el sistema debe cumplir para satisfacer las necesidades operativas de la planta. Estos requerimientos han sido establecidos teniendo en cuenta las condiciones reales del proceso, la naturaleza del producto, las particularidades del entorno industrial y los objetivos tanto técnicos como económicos del proyecto.

El sistema debe ser capaz de poder detectar de manera automática la presencia del pallet en la zona de trabajo, antes de que inicie el proceso operativo. Una vez retirado manualmente el material de empaque del pallet de envases, el sistema debe ejecutar de manera secuencial y repetitiva el ciclo de toma, traslado y colocación del producto, operando de manera autónoma camada por camada hasta completar el vaciado del pallet. El promedio, cada pallet consta de entre 8 y 10 camadas, donde cada una de estas puede contener de entre 169 hasta 195 botellas, esto dependiendo del modelo de envase con el cual se esté trabajando.

Un factor clave dentro de este proceso es el posicionamiento vertical preciso del cabezal, el cual desciende hasta la altura exacta de cada camada de envases sin impactar en el producto ni producir movimientos fuertes que puedan comprometer la integridad del mismo. A continuación, el sistema debe activar el mecanismo de inflado de pinzas para asegurar una sujeción firme y segura de las botellas. Esta condición deber ser corroborada mediante sensores antes de conceder cualquier movimiento horizontal del cabezal.

Luego del agarre exitoso de envases, el cabezal debe desplazarse de manera horizontal hasta posicionarse sobre la banda

transportadora modular, la cual permanece desactivada durante la descarga. Una vez las botellas se encuentren en posición, el sistema debe proceder con la liberación de las mismas, desactivando la succión únicamente cuando el cabezal se halle en su posición baja sobre la banda. Una vez cumplida esta etapa, el cabezal debe regresar automáticamente a su punto cero para poder repetir el ciclo con la siguiente camada.

El sistema además de contar con estas funciones principales, debe incluir de igual manera un mecanismo de conteo de capas procesadas, esto para poder determinar cuándo el pallet haya sido completamente vaciado. Igualmente, debe contar con un sistema de señalización visual que indique el estado de operación en el que se encuentra el sistema, ya sea que esté en activo, en espera, o en error. Asimismo, como un botón de emergencia el cual se encargue de interrumpir de inmediato el funcionamiento ante cualquier condición de riesgo o inseguridad.

Finalmente, a pesar de que el sistema está hecho para que opere de manera autónoma, se prevé la presencia de un operador encargado de la supervisión del proceso, quien podrá intervenir en caso de alguna avería, falla o cualquier tipo de anomalía operativa que se pueda presentar. Esta condición garantiza la seguridad del sistema y del personal, manteniendo a su vez la continuidad y fluidez del proceso.

4.2.2 Requerimientos técnicos

Los requerimientos técnicos tratan sobre ciertos puntos específicos con los que este sistema automatizado debe cumplir para garantizar un funcionamiento óptimo, requisitos los cuales surgen del análisis a detalle de las condiciones de trabajo de los componentes involucrados y de las mismas necesidades del proceso de traslado de botellas desde el pallet hasta la banda transportadora.

Dentro de este contexto, se ha determinado que el sistema deberá contar con una estructura mecánica que pueda soportar y trasladar camadas completas de botellas, cuyo peso varía dependiendo del modelo de envase, no obstante, aproximadamente puede alcanzar los 80 kilogramos por camada. Este valor representa una carga significativa, por lo que se requiere un motor eléctrico de mayor capacidad que garantice movimientos estables y seguros, especialmente en lo que es el desplazamiento vertical. Considerando este peso y teniendo en cuenta los factores de seguridad, resulta conveniente el uso de un motor de al menos 1 HP (0,75 kW) para los desplazamientos verticales, con transmisión mecánica idónea que permita una elevación progresiva, sin inconvenientes, y con capacidad de freno incorporado. Para los movimientos horizontales, un motor de potencia menor podría funcionar, sin embargo, con especificaciones similares en términos de control y fiabilidad.

Además, el sistema de agarre está basado en un cabezal con pinzas inflables de caucho, diseñado para poder levantar una camada completa de envases de vidrio. Estas pinzas son hechas en caucho

NBR o silicona técnica, lo que le da un equilibrio adecuado entre resistencia al desgaste, flexibilidad y compatibilidad con superficies endebles, lo que permite conseguir una sujeción segura sin afectar el producto. Al ser inflables, las pinzas se expanden de manera controlada haciendo presión de manera uniforme en el cuello de cada envase, lo que el agarre durante el proceso de traslado sea seguro y a su vez no ocasione daños a la botella. La disposición de estas pinzas en una matriz modular ajustable ayudará a que se adapte sin contratiempos a los diferentes tipos de diseño de envases dependiendo del modelo. Para tener control sobre la expansión de las pinzas y asegurar una presión de sujeción constante, se implementará una electroválvula que ajuste la presión de la salida en base a una señal de control, lo que permitirá un agarre regulado y sutil.

El control del sistema será gestionado gracias a un PLC Siemens S7-1700 CPU 1215 DC/DC/DC, Este componente se encargará de organizar todas las etapas del proceso automatizado: detección de pallet, posicionamiento del cabezal, activación del vacío, movimientos verticales y horizontales, y liberación de los envases sobre la banda transportadora.

Para estar seguros en la precisión y fiabilidad de la operación, se incorporan sensores distribuidos de manera estratégica en el sistema. Un sensor de proximidad capacitivo detectará la presencia de las camadas en el pallet, mientras que dos sensores de proximidad tipo inductivo se encargarán del monitoreo de los extremos del eje horizontal. Al mismo tiempo, se utilizarán finales de carrera mecánicos

en el eje vertical para definir los límites de distancia del recorrido del cabezal, esto para que tanto la subida como la bajada se completen dentro de los rangos determinados. Se incluyen también sensores de presión para corroborar el correcto agarre de las botellas antes de proceder al movimiento.

Finalmente, la banda transportadora que recibe los envases opera bajo la lógica de avance detenido; es decir, que se detiene durante el posicionamiento de las botellas y se reactiva una vez que estas sean ubicadas con precisión. A pesar de que todo el sistema estará diseñado para funcionar de manera autónoma, se requiere que esté bajo la supervisión ocasional de un solo operario, quien podrá intervenir si existe algún tipo de falla, facilitando de esta manera tanto el control del proceso como el mantenimiento del sistema.

4.2.3 Requerimientos de seguridad

El diseño del sistema automatizado para el traslado de botellas de vidrio presenta medidas de seguridad guiadas a proteger la integridad de los trabajadores y prevenir averías en la maquinaria. Se implementarán barreras de seguridad físicas que definan la zona de trabajo del cabezal, impidiendo de esta manera el acceso de manera involuntaria mientras se esté llevando a cabo el funcionamiento. Estas barreras estarán fabricadas con materiales resistentes y permitirán la visibilidad del proceso para una supervisión continua.

Para el detenimiento inmediato del sistema en caso de emergencia, se instalará un botón de paro de emergencia localizado

junto al panel HMI, garantizando de esta manera que el operario pueda tener rápido acceso a él. Incluso se dispondrá de un sistema de señalización visual y sonora compuesto por balizas luminosas y alarmas acústicas, las cuales van a advertir sobre el estado operativo en el que se encuentra el equipo, incluyendo el inicio de ciclo, funcionamiento normal, paradas y detección de fallos.

En cuanto a la protección eléctrica, el sistema contará con dispositivos de corte y protección tales como disyuntores, fusibles y relés de seguridad, que actuarán de manera autónoma ante cortocircuitos o sobrecargas. De igual manera, se implementarán protocolos de operación y mantenimiento seguro, incluyendo un modo manual de baja velocidad para ajustes y reparaciones, conjunto a señalética visible de riesgos eléctricos, de atrapamiento y manipulación de carga frágil. Combinando estas medidas se puede garantizar un ambiente laboral seguro, disminuyendo la posibilidad de incidentes y sosteniendo la fluidez operativa del proceso.

4.3 Selección de Componentes

4.3.1 Componentes mecánicos y neumáticos

El diseño propuesto para el traslado de envases de vidrio requiere de una minuciosa selección de componentes mecánicos y neumáticos para poder garantizar un funcionamiento seguro y óptimo durante todo el ciclo del proceso. La selección de cada elemento ha sido importante en las características del ciclo de operación, la

naturaleza de la carga a maniobrar y las condiciones operativas de la planta de envasado.

Teniendo esto en cuenta, se han tomado en cuenta los siguientes componentes principales:

- Estructura de soporte

La estructura principal está diseñada en acero de carbono recubierto con un material anticorrosivo, lo que brinda estabilidad y robustez al conjunto. Su geometría permite soportar las cargas dinámicas que se genera por el movimiento del cabezal con las camadas de botellas, las cuales tienen un peso de 80 kilogramos aproximadamente por ciclo. La base contiene refuerzos estratégicos para minimizar vibraciones y prolongar la vida útil del sistema.

- Guías lineales y rodamientos

Para lograr un desplazamiento adecuado se incorporan guías lineales de características rígidas con patines recirculantes de bolas. Estos elementos permiten cargar pesos combinados y sostienen la precisión de la posición del cabezal mientras se encuentre realizando el movimiento tanto vertical como horizontal.

- Cabezal de sujeción con pinzas inflables de caucho

El sistema de agarre se compone por un grupo de pinzas inflables fabricadas en caucho reforzado, ya que este material

ofrece resistencia mecánica, flexibilidad considerable y compatibilidad con superficies frágiles, en este caso el vidrio. Estas pinzas, al momento de ser infladas por aire comprimido, ejercen presión de manera uniforme sobre el cuello o el cuerpo de las botellas, evitando daños o deslizamientos. Su disposición modular permite adaptarse a cualquier modelo de botella con el cual se esté trabajando.

- Sistema neumático de inflado y liberación

Este subsistema tiene como elemento principal una electroválvula de la marca FESTO modelo VPPM, ya que esta recibe una señal analógica del PLC y la convierte en presión de aire proporcional. La electroválvula tiene un rango de 0 a 6 bar, y la presión recomendada para esta parte del diseño es de 1 a 2 bar, donde sus valores normalizados son de 2765 y 5530 respectivamente, los cuales serán los rangos que el PLC va a leer.

4.3.2 Componentes eléctricos y electrónicos

En cuanto a los componentes eléctricos y electrónicos a utilizar en este diseño propuesto, estos se basan en criterios de confiabilidad, compatibilidad con el área industrial y capacidad para poder integrarse en un esquema de control centralizado. Estos elementos permiten que los movimientos, la supervisión del estado de actuadores y la

comunicación con los demás subsistemas de la planta se coordinen de manera precisa.

Se seleccionaron los siguientes elementos:

- PLC (Controlador Lógico Programable)

Se opta por un PLC de la marca Siemens serie S7-1200 modelo CPU 1215 DC/DC/DC, esto gracias a su capacidad de procesamiento, número de entradas y salidas integradas, y compatibilidad con módulos de expansión. También cuenta con comunicación industrial por medio de protocolos como PROFINET, facilitando la interconexión con paneles HMI y otros dispositivos. Su robustez y resistencia a vibraciones lo convierten en el componente idóneo para este tipo de entornos.

- Panel del Operador HMI (Interfaz Hombre-Máquina)

Se elige una pantalla táctil de la marca Siemens modelo KTP700 Basic, que ayuda al operador a visualizar el estado del sistema, cambiar parámetros y supervisar alarmas en tiempo real. El diseño de su interfaz gráfica tiene como objetivo tener una navegación intuitiva, disminuyendo la posibilidad de que existan errores humanos.

- Sensores de posición y proximidad

El sistema integra sensores inductivos para que detecten posiciones de referencia y finales de carrera. Estos

sensores, al no necesitar de contacto físico, cuentan con una vida útil más larga y a su vez reducen el desgaste mecánico.

- Variadores de Frecuencia

Este componente se encarga del control de velocidad y par en los motores que se van a implementar. Los variadores de frecuencia permiten un arranque suave y ajustes precisos mientras se está en movimiento. El modelo seleccionado para ser parte de este proyecto es el de la marca Siemens modelo SINAMICS G120, que cuenta con una potencia de 4.0 kW, lo que lo hace ideal para el control de velocidad mediante señales analógicas desde el PLC. Serían en total dos variadores de frecuencia, uno para cada motor, uno que vaya a 5 Hz (variador del motor de la banda transportadora) donde su valor normalizado es 2765, y otro que vaya a 10 Hz (variador del motor del movimiento horizontal del cabezal) cuyo valor normalizado es 5530.

- Motor Eléctrico y Servo con Encoder

Para el desplazamiento horizontal (eje x) y la banda transportadora, se va a utilizar un motor de la marca Siemens modelo SIMOTICS GP 1LE8 con una potencia de 3.0 kW, una velocidad nominal de 1500 RPM a 50 Hz y clase de protección IP55. Este motor fue escogido ya que es idóneo para manipular la carga de 80 kg con el variador de frecuencia, lo que permite

controlar la velocidad de manera eficiente. Y para el desplazamiento vertical (eje y) se utilizará un servomotor IMOTICS S-1FK2 (1–1.5 kW) con encoder absoluto multiturno, freno 24 V, OCC y sistema drive SINAMICS S210, lo cual ayudará a tener el control de distancia que se debe tener a medida que se van quitando las capas en el movimiento vertical.

- Fuente de Alimentación

El sistema comprende de una fuente conmutada de 24 VDC con capacidad de 10 A, y es el encargado de proporcionar energía a todos los dispositivos de control, sensores y actuadores neumáticos de baja tensión. Su diseño compacto y su protección contra las sobrecargas prometen una alimentación estable.

- Sistema de cableado

Para la alimentación de los motores trifásicos se optó por utilizar cable THHN/THWN de cobre con aislamiento en PVC recubierto de nylon, debido a su resistencia mecánica y a que resiste temperaturas de hasta 90°C. Para los sensores y dispositivos de control se seleccionaron cables apantallados de par trenzado tipo LiYCY para reducir interferencias electromagnéticas. Para lo que es la comunicación del PLC, HMI, y otros módulos, se utilizará Ethernet industrial categoría 6 o superior, con un recubrimiento resistente a aceites y flexión. Y

para lo que son líneas de mando y control de bajo voltaje, se usará cable multiconductor flexible tipo MTW, lo que agilizará la instalación y facilitará el mantenimiento, lo que ayuda a la eficiencia y a que el sistema esté bien organizado.

- Protecciones eléctricas

Se va a incorporar un interruptor termomagnético trifásico, el cual será el encargado de proteger contra los cortocircuitos y sobrecargas. A su vez, se implementarán guardamotores para cada motor eléctrico para evitar daños por sobre corriente. En lo que son los circuitos de control, se van a usar fusibles para proteger los componentes frágiles del sistema como los sensores y módulos del PLC. Además, la implementación de protectores contra sobrecargas transitorias (SPD) en el tablero principal para prevenir fallos ocasionados por picos de voltaje.

4.3.3 Sistemas de control y monitoreo

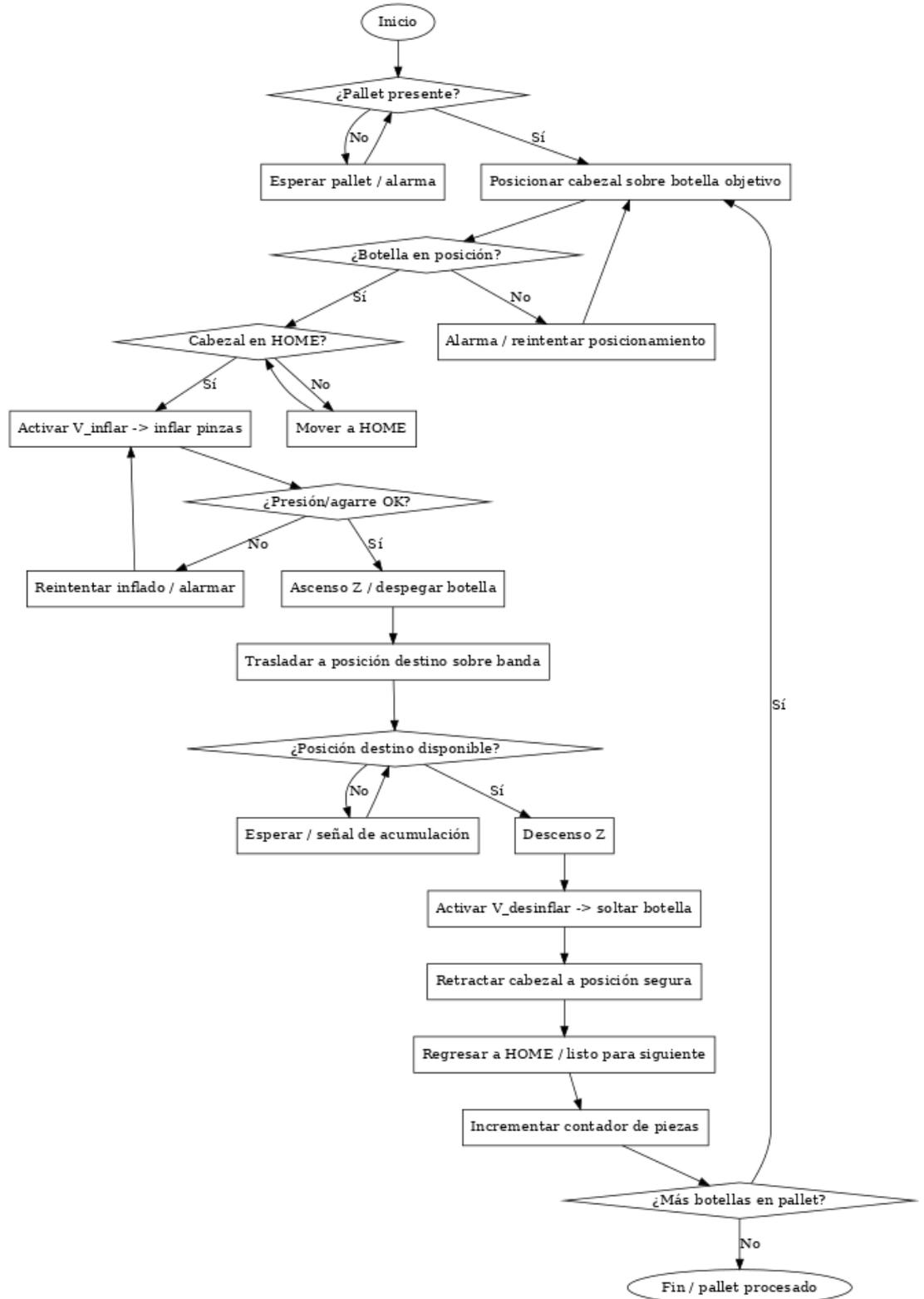
Para la parte de monitoreo y control de este sistema se utilizó el software TIA porta, el cual integró en una misma plataforma la programación del PLC, el diseño del sistema de adquisición y supervisión de datos (SCADA), y también la configuración del panel de interfaz hombre-máquina (HMI). Esta herramienta fue de suma importancia para poder centralizar el desarrollo, debido al entorno unificado que permite diseñar la lógica de control, supervisar en tiempo

real las variables que se manejan en el proceso y crea una comunicación de manera directa con el operador de la máquina por medio de pantallas gráficas de fácil interpretación. Debido a todas estas características, TIA Portal agilizó la implementación de un robusto sistema de control, eficiente y a la vez flexible, garantizando la interacción correcta entre los subsistemas mecánicos, neumáticos y electrónicos que forman parte de este proyecto.

4.4 Diseño del Sistema

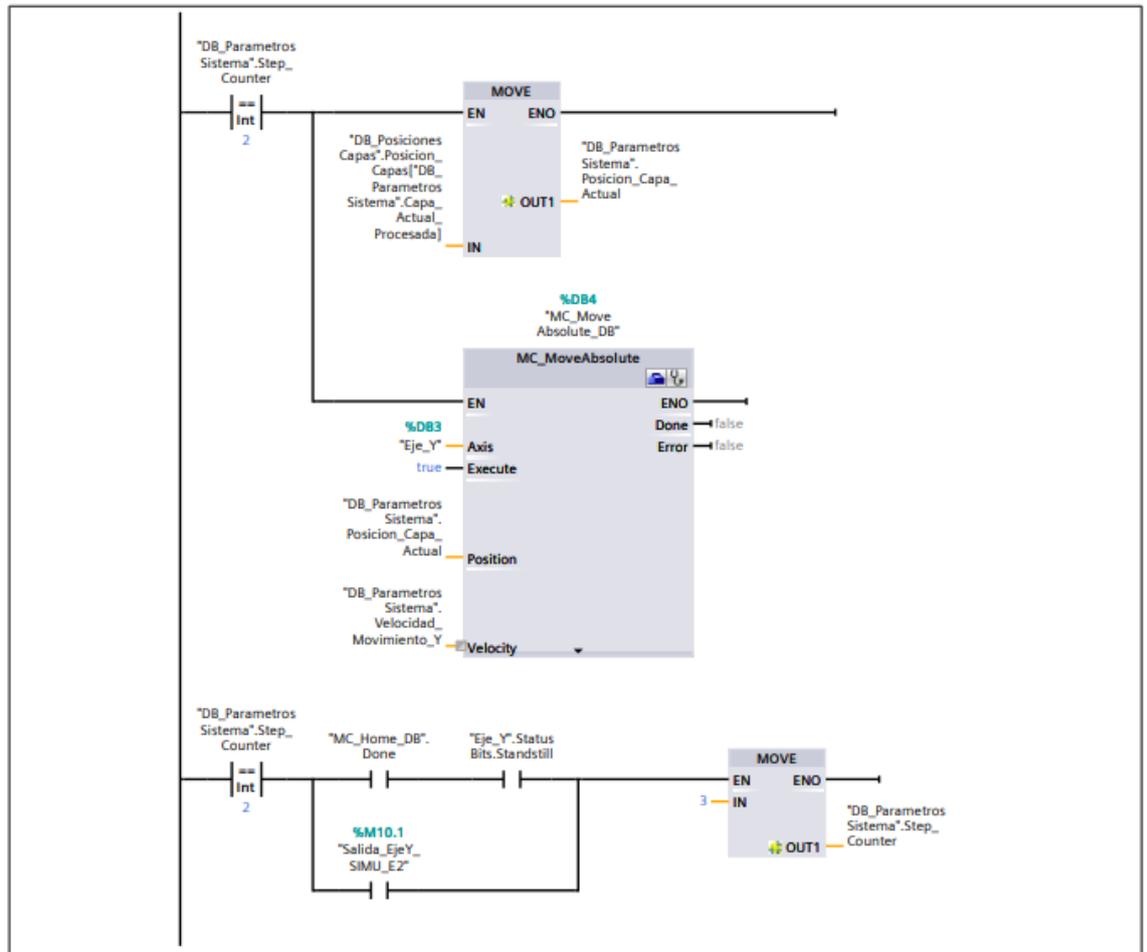
4.4.1 Diagrama del proceso automatizado

Figura 16: Diagrama de Flujo de la secuencia del sistema

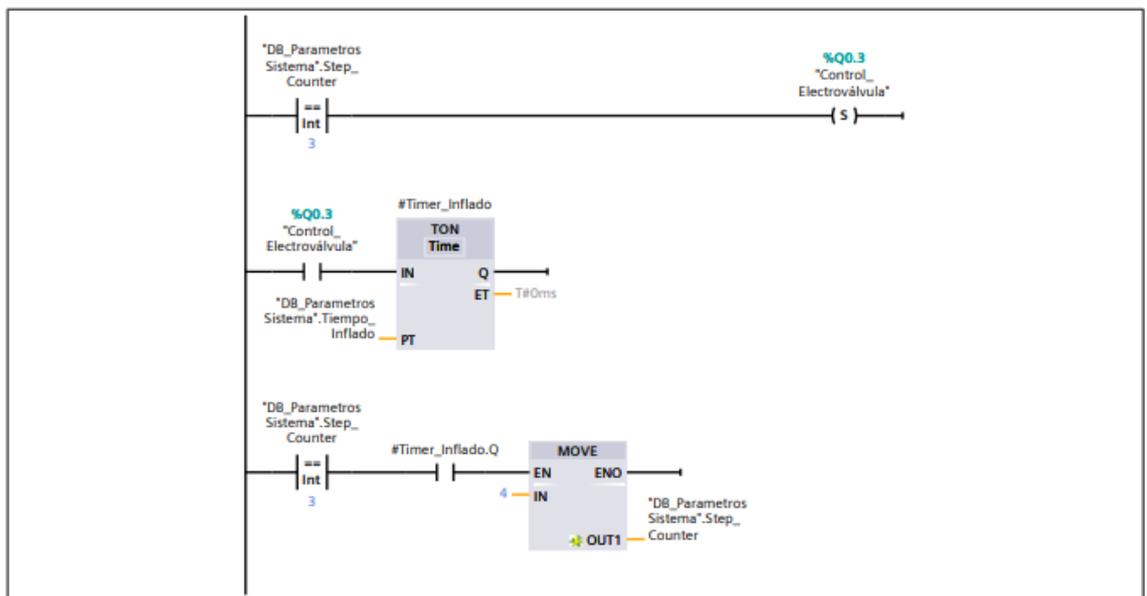


Nota: Fuente (Elaboración propia)

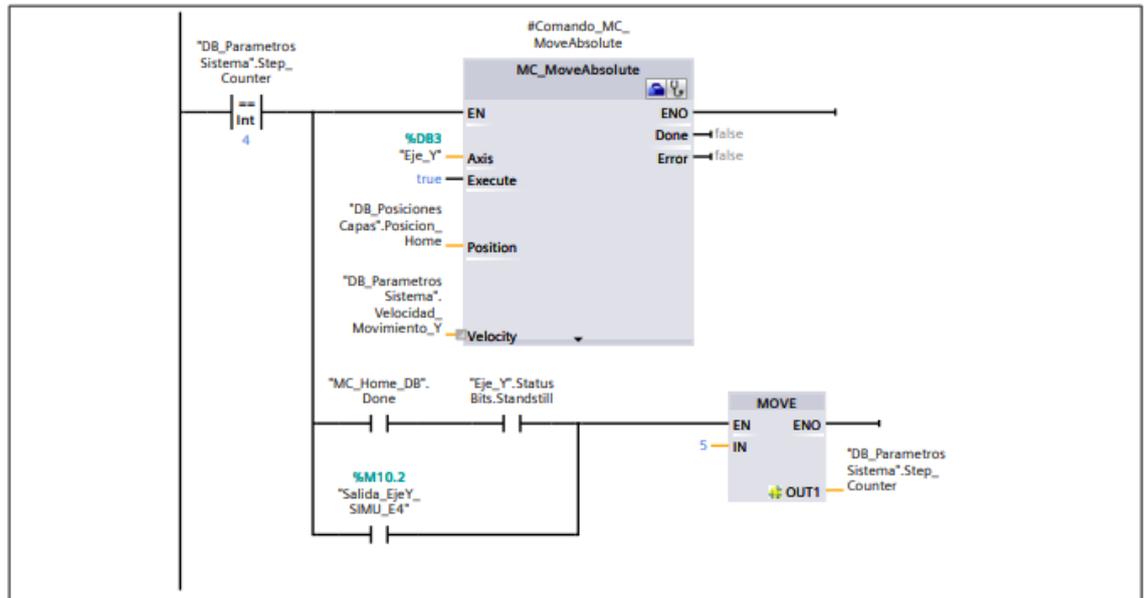
Proceso #4 – Estado 2: Bajando el cabezal a la capa actual



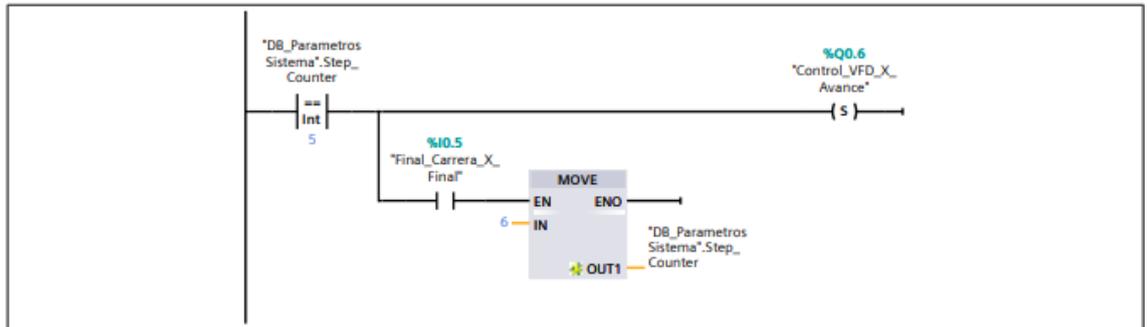
Proceso #5 – Estado 3: Agarre de la capa de botellas



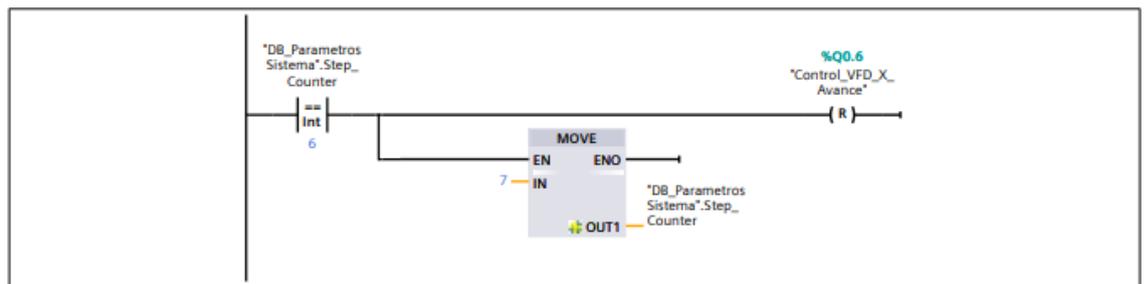
Proceso #6 – Estado 4: Ascendiendo a la posición de descarga



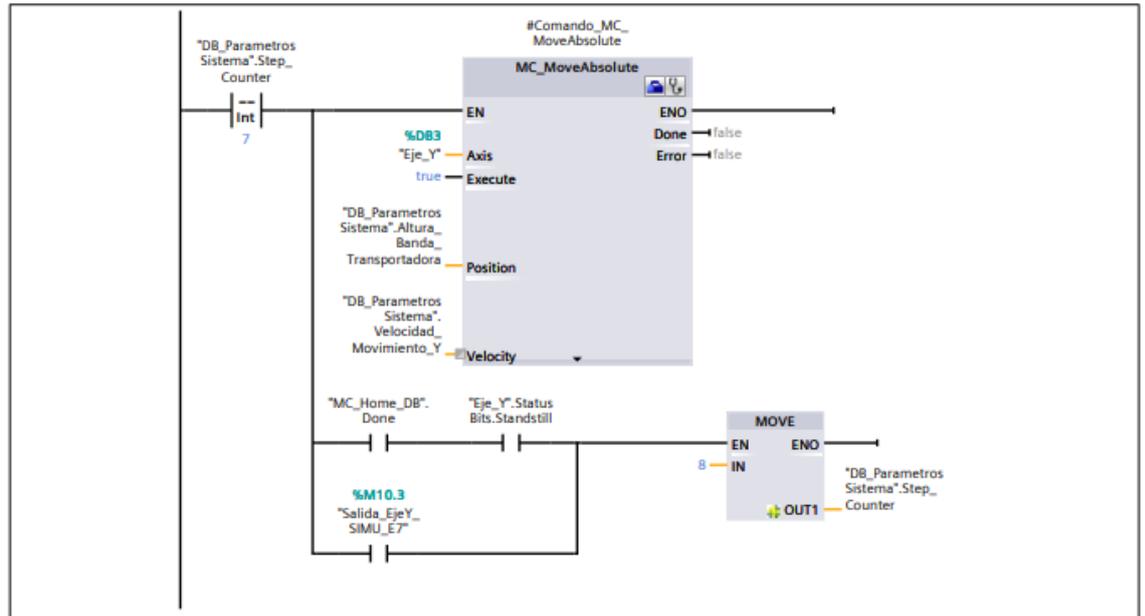
Proceso #7 – Estado 5: Moviendo el cabezal horizontalmente (Eje X)



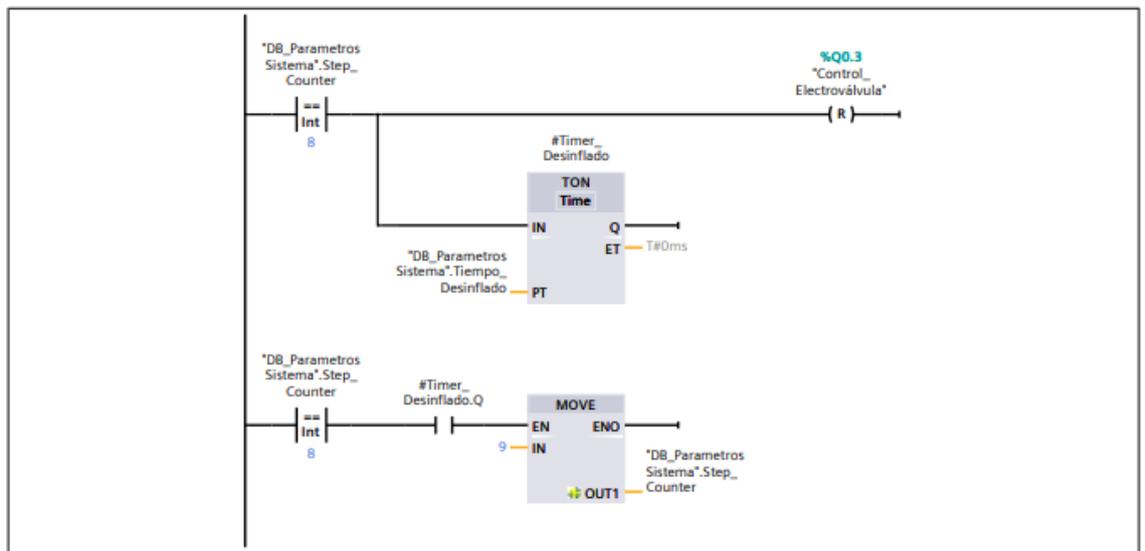
Proceso #8 – Estado 6: Deteniendo el movimiento horizontal del cabezal



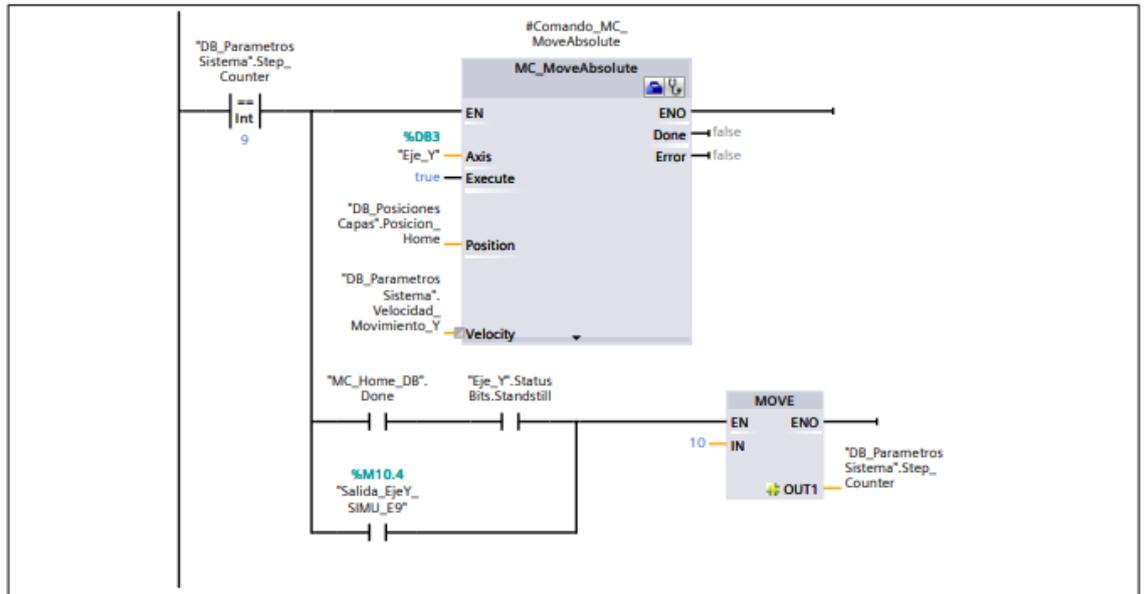
Proceso #9 – Estado 7: Bajando el cabezal a la altura de la banda transportadora



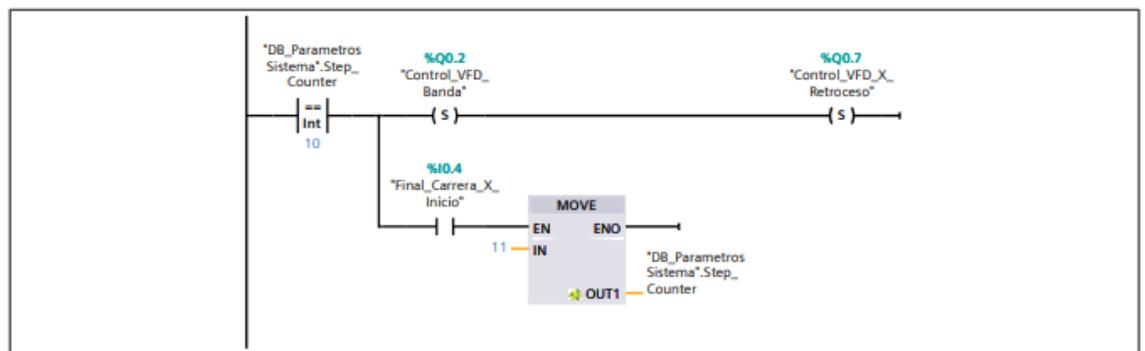
Proceso #10 – Estado 8: Soltando la capa



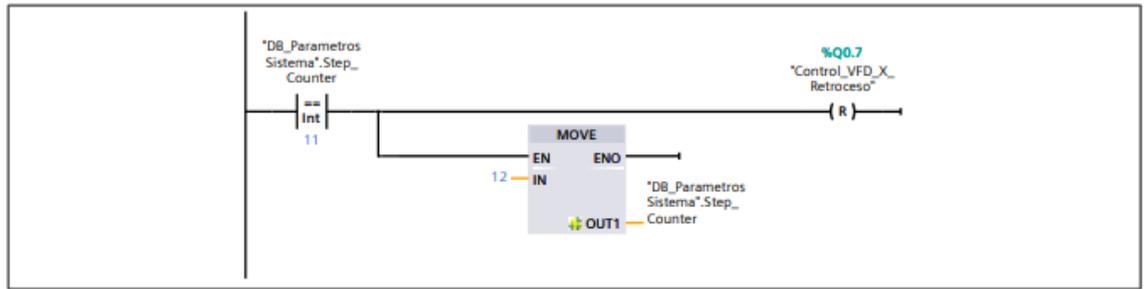
Proceso #11 – Estado 9: Subiendo el cabezal a la posición Home



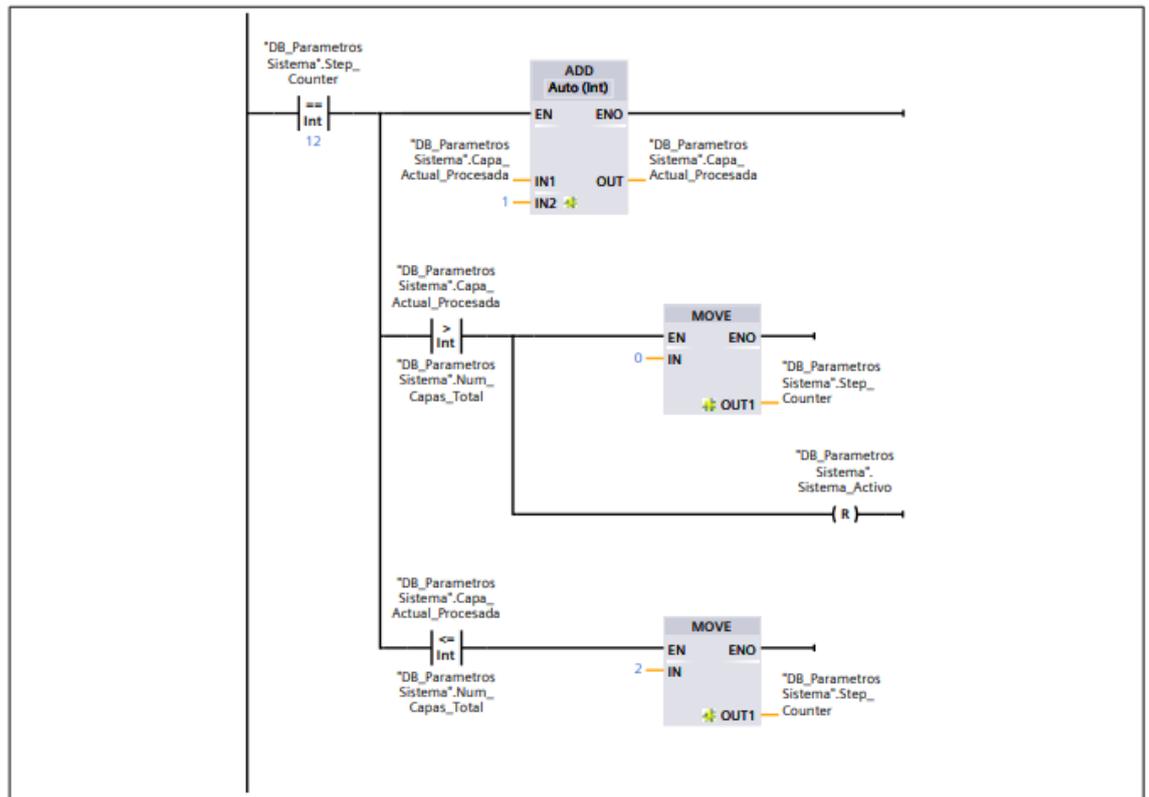
Proceso # 12 – Estado 10: Regresando el cabezal a la posición de inicio y activando la banda transportadora



Proceso # 13 – Estado 11: Deteniendo el cabezal y finalizando el movimiento



Proceso # 14 – Estado 12: Repitiendo el ciclo o finalizando



4.5 Programación y Lógica de Control

4.5.1 Visión General del Sistema

El proyecto de automatización controla un sistema de paletizado de botellas. Su función principal es mover un cabezal de succión a lo largo de un eje X y un eje Y para apilar botellas de forma precisa en pallets. El sistema cuenta con dos modos de operación

principales: "Automático", para la ejecución continua del proceso, y "Manual", para operaciones de mantenimiento y ajuste.

4.5.2 Variables y Bloque de Datos

- *Variables de Parámetros (DB_ParametrosSistema)*: Este bloque de datos almacena toda la configuración y los parámetros críticos del sistema. Incluye variables como Num_Capas_Total para el número total de capas a paletizar, y Velocidad_Movimiento_X para controlar la velocidad del eje X. También contiene las variables de entrada del HMI, como Posicion_Inicial_HMI y Distancia_Entre_Capas_HMI, que se usan para el cálculo de las posiciones del pallet.

Tabla 2: Variables de Parámetros y Bloque de Datos

Nombre de la E/S	Descripción	Tipo de Datos
Modo_Manual_Activo	Habilita el modo manual.	Bool
Modo_Automatico_Activo	Habilita el modo automático.	Bool
Alarma_Activa	Flag global de alarma del sistema.	Bool
Codigo_Alarma	Código numérico del fallo.	Int
Velocidad_Movimiento_X	Velocidad programada del eje X (0-27648).	Int
Velocidad_Movimiento_Y	Velocidad programada del eje Y (0-27648).	Int

Velocidad_Banda	Velocidad programada de la banda (0-27648).	Int
Tiempo_Inflado	Tiempo en ms para el inflado de las pinzas.	Time
Tiempo_Desinflado	Tiempo en ms para el desinflado.	Time
Num_Capas_Total	Número total de capas en el pallet.	Int
Posicion_Capa_Actual		Real
Capa_Actual_Procesada	Contador de capas procesadas.	Int
Boton_Arranque_OK	Botón para iniciar el sistema	Bool
Boton_Reset_Alarma	Botón para detener el sistema	Bool
Luz_Alarma_Parpadeo	Indicador de alarmas activo	TON_TIME
Posicion_Inicial_HMI	Entrada digital para especificar la posición 0 del eje Y	Real
Distancia_Entre_Capas_HMI	Entrada digital para especificar la distancia entre capas de camada	Real

Boton_Calcular_Alturas_OK	Botón digital que realiza el cálculo de las alturas para todas las capas	Bool
Step_Counter	Habilita el modo manual.	Int

Nota: Fuente (Elaboración propia)

- *Variables de Posiciones (DB_PosicionesCapas):* Este bloque de datos contiene un array de tipo Real llamado Posicion_Capa, donde se almacenan las alturas de cada capa del pallet después de ser calculadas por el bloque FB_CalculoPosicionesCapa.

Tabla 3: Posición de camadas y Descarga de envases

Nombre de la E/S	Descripción	Tipo de Datos
Posicion_Capas	Alturas en mm para cada capa del pallet.	Array[1..10] of Real
Posicion_Descarga	Altura en mm para soltar las botellas.	Real

Nota: Fuente (Elaboración propia)

- *Variables del sistema:* Es la tabla de entradas y salidas analógicas y digitales del sistema. Aquí se establecerán: botones, sensores, motores, alarmas, etc.

Tabla 4: Entradas y Salidas de Variables Analógicas y Digitales

Nombre de la E/S	Descripción	Tipo de Datos	Dirección Física
Boton_Emergencia	Detiene el sistema.	Bool	%I0.0
Boton_Arranque	Inicia el ciclo.	Bool	%I0.1

Sensor_Pallet_Presencia	Sensor de Pallet (Presencia).	Bool	%I0.2
Sensor_Pallet_Alineacion	Confirma la alineación del pallet.	Bool	%I0.3
Final_Carrera_X_Inicio	Posición Home del eje X.	Bool	%I0.4
Final_Carrera_X_Final	Posición de descarga del eje X.	Bool	%I0.5
Final_Carrera_Y_Home	Posición de referenciado del eje Y.	Bool	%I0.6
Alarma_VFD_EjeX	Alarma de falla del VFD del eje X.	Bool	%I0.7
Alarma_VFD_Banda	Alarma de falla del VFD de la banda.	Bool	%I1.0
Sensor_Botellas_Banda	Detecta botellas en la banda.	Bool	%I1.1
Sensor_Presion_Aire	Mide la presión del aire en el calderín.	Int	%IW64
Pulse_Y_Output	Salida de pulsos del Eje Y.	Bool	%Q0.0
Direction_Y_Output	Salida de dirección del Eje Y.	Bool	%Q0.1
Control_VFD_Banda	Arranca la banda transportadora.	Bool	%Q0.2

Control_Electroválvula	Controla el inflado y desinflado.	Bool	%Q0.3
Luz_Alarma	Indica un fallo del sistema.	Bool	%Q0.4
Velocidad_VFD_X	Señal (0-27648) para la velocidad del eje X.	Int	%QW64
Velocidad_VFD_Banda	Señal (0-27648) para la velocidad de la banda.	Int	%QW66
Servo_Y_Ready	Señal de listo del servo-drive.	Bool	%I1.2
Servo_Y_Alarma	Señal de alarma del servo-drive.	Bool	%I1.3
Encoder_Y_Input	Entrada de pulsos del encoder del eje Y.	Bool	%I1.4
Control_VFD_X_Avance	Mueve el cabezal hacia la banda.	Bool	%Q0.6
Control_VFD_X_Retroceso	Mueve el cabezal hacia el pallet.	Bool	%Q0.7
Boton_Reset_Alarma	Detiene las alarmas activas.	Bool	%I1.5

Nota: Fuente (Elaboración propia)

4.5.3 Lógica de Control de Movimiento

- *Control del Eje Y:* El movimiento vertical del cabezal se controla mediante un objeto tecnológico de TIA Portal llamado Eje_Y. Este objeto

utiliza instrucciones de control de movimiento como MC_Home para el referenciado del eje y MC_MoveAbsolute para mover el cabezal a las posiciones específicas de cada capa, leídas del DB_PosicionesCapas.

- *Control de Eje X y Banda:* El control de los motores del eje X y la banda transportadora se gestiona a través de la función FC_ControlVFD. Esta función recibe los comandos de dirección y los setpoints de velocidad del DB_ParametrosSistema y genera las salidas digitales y analógicas correspondientes para controlar los variadores de frecuencia de forma precisa.

4.5.4 Configuración de Hardware

- *Modelo de PLC:* El proyecto utiliza PLC de la marca Siemens modelo S7-1215 DC/DC/DC. Este modelo se eligió específicamente ya que sus salidas de transistor son compatibles con el control de movimiento por pulsos (PTO), dando solución a los problemas de compilación que surgen con salidas de relé.

- *Reconfiguración de E/S:* Las salidas de pulso y analógicas que se dirigen hacia los variadores de frecuencia han sido configurados en los puertos integrados de la nueva CPU para mejorar la comunicación y la respuesta del sistema.

4.5.5 Guía de Operación y Solución de problemas

- *Configuración en HMI:* Para la configuración de un nuevo pallet, el operador a cargo debe de ingresar tres valores en el HMI: la posición inicial de la primera capa, la distancia uniforme que

existe entre las camadas y el número total de camadas. Por medio de un botón denominado "Calcular" en el HMI se ejecuta la lógica en el PLC para poblar automáticamente el array de posiciones.

- *Listado de Alarmas:* El sistema incluye una lógica de manejo de fallos que supervisa constantemente varias condiciones de error, como las fallas de los variadores de frecuencia y del servo del Eje Y. En caso de activarse una alarma, la luz de alarma se enciende y el sistema se detiene, lo que requiere que el operador identifique la causa y presione el denominado Boton_Reset_Alarma para reiniciar el sistema.

4.5.6 Creación del objeto tecnológico Motion Control para posicionamiento vertical del cabezal

El objeto tecnológico para el control de movimiento fue creado, configurado y representado de la siguiente manera:

- *Creación:* Se creó un objeto tecnológico denominado Eje_Y para tener el control del movimiento vertical del cabezal.
- *Configuración:* En la interfaz de hardware, se configuró el objeto para utilizar el Pulse Generator, asignando la salida de pulso a %Q0.0 y la de dirección a %Q0.1. La unidad de medida se estableció en milímetros. La compatibilidad de hardware fue un punto crucial, lo que requirió utilizar una CPU con salidas de alta velocidad de transistor para solucionar una falla de compilación.
- *Representación en la Programación:* Dentro del programa, el objeto tecnológico Eje_Y es representado como un

momento a través de bloques de control de movimiento. Se hace uso de instrucciones específicas como el bloque MC_Home para el representado del eje y MC_MoveAbsolute (utilizado en la secuencia) para trasladar el cabezal a las posiciones deseadas. Estos bloques toman el objeto Eje_Y como entrada para ejecutar los comandos de movimiento.

4.5.7 Descripción de los bloques de función y datos del sistema

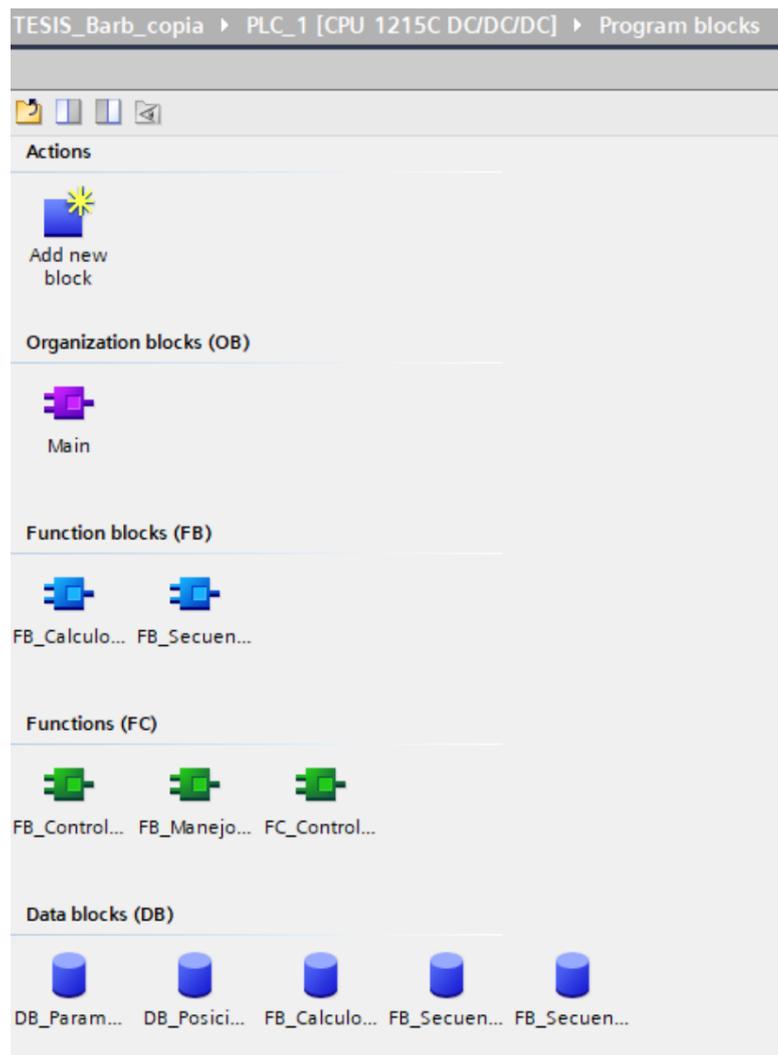
El proyecto se estructura de manera modular, con cada bloque cumpliendo un rol específico y coordinado por el bloque principal.

- *Main (OB1)*: Actúa como el "director de orquesta" del sistema. Su función es llamar cíclicamente a todos los demás bloques de programación en el orden correcto para asegurar que toda la lógica del sistema se ejecute de forma continua y coordinada en cada ciclo del PLC. Es el punto de entrada de todo el programa, asegurando que se ejecute la secuencia principal, el manejo de fallos, la gestión de los modos de operación y el control del movimiento de los variadores de frecuencia.

- *FB_ControlModo*: Este bloque se encarga de gestionar los diferentes estados de operación de la máquina. Su lógica activa o desactiva el modo "Automático" o "Manual" dependiendo de las entradas del operador desde la interfaz HMI y en las condiciones del sistema, como la presencia de una alarma que se encuentre activada. Su propósito principal es controlar la transición entre los modos de operación para una gestión segura de la máquina.

- *FB_ManejoFallos*: Este bloque centraliza toda la lógica de detección y gestión de alarmas del sistema. Monitorea continuamente las condiciones que podrían causar un fallo, como errores en el servo. Si se detecta un fallo, el bloque activa y mantiene la alarma principal (latching) hasta que se presione un botón de reset. También utiliza un temporizador para controlar el parpadeo de una luz de alarma mientras la alarma está activa, proporcionando una señal visual al operador.
- *FB_CalculoPosicionesCapa*: Este bloque de función, desarrollado en lenguaje SCL, es el responsable de configurar de manera inteligente las alturas de las capas del pallet. Toma como entradas la posición inicial de la primera capa, la distancia uniforme entre capas y el número total de capas desde el HMI. Hace un cálculo matemático para cada una de las camadas y almacena los resultados en el array denominado *DB_PosicionesCapas*, el cual se utiliza posteriormente por la secuencia principal para el desplazamiento del cabezal en el eje Y.
- *FB_Secuencia*: Conformar el núcleo del sistema, opera como una máquina de estados que ejecuta el ciclo de paletizado paso a paso. Sus estados contienen el referenciado (homing) del eje Y, la bajada del cabezal a la posición de la camada, la activación de la succión para agarrar el producto, la subida a la posición de descarga, el desplazamiento horizontal del cabezal, la liberación del producto, el retorno a la posición Home y el conteo de camadas para decidir si el ciclo debe reiniciarse o finalizar.

- *FC_ControlIVFD*: Esta función se encarga de controlar los variadores de frecuencia de los motores del eje X y de la banda transportadora. Recibe las señales de habilitación de movimiento y los setpoints de velocidad del DB_ParametrosSistema y los traduce en las salidas que controlan los variadores. Se utiliza un FC en lugar de un FB porque su lógica no requiere "memoria" para mantener su estado entre ciclos de scan.



TESIS_Barb_copia ▶ PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] ▶ PLC tags ▶ Tabla de E/S Principales [45]

Tags User constants

Tabla de E/S Principales

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	Boton_Emergencia	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Detiene el sistema.
2	Boton_Arranque	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Inicia el ciclo.
3	Sensor_Pallet_Presencia	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sensor de Pallet (Presencia)
4	Sensor_Pallet_Alineacion	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Confirma la alineación del pallet.
5	Final_Carrera_X_Inicio	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Posición Home del eje X.
6	Final_Carrera_X_Final	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Posición de descarga del eje X.
7	Final_Carrera_Y_Home	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Posición de referenciado del eje Y.
8	Alarma_VFD_EjeX	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma de falla del VFD del eje X.
9	Alarma_VFD_Banda	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma de falla del VFD de la banda.
10	Sensor_Botellas_Banda	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Detecta botellas en la banda (para detecci
11	Sensor_Presion_Aire	Int	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mide la presión del aire en el calderín.
12	Pulse_Y_Output	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Direction_Y_Output	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Control_VFD_Banda	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Arranca la banda transportadora.
15	Control_Electroválvula	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Controla el inflado y desinflado.
16	Luz_Alarma	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Indica un fallo del sistema.
17	Luz_Estado	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Indica que el sistema está listo o en autom
18	Velocidad_VFD_X	Int	%QW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal (0-27648) para la velocidad del eje X
19	Velocidad_VFD_Banda	Int	%QW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal (0-27648) para la velocidad de la ba.
20	Servo_Y_Ready	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal de listo del servo-drive.
21	Servo_Y_Alarma	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal de alarma del servo-drive.
22	Encoder_Y_Input	Bool	%I1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Entrada de pulsos del encoder del eje Y
23	Control_VFD_X_Avance	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mueve el cabezal hacia la banda.
24	Control_VFD_X_Retroceso	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mueve el cabezal hacia el pallet.
25	Enable_Y_Output	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	Boton_Reset_Alarms	Bool	%I1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Detiene las alarmas activas.
27	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

TESIS_Barb_copia ▶ PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] ▶ Program blocks ▶ DB_ParametrosSistema [DB1]

Keep actual values Snapshot Copy snapshots to start values Load start values a

DB_ParametrosSistema

	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint
1	Static			<input type="checkbox"/>				
2	Modo_Manual_Activo	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Modo_Automat..._A...	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Alarma_Activa	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Codigo_Alarma	Int	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Velocidad_Movimient...	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Velocidad_Movimient...	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Velocidad_Banda	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Tiempo_Inflado	Time	T#0ms	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Tiempo_Desinflado	Time	T#0ms	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Num_Capas_Total	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Posicion_Capa_Actual	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Capa_Actual_Procesad...	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Boton_Arranque_OK	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	Boton_Reset_Alarma	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	Luz_Alarma_Parpadeo	TON_TIME		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	Posicion_Inicial_HMI	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Distancia_Entre_Capa...	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Boton_Calcular_Altur...	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	Step_Counter	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

TESIS_Barb_copia ▶ PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] ▶ Program block

Keep actual values Snapshot

DB_PosicionesCapas

	Name	Data type	Start value	Re
1	Static			
2	Posicion_Capas	Array[1..10] ...		
3	Posicion_Capas[1]	Real	0.0	
4	Posicion_Capas[2]	Real	0.0	
5	Posicion_Capas[3]	Real	0.0	
6	Posicion_Capas[4]	Real	0.0	
7	Posicion_Capas[5]	Real	0.0	
8	Posicion_Capas[6]	Real	0.0	
9	Posicion_Capas[7]	Real	0.0	
10	Posicion_Capas[8]	Real	0.0	
11	Posicion_Capas[9]	Real	0.0	
12	Posicion_Capas[10]	Real	0.0	
13	Posicion_Descarga	Real	0.0	

TESIS_Barb_copia ▶ PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] ▶ Technology objects ▶ Eje_Y [DB3]

Function view

Basic parameters: General, Extended parameters (Drive signals, Mechanics, Position limits), Dynamics (General, Emergency stop), Homing (General, Active, Passive)

Technology object - Axis

Axis name: Eje_Y

```

graph LR
    UP[User program] --> TOA[Technology object - Axis]
    TOA --> PTO[PTO (Pulse Train Output)]
    PTO --> D[Drive]
  
```

Hardware interface

Pulse generator: Pulse_1 [Device configuration]

Output location: Integrated CPU output

Pulse output: Pulse_Y_Output [Q0.0]

Direction output: Direction_Y_Output [Q0.1]

Assigned fast counter: internal

Unit of measurement

Position unit: mm

4.6 Simulación y Validación del Diseño

Layout General del sistema:



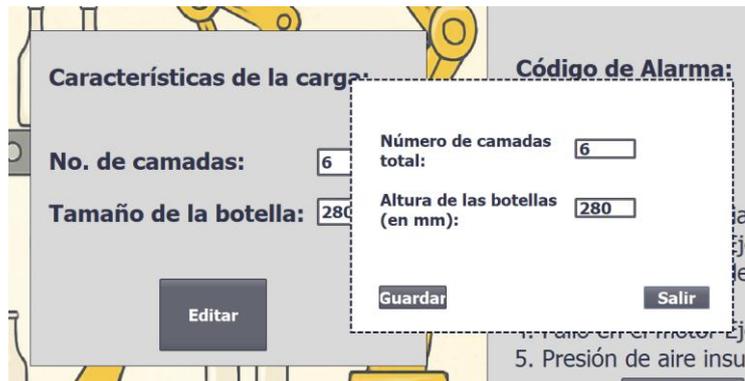
Ventana de selección de datos de las camadas al pulsar el botón "Editar":

Número de camadas total:

Altura de las botellas (en mm):

Guardar **Salir**

Prueba de los parámetros de alturas de las capas, de acuerdo con la información previamente introducida:



Vista en vivo del Array Posicion_Capas (con el cálculo previamente realizado):

TESIS_Barb_copia ▶ PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] ▶ Program blocks ▶ DB_Posicion

Keep actual values Snapshot Copy snapshots to sta

DB_PosicionesCapas

	Name	Data type	Start value	Monitor value
1	Static			
2	Posicion_Capas	Array[1..10] ...		
3	Posicion_Capas[1]	Real	0.0	2176.0
4	Posicion_Capas[2]	Real	0.0	2456.0
5	Posicion_Capas[3]	Real	0.0	2736.0
6	Posicion_Capas[4]	Real	0.0	3016.0
7	Posicion_Capas[5]	Real	0.0	3296.0
8	Posicion_Capas[6]	Real	0.0	3576.0
9	Posicion_Capas[7]	Real	0.0	0.0
10	Posicion_Capas[8]	Real	0.0	0.0
11	Posicion_Capas[9]	Real	0.0	0.0
12	Posicion_Capas[10]	Real	0.0	0.0
13	Posicion_Descarga	Real	0.0	0.0

Vista del sistema de visualización de alarmas, en este caso se visualiza la alarma de Paro de emergencia, debido a que ese botón está presionado. Así mismo, se detiene la marcha del sistema hasta que presionemos el botón de resetear alarmas.



Cálculo para las alturas de las capas creando un nuevo bloque de función llamado FB_CalculoPosicionesCapa, configurado en lenguaje SCL:

```

TESIS_Barb_copia > PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] > Program blocks > FB_CalculoPosicionesCapa [FB2]
Block interface
IF... CASE... FOR... WHILE... (*...*) REGION
OF... TO DO... DO... DO...
1 // Detecta el flanco positivo del botón "Calcular" del HMI
2 IF #bCalcular THEN
3 // Paso 1: Calcular la posición de la capa más alta con respecto al suelo.
4 #Posicion_Suelo_Capa_Alta := "DB_ParametrosSistema".Alto_Pallet_Constante + (INT_TO_REAL(#Num_Capas) * #Distancia_Entre_Capas);
5
6 // Paso 2: Convertir esa posición a la coordenada del Eje Y.
7 #Posicion_Inicial_Calculada := "DB_ParametrosSistema".Posicion_Inicial_Eje_Y_Respecto_Suelo - #Posicion_Suelo_Capa_Alta;
8
9 // Paso 3: Rellenar el array con el bucle.
10 // La posición del Eje Y aumenta a medida que baja el cabezal.
11 FOR #i := 1 TO #Num_Capas DO
12 #Array_Posiciones[#i] := #Posicion_Inicial_Calculada + (INT_TO_REAL(#i) - 1.0) * #Distancia_Entre_Capas;
13 END_FOR;
14
15 // Limpiar los elementos del array no utilizados
16 IF #Num_Capas < 10 THEN
17 FOR #i := #Num_Capas + 1 TO 10 DO
18 #Array_Posiciones[#i] := 0.0;
19 END_FOR;
20 END_IF;
21
22 END_IF;
    
```

Capítulo 5: Evaluación técnica económica

5.1 Análisis técnico

Este proyecto aporta beneficios considerables para la operación del proceso de traslado de envases, los cuales se ven reflejados tanto en la optimización de los recursos que se disponen como en la eficiencia de la producción.

Primeramente, sobresale el ahorro económico que se asocia a la minimización de mano de obra, esto debido a que cuando este trabajo del traslado se lleva a cabo manualmente, se necesita de algunos trabajadores para poder manipular los envases. Esto causa gastos constantes en sueldos y beneficios laborales. En cambio, al implementar este diseño de sistema automatizado, la independencia hacia el personal operativo aumenta, esto significa que se obtiene un ahorro sostenible para la empresa y abre posibilidades de reasignar a los trabajadores hacia trabajos de mayor valor agregado dentro de la planta.

Luego tenemos lo que es la mejora en lo que es la eficiencia del proceso de producción. El simple hecho de transformar este proceso manual en uno autónomo asegura que el traslado de las botellas se realice bajo los parámetros de repetitividad y precisión, disminuyendo notablemente que ocurran errores comunes en la operación manual, dentro de los cuales están las caídas de envases, daños al producto a causa de alguna manipulación errónea, o retrasos por fatiga de los operarios. La precisión que proporciona este diseño no solo permite disminuir la pérdida de producción, sino que también

reduce costos derivados de reprocesos y desperdicios. En adición, el tiempo que se necesita para completar cada ciclo de traslado se optimiza, aportando al crecimiento de la productividad global de la línea de producción.

Para finalizar, este sistema ofrece también un aumento en lo que son las condiciones de seguridad para el personal de trabajo, ya que la manipulación manual de envases hechos de vidrio significa estar en un constante riesgo de lesiones ocasionadas por cortes, accidentes asociados al peso de las camadas, y al sobreesfuerzo físico. No obstante, con la implementación del sistema automatizado, los trabajadores ya no se encuentran expuestos de forma directa a las tareas antes mencionadas, lo que los limita al control y supervisión del proceso mediante la interfaz HMI, lo cual reduce considerablemente las posibilidades de accidentes laborales, y genera consigo un entorno de trabajo más funcional y a su vez seguro.

En conclusión, la incorporación del diseño propuesto representa una mejora integral, ya que combina ahorro económico, eficiencia mayor, y seguridad laboral, lo que cumple con los objetivos estratégicos de sostenibilidad y competitividad en la planta de producción.

5.2 Evaluación económica

Tabla 5: Tabla detallada de costos directos e indirectos

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Total
Levantamiento de información, incluye: -Inspección Técnica. -Revisión de documentos, memorias técnicas, Datasheet, otros. -Disposición de los equipos.	Glb	1	1200,00	1200,00
Diseño del sistema automatizado de traslado de botellas, incluye: - Planos arquitectónicos actualizados con los equipos y/o tableros propuestos. - Arquitectura del sistema SCADA. - Interfases del sistema. - Simulación y pruebas - Memoria técnica del sistema. - Manuales, Test Report, otros.	Glb	1	2400,00	2400,00
Programación del PLC	Glb	1	1500,00	1500,00
Integración PLC-SCADA	Glb	1	1500,00	1500,00
Pruebas y simulación PLCSIM	Glb	1	800	800,00
Suministro e instalación de tablero Automatizado de traslado de botellas, incluye:	u	1,00	4786,00	4786,00
Tablero modular autosoportado 1200 x 600 x 400 cm	u	1,00	800,00	
PLC Siemens S7-1200 CPU 1415 DC/DC/DC	u	1,00	1200,00	
Pantalla táctil HMI Siemens KTP700	u	2,00	400,00	
Fuente de Alimentación Siemens 24VDC 10A	u	1,00	450,00	
Switch Industrial Profinet/Ethernet	u	1,00	380,00	
Reles térmicos	u	3,00	73,00	
Cableado y accesorios (cable de control 2x18AWG, bornes, canaletas ranurada, marquillas, amarras plásticas, botoneras)	Glb	1,00	200,00	
Aislador puesta a tierra	u	2,00	20,00	
Barra TGB 20cm	u	1,00	31,70	
Contactores	u	3,00	22,97	
Luces Piloto	3,00	3,00	22,04	
Instalación	Glb	1,00	600,00	
Motor Siemens SIMOTICS GP 1LE8	u	2	282	564
Variador de Frecuencia Siemens SINAMICS G120	u	2	3750	7500
Servomotor IMOTICS S-1FK2 (1–1.5 kW) con encoder absoluto multiturno, freno 24 V, OCC	u	2	130	260

Sensor de proximidad capacitivo	u	4	19	76
Final de carrera	u	3	24	72
Configuración y carga de programas, entron Powermanager Licencia Descargable hasta 10 equipos, 1 cliente, 8 idiomas	Glb	1	980	980
Pruebas en campo con producto real	Glb	1	650	650
Ajustes y capacitación a operarios	Glb	1	400	400
SUBTOTAL:				\$ 22.688,00

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Tabla de beneficio en relación al Costo (TIRIBAN)

Concepto	Detalle	Valor
Inversión inicial	Costo total del proyecto	\$22,688.00
Ahorro Mensual	Salarios de 3 operarios y 1 montacarguista	\$2,800.00
Cálculo del TIRIBAN	Inversión / Ahorro mensual	-
Tiempo de Recuperación	\$22,688.00 / \$2,800.00	8 meses aprox.

Nota. Fuente: Elaboración propia

En base a la evaluación económica del proyecto, se evidencia que la inversión inicial requerida está en \$22,688.00, la cual es respaldada por un ahorro mensual que se estima que está en \$2,800.00, producto de la reducción de costos en los sueldos de los tres operarios que se encargaban del trabajo manual y un montacarguista que llevaba los pallets de botellas a la zona de trabajo. Al calcular la relación entre inversión y ahorro mensual, se estima que la recuperación de la inversión inicial tomará aproximadamente 8 meses en completarse, lo que refleja una recuperación rápida y financieramente alentadora. Este resultado evidencia que el diseño propuesto además de ser técnicamente viable, también significa una opción sostenible económicamente, debido a que permite que la recuperación de la inversión se dé en un lapso de tiempo relativamente corto y garantiza rentabilidad económica sostenida a largo plazo.

Conclusiones

- La implementación de este sistema comprende una mejora técnica frente al proceso realizado manualmente, debido a que aumenta la precisión del traslado de botellas y reduce riesgos asociados a la intervención de la mano de obra
- En el ámbito económico, además de que la inversión inicial se recuperará en un período relativamente corto, evidenciando la rentabilidad de este proyecto, también constituye un ahorro significativo en lo que son los gastos realizados en la contratación de personal de trabajo.
- La incorporación del sistema fortalece la seguridad y confiabilidad del proceso, y optimiza la productividad mientras disminuye los costos operativos.

Recomendaciones

- Se recomienda definir un plan de mantenimiento preventivo del sistema, el cual incluya lubricación y cambio de aceite de los motores cada 6 meses, asimismo como la verificación correspondiente de componentes eléctricos y neumáticos.
- Realizar revisiones de manera regular en la programación del PLC para asegurar de que está operando de manera correcta y prevenir fallas en el proceso autónomo.
- Es recomendable capacitar al personal encargado de operar la máquina, al igual que al responsable de hacer el respectivo

mantenimiento de la misma, esto para garantizar una buena gestión del proceso y prolongar lo más posible la vida útil de los componentes y del sistema como tal.

Bibliografía

- Akshay, B. (2025). *Key Advantages and Disadvantages of Automation*.
Obtenido de <https://www.simplilearn.com/advantages-and-disadvantages-of-automation-article>
- Amoria, B. (2023). *The advantages and disadvantages of automation and the use of industrial robots*. Obtenido de <https://www.amoriabond.com/en/insights/blog/the-advantages-and-disadvantages-of-automation-and-the-use-of-industrial-robots/>
- Aula21. (2025). *Cómo funciona la Automatización Industrial en la práctica*. Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-automatizacion-industrial/>
- Automation, I. (2025). *HMI: Human-Machine Interface*. Obtenido de <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>
- Azangoo, M. T. (2021). *Digital Twin-Assisted Controlling of AGVs in Flexible Manufacturing Enviroments*. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/2112.01367?>
- Barragán, L. Z. (2023). *Automatización de procesos en la industria 4.0*. doi:<https://doi.org/10.34070>
- Bauer Harald, E. D. (2023). *Is Industrial automation headed for a tipping point?* Obtenido de <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/is-industrial-automation-headed-for-a-tipping-point>
- Biedulski, J. (2024). *Programming languages for PLCs*. Obtenido de <https://controlbyte.tech/blog/programming-languages-for-plc-controllers/>
- CPI. (2025). *Elementos de Protección para Motores – Guardamotores*. Obtenido de <https://cpi.com.ar/blogs/areas-clasificadas/elementos-de-proteccion-para-motores-guardamotores>
- Cyngn. (2022). *What Is Industrial Automation? Purpose, Types, & Benefits*. Obtenido de <https://www.cyngn.com/blog/what-is-industrial-automation-purpose-types-benefits?utm>

- Daniel, S. (2023). *The Biggest Industrial Automation Trends Of The Next Decade*. Obtenido de <https://summitpackaging.com/the-biggest-industrial-automation-trends-of-the-next-decade>
- Eabel. (2024). *¿Cuáles son los Componentes de un Panel de Control Eléctrico y por qué necesitas uno?* Obtenido de <https://www.eabel.com/es/los-componentes-de-un-panel-de-control-electrico-2/>
- Exotec. (2024). *Guía sobre tipos de transportadores: Tipos, usos, y beneficios*. Obtenido de <https://www.exotec.com/en-gb/insights/guide-to-conveyor-systems-types-uses-benefits/>
- Fernández, F. (2021). *Guía para la Selección Efectiva de Equipos de Transporte Industrial*. Obtenido de <https://delkadistribuciones.es/seleccion-de-equipos-de-transporte-industrial-para-la-empresa/>
- Gavilanes, L. P. (2022). *Implementación de un sistema automático de llenado de botellas para la empresa Spring Water*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9171>
- Group, H. (2024). *¿Qué es la valvula solenoide?* Obtenido de <https://hntools.es/ayuda-y-consejos/valvula-solenoide/?srsltid=AfmBOoorRcRYMxGA6wX-9raECz6m9GSjDAgLo9tx0TvDRqoqT7QIfN-I>
- Inducom. (2023). *Que es y que hace un variador de frecuencia*. Obtenido de <https://inducom-ec.com/que-es-y-que-hace-un-variador-de-frecuencia/>
- ISOTools. (2024). *Normas ISO de Sistema de Gestión de Riesgos y Seguridad*. Obtenido de <https://www.isotools.us/normas/riesgos-y-seguridad/>
- Javier, R. (2024). *Industrial Automation and its Emerging Technologies*. Obtenido de <https://inspenet.com/en/articulo/new-technologies-in-industrial-automation/>
- Luen Saráchaga, D. (2023). *Automatización de un proceso de llenado, taponado y embalado de botellas*. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/29594>

- Mellado Aceitón, J. E. (2020). *El IOT-PLC : una nueva generación de controladores lógicos programables para la industria 4.0*. Obtenido de <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ING/50019>
- Motion, A. (2022). *5 Motor Types for Automation Applications*. Obtenido de <https://ai.motion.com/5-motor-types-for-automation-applications/>
- Mugo, S. (2023). *Pneumatic Cylinders Used for Industrial Automation*. Obtenido de <https://control.com/technical-articles/pneumatic-cylinders-used-for-industrial-automation/>
- Oketola, T. (2021). *Materials conveyors: A guide for specifying belt conveyor systems*. Obtenido de <https://insights.globalspec.com/article/15832/materials-conveyors-a-guide-for-specifying-belt-conveyor-systems>
- Pilz. (2025). *EN ISO 12100. Guía para la fabricación de máquinas seguras*. Obtenido de <https://www.pilz.com/es-MX/support/law-standards-norms/iso-standards/mechanic-construction/en-iso-12100>
- Pilz. (2025). *EN ISO 13849-1 - Norma sobre seguridad funcional, base para el nivel de prestaciones (PL)*. Obtenido de <https://www.pilz.com/es-ES/support/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1>
- Pilz. (2025). *IEC 62061– Safety integrity level (SIL)*. Obtenido de <https://www.pilz.com/en-US/support/law-standards-norms/functional-safety/en-iec-62061>
- Pilz. (2025). *Serie de normativas sobre protección IEC 62443*. Obtenido de <https://www.pilz.com/es-MX/support/law-standards-norms/industrial-security-standards-iec-62443>
- RoboticsBiz. (2021). *Industrial automation: Advantages and disadvantages*. Obtenido de <https://roboticsbiz.com/industrial-automation-advantages-and-disadvantages/>
- Rodríguez, H. (2023). *Cálculo y Diseño de Cintas Transportadoras*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn84.html>

- Sicma21. (2023). *El ABC de los cuadros eléctricos industriales: diseño, fabricación, instalación y mantenimiento*. Obtenido de <https://www.sicma21.com/cuadros-electricos-industriales/>
- Siddhesh, S. (2024). *Pros & Cons of Automation in the Workplace*. Obtenido de <https://emeritus.org/blog/pros-and-cons-of-automation-in-the-workplace/>
- Sidorenko, A. (2024). *Towards Using Behavior Trees in Industrial Automation Controllers*. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/2404.14030>
- Thangam, A. (2023). *Que es un Actuador - Tipos y Aplicaciones*. Obtenido de <https://tameson.es/pages/actuador>
- UMH. (2022). *Sensores y Actuadores*. Obtenido de https://isa.umh.es/assignaturas/asct/automatas/TranspASCT_Sensores Actuadores.pdf



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Barberán López, Fabián André**, con C.C: # **095634867-6** autor del trabajo de titulación: **Diseño de un sistema automatizado para el proceso de traslado de botellas en una planta de envasado** previo a la obtención del título de **Ingeniero en electrónica y automatización** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, a los 25 del mes de agosto del año 2025

f. _____

Nombre: **Barberán López, Fabián André**

C.C: **095634867-6**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Diseño de un sistema automatizado para el proceso de traslado de botellas en una planta de envasado.		
AUTOR(ES)	Barberán López, Fabián André		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Bonilla Sánchez, Ronnie Alexander, MsC.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Electrónica y Automatización		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Electrónica y Automatización		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	25 de agosto del 2025	No. DE PÁGINAS:	89
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistema automatizado, Botellas, Camadas, Envases, Sostenibilidad, Rentabilidad		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Sistema automatizado, Botellas, Camadas, Envases, Sostenibilidad, Rentabilidad		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El presente proyecto de tesis comprende el diseño de un sistema automatizado destinado al traslado de botellas hechas de vidrio en una planta de envasado. Hoy en día, este trabajo se maneja de forma manual gracias al apoyo de montacarguistas y operarios, lo que provoca tiempos improductivos, riesgos de seguridad y posibles daños en el producto. Teniendo en cuenta esta problemática, se propone una solución que se basa en la incorporación de un manipulador que se controla mediante un PLC, equipado con pinzas inflables que permiten sujetar de manera segura y eficiente los envases. El sistema está hecho para trasladar las botellas desde los pallets hasta una banda transportadora que alimenta a la máquina decoradora de envases. Su diseño integra sensores, motores eléctricos y dispositivos neumáticos, los cuales se encuentran coordinados por medio de un esquema de control que mejora la eficiencia del proceso. Con esta idea, se busca además de disminuir la dependencia de la mano de obra en tareas repetitivas, aumentar la productividad de la empresa, y mejorar la seguridad laboral y no comprometer la integridad del material que se transporta.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-	E-mail: fabian.barberan@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Ricardo Xavier Ubilla González M. Sc.		
	Teléfono: + 593-99 952 8515		
	E-mail: ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			