



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACSITEL

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROCESO
INDUSTRIAL DE EMBOTELLAMIENTO
MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE TIA PORTAL
CON FACTORY I/O**

IVÁN ANDRÉS GONZÁLEZ TOMALÁ

Dirigido por:
Ing. Edison Coral Salinas, Mgt.

La Libertad - 2026

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo, en primer lugar, a Dios, por brindarme la paciencia, la salud y la perseverancia necesarias para superar cada desafío y avanzar día a día hasta culminar mi carrera académica; a mi madre Marjorie Tomalá Oñate y mi padre Andrés González González, a mi hermana Jacqueline González Tomalá, por su apoyo incondicional, tanto en palabras de aliento como en su ayuda constante en los momentos en que más lo necesité; finalmente, a mi novia Gabriela Tomalá Pozo, por motivarme a seguir adelante y dar siempre un paso más hacia el logro de mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por la fuerza, sabiduría y resistencia para completar esta etapa tan importante de mi formación académica. También estoy muy agradecido con mi madre Marjorie Tomalá Oñate, mi padre Andrés González González y mis hermanas Jacqueline González Tomalá y Karen del Pezo Tomalá, quienes siempre han sido un pilar en mi vida con su apoyo, como también con sus consejos. A mi novia Gabriela Tomalá Pozo, quien siempre ha estado ahí para mí brindando tanto apoyo y no solo motivándome, sino también siendo tan comprensiva durante todo este proceso.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: **"Diseño y simulación de un proceso industrial de embotellamiento mediante la integración de TIA Portal con Factory I/O"**, elaborado por el estudiante **Iván Andrés González Tomalá**, de la carrera de **Ingeniería en Electrónica y Automatización** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, declaro que, tras haber brindado la orientación necesaria, he estudiado y revisado el trabajo, lo apruebo en su totalidad y autorizo al estudiante a iniciar los trámites legales correspondientes.

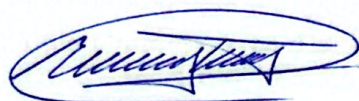


Ing. Edison Coral Salinas, Mgt.
Tutor

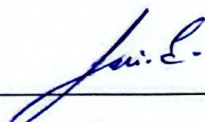
TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Ronald Rovira Jurado, Ph.D.
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Edison Coral Salinas, Mgt.
TUTOR



Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Ph.D.
DOCENTE ESPECIALISTA
DOCENTE GUÍA UIC



Ing. Corina Gonzabay, Mgt.
SECRETARIA DEL TRIBUNAL

Resumen

El objetivo de este trabajo de integración curricular es diseñar y desarrollar un sistema de automatización orientado al control de variables críticas en el proceso productivo, con enfoque en la simulación y la regulación de los parámetros del llenado de botellas. Para implementar la automatización en el entorno de programación TIA Portal, se utilizó un controlador lógico programable y el lenguaje de programación LADDER para organizar el sistema de control. Se creó una simulación del proceso para estudiar cómo cambian las variables y la respuesta del sistema a diferentes condiciones de operación. Los resultados sugieren una mejora en la estabilidad, el control del proceso y condiciones adecuadas para su operación. Esto significa que la automatización con control lógico programable es una solución efectiva y confiable para mejorar los procesos industriales.

Palabras clave: Automatización Industrial, PLC S7-1500, TIA Portal, Programación en lenguaje LADDER, Simulación de sistemas.

Abstract

The goal of this curricular integration project is to design and develop an automation system focused on controlling critical variables in the production process, with an emphasis on simulating and regulating the parameters of bottle filling. To implement the automation in the TIA Portal programming environment, a programmable logic controller and LADDER programming language were used to set up the control system. A simulation of the process was created to study how the variables change and how the system responds to different operating conditions. The results suggest improvements in stability, process control, and suitable operating conditions. This means that automation with a programmable logic controller is an effective and reliable solution to improve industrial processes.

Keywords: Industrial Automation, PLC S7-1500, TIA Portal, Programming in LADDER language, Systems Simulation.

Índice

Índice de figuras	8
Índice de cuadros	11
1. Introducción	13
1.1. Justificación	13
1.2. Panorama actual	13
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo general	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. Fundamentos teóricos	16
1.4.1. Pirámide de automatización	17
1.4.2. Redes de comunicación industrial	17
1.4.3. Proceso del embotellamiento	19
1.4.4. Sistema de control industrial	19
1.4.5. Elementos del sistema eléctrico de maniobra y protección	19
1.4.6. Elementos del sistema de llenado	22
1.4.7. Elementos del sistema de transporte	24
1.4.8. Elementos del sistema de detección	26
1.4.9. Elementos del sistema de procesamiento, comunicación y supervisión	27
1.4.10. Normativas de automatización y control	29
1.4.11. Plataforma de simulación de planta industrial en entorno virtual 3D	30
1.5. Marco contextual	30
2. Métodos y diseño experimental	31
2.1. Métodos	31
2.2. Diseño experimental	31
2.2.1. Diseño de planta	31
2.2.2. Diagrama de conexiones de la simulación	33
2.2.3. Diseño de sistema de control	34
2.2.4. Diseño de sistema de comunicación	35
2.2.5. Diseño de su interfaz	38
2.3. Desarrollo experimental	39
2.3.1. Componentes físicos de simulación	39
2.3.2. Componentes lógicos de simulación	41
2.3.3. Implementación de la planta simulada	44
2.3.4. Implementación del sistema de control simulado	45
2.3.5. Implementación del sistema de comunicación simulada	47
2.3.6. Configuración del sistema de control	49
2.3.7. Configuración del sistema de comunicación	51
3. Resultados	53
3.1. Funcionamiento de la comunicación	53
3.2. Funcionamiento de control PID 1	55
3.3. Funcionamiento de control PID 2	56
3.4. Funcionamiento de la lógica de control	58

3.5. Funcionamiento y configuración del bloque de PID	59
3.5.1. Bloque de llenado de tanque	59
3.5.2. Bloque del llenado botella	60
3.6. Funcionamiento del control local y remoto	61
4. Conclusiones y recomendaciones	62
4.1. Conclusiones	62
4.2. Recomendaciones	62
Referencias	64
Anexos	69

Índice de figuras

1.	Pirámide de automatización industrial [37].	17
2.	Normas más utilizadas en la industria [37].	18
3.	Topología de red industrial [38].	18
4.	Tablero de control [39].	20
5.	Parte interna del breaker [39].	20
6.	Parte del contactor [40].	21
7.	Parte del pulsador [41].	21
8.	Contenedor de almacenado [42].	22
9.	Llenado volumétrico [43].	23
10.	Pick y Place de dos ejes [43].	24
11.	Componentes internos y externos de un pistón neumático [44].	24
12.	Bloque neumático [45].	25
13.	Una representación gráfica tridimensional de una cinta transportadora [46].	26
14.	Representación de un sensor distribuido [47].	26
15.	Representación interna del sensor fotoeléctrico difuso [48].	27
16.	Diagrama de un sensor fotoeléctrico difuso [49].	27
17.	Controlador [50].	28
18.	Diagrama de flujo del sistema de embotellamiento. Fuente: Elaboración propia.	33
19.	Diagrama de la plataforma de integración entre TIA Portal y Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.	34
20.	Configuración del PLC S7-1500 y módulos de control en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	35
21.	Sistema de comunicación [52].	35
22.	Bloque de programa para la comunicación en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	36
23.	Diseño de la planta de embotellamiento en el entorno de simulación Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.	37
24.	Selección y configuración del panel HMI TP700 Comfort en el catálogo de TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	37
25.	Configuración de la red de comunicación mediante PLCSIM en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	38
26.	Diseño de la interfaz HMI para la supervisión y control del proceso. Fuente: Elaboración propia.	39
27.	Estructura de codificación en lenguaje LADDER para el control de los PIDs. Fuente: Elaboración propia.	42
28.	Bloque de programación en lenguaje LADDER para el control del llenado de botellas. Fuente: Elaboración propia.	43
29.	Bloque de datos (DB) con las variables almacenadas de los procesos en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	43
30.	Planta diseñada en el entorno de simulación virtual Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.	44
31.	Ajustes básicos de configuración para el primer controlador PID en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	45
32.	Interfaz de sintonización para el primer controlador PID en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	46

33.	Parámetros configurados para el primer controlador PID en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	46
34.	Búsqueda y selección del controlador virtual PLCSIM para establecer la conexión en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	47
35.	Carga del programa de control en el simulador PLCSIM. Fuente: Elaboración propia.	48
36.	Asignación de variables de comunicación en el entorno de simulación Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.	48
37.	Operación simultánea y comunicación en tiempo real entre Factory I/O y TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	49
38.	Bloques de normalización y escalado para el segundo controlador PID en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	50
39.	Código estructurado para el bloque de integración de caudal a volumen. Fuente: Elaboración propia.	51
40.	Configuración de la dirección IP y parámetros de red del PLC en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	52
41.	Configuración de la dirección IP y parámetros de red de la interfaz HMI en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.	52
42.	Configuración del driver de comunicación Siemens S7-PLCSIM en el entorno de Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.	53
43.	Indicador de comunicación exitosa entre el simulador PLCSIM y el entorno de Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.	54
44.	Estado de la red local virtual mostrando la conexión activa del adaptador Ethernet para PLCSIM. Fuente: Elaboración propia.	54
45.	Curva de respuesta del sistema en la interfaz HMI durante la activación del primer controlador PID. Fuente: Elaboración propia.	55
46.	Gráfica de respuesta del primer controlador PID durante el proceso de llenado del tanque. Fuente: Elaboración propia.	56
47.	Curva de respuesta en la interfaz HMI durante la operación del segundo controlador PID para el llenado de botellas. Fuente: Elaboración propia. .	56
48.	Gráfica de respuesta del segundo controlador PID durante el proceso de llenado de botellas. Fuente: Elaboración propia.	57
49.	Monitoreo en línea de las variables de control activas del PLC. Fuente: Elaboración propia.	58
50.	Configuración de los parámetros de ajuste en el bloque del primer controlador PID. Fuente: Elaboración propia.	59
51.	Configuración de los parámetros en el bloque del segundo controlador PID. Fuente: Elaboración propia.	60
52.	Configuración de los modos de operación para el control remoto y local del sistema. Fuente: Elaboración propia.	61
53.	Algoritmo SCL para la integración de caudal a volumen.	69
54.	Proceso de diseño y ensamblaje de la planta virtual en el entorno de simulación. Fuente: Elaboración propia.	70
55.	Asignación de las variables de entrada y salida del sistema en el entorno de desarrollo. Fuente: Elaboración propia.	70
56.	Configuración de los bloques de normalización y escalado de señales analógicas. Fuente: Elaboración propia.	71

57.	Lógica de control en diagrama de contactos (LADDER) para la secuencia de arranque, parada y pausa del sistema. Fuente: Elaboración propia. . .	71
58.	Lógica de activación y control para el emisor de botellas en el proceso de envasado. Fuente: Elaboración propia.	72
59.	Lógica de control para la secuencia de desplazamiento y posicionamiento en el proceso de envasado de botellas. Fuente: Elaboración propia.	73
60.	Continuación de la lógica de control para el proceso de desplazamiento y llenado de botellas. Fuente: Elaboración propia.	74
61.	Lógica de control y configuración del sistema de alarmas de la planta virtual. Fuente: Elaboración propia.	75

Índice de cuadros

1.	Características técnicas de la banda ligera [43]	40
2.	Características técnicas de la banda pesada [43]	40
3.	Tanque [43]	40
4.	Sensor fotoeléctrico [43]	41
5.	Brazo [43]	41
6.	Cuadro comparativo del 1er PID	55
7.	Cuadro comparativo del 2do PID	57

Nomenclatura y Abreviaturas

A continuación, se indican las abreviaturas y nomenclaturas empleadas en este trabajo:

Símbolo	Significado
A	Área
m	Metro
mm	Milímetro
L	Litro
V	Volumen m^3
f	Frecuencia
P	Proporcional
I	Integral
D	Derivativo
$e(t)$	Error
Δt	Intervalo de tiempo
Q	Caudal

1. Introducción

La industria ha transformado los procesos productivos, lo que contribuye a mejorar la eficiencia, reducir costos y mantener altos estándares de calidad. En el sector del embotellado, tecnologías como TIA Portal y Factory I/O hacen más sencillo diseñar, simular y optimizar sistemas de control antes de instalarlos en planta. Esta simulación permite programar y probar estrategias de control para la línea de embotellado, garantizando el funcionamiento adecuado de sensores, actuadores y transportadores; por ello, se facilita la capacitación del personal y la detección de fallas en un entorno seguro, donde el objetivo es desarrollar una simulación realista del proceso de embotellado utilizando TIA Portal para el PLCSIM y Factory I/O para la visualización en 3D. Así se podrá calificar el funcionamiento del sistema, perfeccionar los tiempos de producción y asegurar la calidad del producto final.

1.1. Justificación

La optimización de los procesos productivos en el sector de alimentos y bebidas se ha convertido en un pilar fundamental para garantizar la eficiencia operativa, la reducción de costos y el cumplimiento de estrictos estándares de calidad. Específicamente, en la industria del embotellamiento, el control riguroso de variables críticas como el caudal, el nivel de almacenamiento y la dosificación precisa de líquidos resulta indispensable para evitar mermas, asegurar la inocuidad del producto y responder a las altas exigencias del mercado actual [1]. El presente estudio se justifica en la necesidad de diseñar y validar estrategias de control automatizado que incrementen la precisión y la seguridad en las líneas de envasado. La implementación de tecnologías de control moderno, como los controladores lógicos programables PLC y los algoritmos de regulación PID, permite mitigar los riesgos asociados a la manipulación manual y a las desviaciones volumétricas [2].

Asimismo, el desarrollo de esta propuesta mediante entornos de simulación virtual integrando TIA Portal con Factory I/O representa una alternativa técnica y económicamente viable para la validación anticipada de lógicas de control secuencial y analógico. Esto permite evaluar el comportamiento dinámico del sistema ante diversas condiciones operativas, minimizando riesgos, optimizando el tiempo de desarrollo y sirviendo como una herramienta robusta tanto para la industria como para la formación académica especializada.

1.2. Panorama actual

La automatización de procesos en el sector industrial del embotellado y envasado ha experimentado avances significativos impulsados por la necesidad de maximizar la productividad, garantizar la inocuidad y reducir las pérdidas de materia prima.

CERVECERÍA NACIONAL establece estrictos parámetros técnicos para el envasado en recipientes de acero inoxidable dentro de la industria cervecera. En esta línea, resulta crítico mantener un flujo continuo sin interrupciones y controlar la turbidez del producto (manteniendo límites de 0,70 EBC a 90° y 0,40 EBC a 25°), lo que demanda sistemas de control precisos para prevenir la contaminación microbiológica cruzada durante el embotellado [3].

COCA COLA, como referente en la industria de bebidas carbonatadas a escala global, orienta la gestión de sus plantas embotelladoras hacia la eficiencia energética y el desarrollo sostenible. El control automatizado en estos entornos se enfoca en la dosificación volumétrica homogénea a altas velocidades y en la optimización del consumo de recursos no renovables, como el agua y los combustibles, dentro del proceso de envasado [4].

El agua se emplea en muchos procesos industriales, desde la fabricación de alimentos hasta la producción de dispositivos electrónicos. En la industria de alimentos y bebidas, la pureza del agua influye directamente en la calidad de los productos, ya que se utiliza para diluir, preparar y realizar otros procesos. Por eso, el tipo de agua más usado en este sector es el agua potable, apta para el consumo humano y que cumple con parámetros establecidos, como límites microbiológicos, físicos y químicos, entre otros, para ser considerada de esta categoría [5]. AQUAFIT, empresa embotelladora de agua purificada radicada en la provincia de Santa Elena, Ecuador, implementa sistemas de control automatizado en sus líneas de envasado para garantizar la inocuidad y calidad del recurso hídrico. En este proceso, la regulación precisa en las etapas de filtración, llenado volumétrico y sellado hermético permite mantener la estabilidad microbiológica y fisicoquímica del producto, asegurando el cumplimiento de las normativas sanitarias nacionales vigentes [6].

Para evitar invertir en procesos industriales sin conocer su funcionamiento, se investigaron programas de software capaces de simular dichos procesos en tiempo real. Uno de estos programas es Factory I/O, desarrollado por Real Games. Este software surgió a principios de la década de 2010 con el objetivo de facilitar el aprendizaje práctico de la automatización mediante entornos industriales virtuales e interactivos [7].

Por otro lado, TIA Portal *Totally Integrated Automation Portal* es una plataforma de Siemens, lanzada en 2010, diseñada para integrar la programación, configuración y monitoreo de dispositivos como PLCs, HMIs y redes industriales [8].

Esta conexión entre estos dos programas fue desarrollada para abordar la necesidad de integrar la simulación virtual de Factory I/O con el control real en TIA Portal. Permite una prueba completa de la lógica de control con retroalimentación virtual y abordar la optimización del tiempo de producción y la detección de fallos y desperdicios. La simulación industrial es actualmente la forma preferida de programar y probar estrategias de control sin arriesgar la producción. Al combinar Factory I/O con TIA Portal, es posible analizar el funcionamiento de los controladores lógicos programables en un entorno que es seguro y eficiente. Estas herramientas mejoran la operación y le ponen más fácil al personal, lo que reduce errores humanos y mejora la seguridad. También permiten detectar fallas, optimizando el mantenimiento y minimizando cortes en la producción [9].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseño de un control automatizado que modele el proceso de embotellamiento industrial mediante la implementación de Factory I/O y TIA Portal para elaborar la lógica de control, así como para realizar el análisis y la validación de las señales en las etapas de llenado y transporte.

1.3.2. Objetivos específicos

- Desarrollar la lógica de control secuencial mediante la programación en lenguaje LADDER dentro de PLCSIM para la automatización virtual del proceso en Factory I/O.
- Diseñar una interfaz gráfica HMI mediante el enlace de comunicación entre TIA Portal y Factory I/O para la supervisión y operación integral del sistema.
- Configurar los bloques de controladores PID a través del entorno de PLCSIM para la regulación exacta del nivel del tanque y el volumen de las botellas.

1.4. Fundamentos teóricos

Los procesos industriales y no industriales se optimizan en términos de eficiencia, productividad, calidad, seguridad y reducción de costos. Este ámbito combina electrónica, control, informática, mecánica y comunicaciones que permiten a las máquinas y procesos operar de manera coordinada, precisa y continua. La automatización es una parte fundamental de la fabricación, la energía, la alimentación, la minería, la industria farmacéutica, entre otros [10].

Para controlar y supervisar procesos, se emplean diversos tipos de sensores que miden variables físicas del entorno. Los más comunes son:

- Sensores de presión
- Sensores infrarrojos
- Sensores de velocidad
- Sensores de posición

Estos sensores funcionan junto con controladores lógicos programables, sistemas de supervisión, control y adquisición de datos, interfaces hombre-máquina, actuadores y otros dispositivos que hacen posible la automatización total o parcial de un sistema [10].

Sin sensores y actuadores no es posible implementar sistemas automatizados en un proceso de producción, que nos permiten que el sistema de control interactúe con el entorno físico. Los sensores captan información del entorno, como temperatura, presión, posición, nivel, las cuales convierten en señales eléctricas que el controlador puede interpretar. Los actuadores, por su parte, se encargan de ejecutar las acciones físicas en el sistema donde reciben señales de control de un PLC donde las convierten en movimientos mecánicos, eléctricos o neumáticos. Gracias a esto, pueden poner en marcha motores, abrir válvulas, encender luces o activar alarmas. Cuando sensores y actuadores trabajan en conjunto, el sistema automatizado puede ajustar los parámetros del proceso de forma automática y precisa, respondiendo en tiempo real a las condiciones del entorno [11].

1.4.1. Pirámide de automatización

Esta pirámide es un modelo que representa los niveles que componen un sistema industrial. Consta de cinco niveles, que se muestran en la figura 1 [11]:

- Nivel de campo: Aquí se instalan sensores y actuadores.
- Nivel de control: Se hallan robots y controladores.
- Nivel de supervisión: Visualización del proceso, con el límite de monitorear la planta.
- Nivel de operación: Sistema que opera y toma decisiones.
- Nivel de gestión: Su función incluye la supervisión de la dirección y la gestión de la fase de producción.

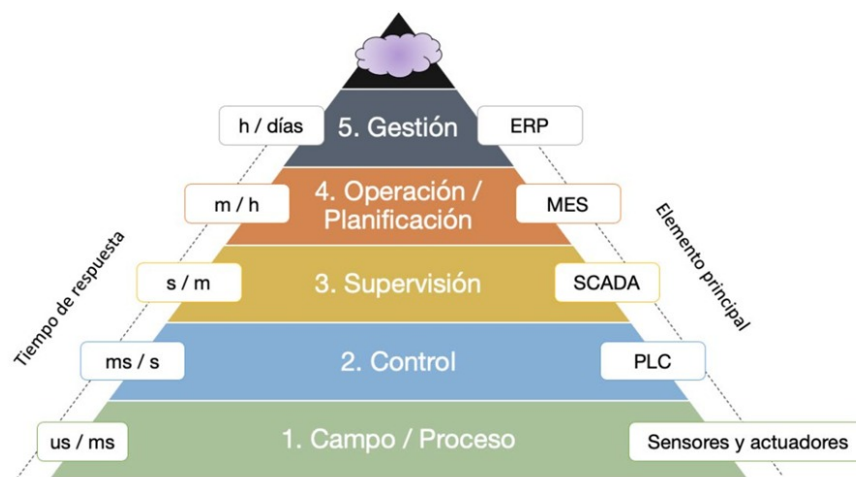


Figura 1: Pirámide de automatización industrial [37].

1.4.2. Redes de comunicación industrial

La figura 2 presenta la organización de una red de automatización industrial, estructurada en niveles que integran las distintas áreas del sistema. En la base está el nivel de campo, es decir, los sensores y actuadores interactúan con el proceso físico para medir variables y tomar acciones en tiempo real. Estos dispositivos se conectan a los PLCs a través de redes como DeviceNet, que son rápidas y adecuadas para señales de bajo nivel a nivel de máquina. En este estrato, los procesos se controlan mediante HMIs dentro del área de control, lo que permite la operación.

El nivel de célula reúne varios PLCs y permite supervisar, controlar y adquirir datos mediante computadoras conectadas a redes como ControlNet, que manejan información más compleja y estructurada. Después está el nivel de planta, donde un PLC maestro coordina la producción de varias celdas de manera general. En la parte superior se encuentra el nivel de oficina, que utiliza Ethernet para conectar todos los niveles con los sistemas administrativos y de gestión empresarial, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas [12].

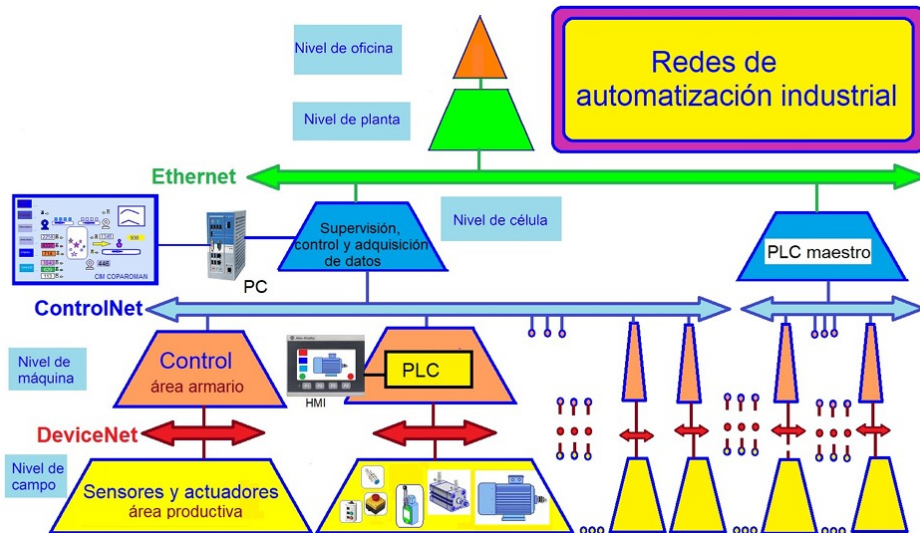


Figura 2: Normas más utilizadas en la industria [37].

Los tipos de topologías industriales son las formas en que se conectan diferentes dispositivos. Por ejemplo, en la figura 3 estamos viendo una red con una topología de bus donde todos los dispositivos de la planta están conectados a un nodo principal. En la topología de estrella, todos los dispositivos están conectados a un nodo central que controla la comunicación. La topología en anillo conecta cada dispositivo con el siguiente, formando un circuito cerrado. La topología árbol combina las características de la estrella y el bus, organizándose de manera jerárquica: un nodo principal se ramifica en subnodos, y estos en más dispositivos. Por último, la topología en malla conecta cada dispositivo con varios, lo que genera múltiples rutas de comunicación [12].

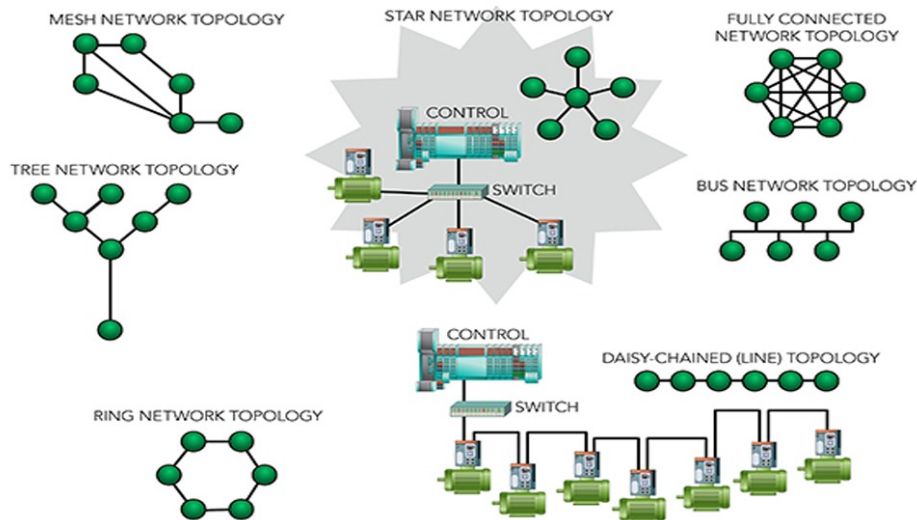


Figura 3: Topología de red industrial [38].

1.4.3. Proceso del embotellamiento

A continuación, se explicará cada proceso de llenado: en esta etapa, las botellas vacías se colocan debajo de los brazos de llenado, donde un sistema de válvulas controladas por el PLC regula el caudal para garantizar volúmenes estables. El llenado puede realizarse por gravedad o por presión, según la viscosidad del producto. Los sensores de nivel y las fotocélulas verifican la presencia y el correcto llenado de cada envase; si se detecta alguna desviación, el PLC activa alarmas o detiene la línea. En este punto, los sistemas de visión inspeccionan las botellas para detectar si están correctamente selladas, y las que cumplen con los requisitos se transportan en bandas motorizadas cuyo recorrido y velocidad son controlados por el sistema.

1.4.4. Sistema de control industrial

Este subproceso se enfoca en automatizar y controlar los distintos dispositivos que integran un sistema de producción industrial. El propósito es hacer que el proceso opere de manera estable, segura y eficiente, respondiendo integralmente a señales o condiciones del entorno mediante PLCs, relés, temporizadores y sensores conectados al equipo eléctrico y mecánico. Se utilizan motores eléctricos para accionar las cintas transportadoras, los cuales pueden ser regulados por convertidores de frecuencia para controlar su velocidad y sentido de giro.

El transporte del flujo es esencial para el sistema de dosificación y opera según el control de presión y caudal. Las bandas transportadoras trasladan los productos a lo largo de la línea; su sincronización con las etapas de llenado se gestiona mediante motores y sensores de presencia. Los sensores proporcionan retroalimentación continua sobre variables como presencia, presión y posición; estas señales permiten al sistema tomar decisiones automáticas. Asimismo, los brazos robóticos ejecutan tareas de alta repetibilidad con gran exactitud gracias a sus ejes articulados. En conjunto, esta arquitectura garantiza una operación coordinada, precisa y segura, minimizando la intervención humana y optimizando la calidad del producto final.

1.4.5. Elementos del sistema eléctrico de maniobra y protección

1.4.5.1 Función del tablero de control

En la figura 4 se muestra el panel de control, donde se encuentra el pulsador "start", cuya función es iniciar la planta. Luego de ello, hay un pulsador con la etiqueta "stop", que detiene el proceso. Tenemos un contador que indicará cuántas botellas se llenaron. Por último, el botón de emergencia detiene de inmediato el proceso ante cualquier situación crítica.



Figura 4: Tablero de control [39].

1.4.5.2 Función del breaker

Los interruptores termomagnéticos sirven para proteger los circuitos eléctricos de los equipos y dispositivos. Funcionan al abrir el paso a la corriente eléctrica cuando esta supera el valor nominal del interruptor, lo que ayuda a evitar daños. En la figura 5 se muestra cómo funciona un breaker por dentro [13].

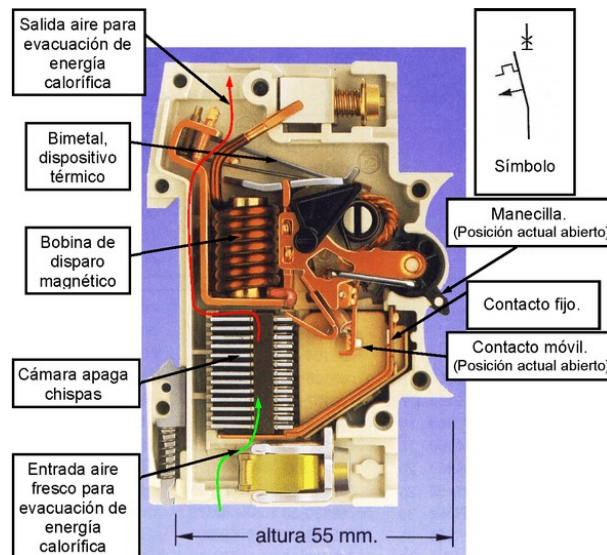


Figura 5: Parte interna del breaker [39].

1.4.5.3 Función del contactor

Un contactor es un dispositivo electromecánico que controla el flujo de corriente eléctrica. En un tablero de control, se permite encender o apagar un dispositivo eléctrico, como un motor o una lámpara. Su funcionamiento se basa en que la energía de la bobina genera un campo magnético que atrae el núcleo del contactor. Esto hace que el núcleo conecte o desconecte el circuito eléctrico del contactor. En la figura 6 se muestra cómo funciona [14].

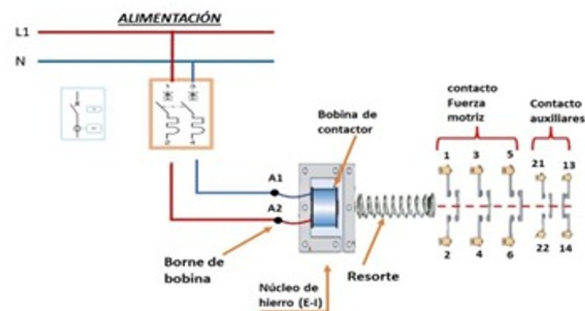


Figura 6: Parte del contactor [40].

1.4.5.4 Función del pulsador

Los pulsadores se usan para enviar una señal eléctrica a un circuito. Se dividen en dos tipos: pulsadores de retención y pulsadores momentáneos, como se muestra en la figura 7. Los pulsadores momentáneos envían una señal solo mientras los mantienes presionados; al soltar el botón, la señal se detiene. En cambio, los pulsadores de retención permanecen activados hasta que los vuelves a presionar [15].

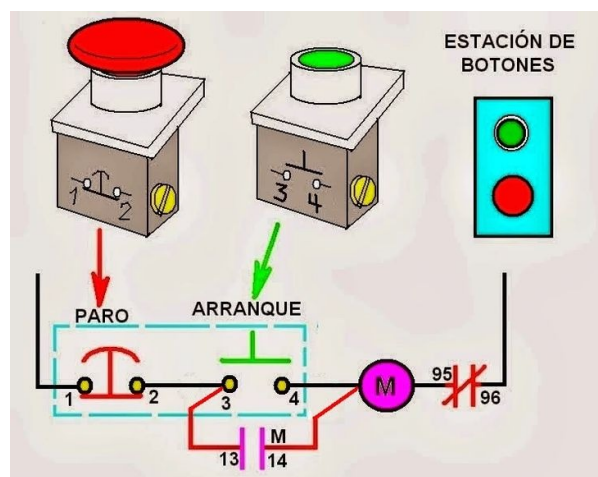


Figura 7: Parte del pulsador [41].

1.4.6. Elementos del sistema de llenado

1.4.6.1 Función del contenedor de almacenamiento

Este sistema integra elementos finales de control neumáticos cuyo accionamiento proporcional es regulado mediante señales analógicas de tensión en el rango de 0 a 10 V. Esta modulación permite ajustar con precisión la apertura de las válvulas para regular el caudal de entrada y salida conforme a los requerimientos dinámicos del sistema. Asimismo, se dispone de un sensor de nivel capacitivo para el monitoreo continuo de la variable de proceso; este instrumento opera sin contacto directo con el fluido y ofrece una alta sensibilidad frente a medios líquidos.

La regulación del contenedor se efectúa mediante un algoritmo de control PID, en el cual la señal transmitida por el sensor de nivel actúa como la variable de proceso PV , mientras que el controlador envía la señal de mando hacia las válvulas de regulación para mantener el parámetro en el valor de consigna o *set point* SP . Asimismo, el esquema de control permite monitorear el caudal de salida transferido hacia etapas subsecuentes. Esta arquitectura es habitual en las industrias química, farmacéutica, de bebidas y de tratamiento de aguas, áreas donde la estabilidad del nivel y del flujo es determinante para garantizar la calidad del producto, la seguridad del proceso y el cumplimiento de los requerimientos operativos figura 8 [16].



Figura 8: Contenedor de almacenado [42].

1.4.6.2 Llenado botellas

El llenado de botellas es un paso fundamental en muchas industrias, sobre todo en las que trabajan con líquidos, como la alimentaria, química o farmacéutica. Este proceso ayuda a que los productos lleguen a los consumidores en buenas condiciones, mejora la eficiencia de la producción y asegura el cumplimiento de las normas de calidad. Consiste en una serie de etapas en las que se introduce un líquido en envases de distintos tamaños y materiales. Este procedimiento es esencial para garantizar que los productos estén aptos para su distribución y consumo. Cada tipo de líquido exige métodos específicos de llenado en función de su viscosidad, de sus propiedades químicas y de los envases empleados [16].

1.4.6.3 Llenado volumétrico

Es un método de envasado automatizado basado en la medición y dosificación directa del volumen de producto entregado a cada recipiente, empleando para ello dispositivos mecánicos o electrónicos de control como pistones, cilindros, discos rotativos, bombas peristálticas o medidores de flujo. Este sistema destaca por su alta precisión y consistencia en la dosificación de insumos críticos como alimentos, cosméticos y fármacos, su versatilidad para adaptarse a líquidos de baja y alta viscosidad (geles, cremas y salsas); y su flexibilidad para operar con envases de variadas geometrías y capacidades. Asimismo, permite regular dinámicamente la velocidad de llenado, optimizando los tiempos de ciclo y previniendo salpicaduras o turbulencias en productos espumosos o de manipulación sensible así como se muestra en la figura 9 [17].



Figura 9: Llenado volumétrico [43].

1.4.6.4 Pick y Place de dos ejes

Esta pieza forma parte de un sistema automatizado utilizado en procesos de ensamblaje y mecanizado industrial, como se muestra en la figura 10 es especialmente útil en líneas de producción donde se requieren precisión y repetibilidad donde sirve para colocar tapas sobre bases o mover objetos de un lugar a otro con exactitud, para poder así lograr un ensamblaje correcto. Las tapas con bases deben estar bien alineadas, lo cual se consigue mediante barras de posicionamiento que aseguran la orientación antes del ajuste. Esto hace que el proceso sea más eficiente, reduce errores y ayuda el ensamblaje. Suele integrarse a brazos robóticos o a sistemas neumáticos para mejorar el flujo de trabajo en industrias como la alimentaria, la farmacéutica o la de envases [18].

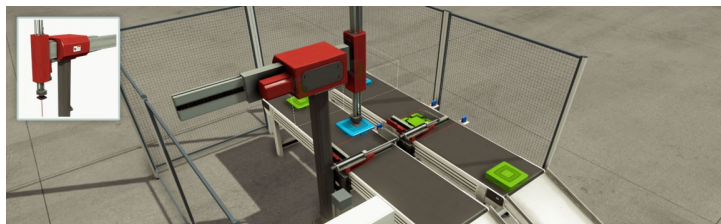


Figura 10: Pick y Place de dos ejes [43].

1.4.7. Elementos del sistema de transporte

1.4.7.1 Pistón neumático

Es un actuador mecánico utilizado en diversas aplicaciones de automatización y de procesos industriales, como se muestra en la figura 11. Este dispositivo convierte la energía del aire comprimido en energía mecánica, moviendo el vástago del pistón en línea recta, hacia adelante y hacia atrás. Gracias a este movimiento, se pueden realizar tareas como levantar cargas, mover estructuras u objetos, entre otras [19].

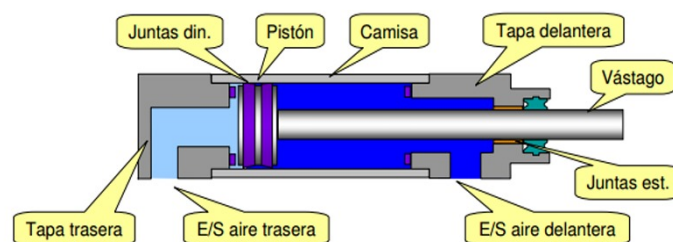


Figura 11: Componentes internos y externos de un pistón neumático [44].

1.4.7.2 Bloque neumático

Es un dispositivo que protege a los trabajadores al evitar que los accesorios neumáticos se conecten a una fuente de presión, como se muestra en la figura 12. Existen de varios tipos: tipo de cable ajustable, tipo de válvula de bola, tipo de válvula de compuerta y tipo de desconexión rápida. Estos bloqueos para mangueras neumáticas son críticos para desactivar el aire comprimido. Se conectan rápida y fácilmente al adaptador y evitan una conexión neumática sin necesidad de válvulas de bloqueo [20].

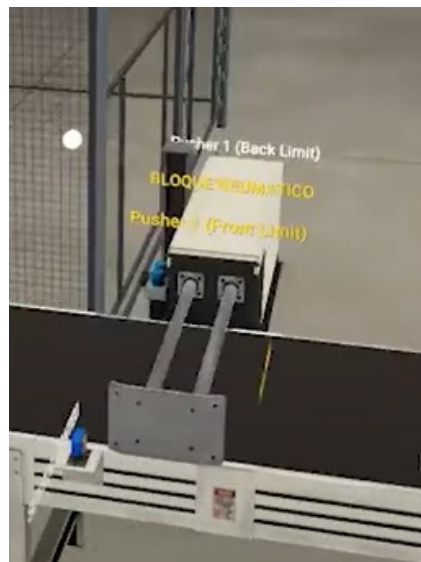


Figura 12: Bloque neumático [45].

1.4.7.3 Banda transportadora

Una banda transportadora es un sistema formado por mecanismos mecánicos que ayuda a mover objetos de un lugar a otro. En una planta industrial, además de transportar, también sirve para clasificar, almacenar e inspeccionar productos en sectores como el alimentario, el farmacéutico, el minero y el logístico. El material de la banda varía según su uso. En la figura 13 se muestra un modelo de banda transportadora diseñado para transportar botellas de agua a lo largo de una línea de producción, donde se llenan y se colocan las tapas [21].



Figura 13: Una representación gráfica tridimensional de una cinta transportadora [46].

1.4.8. Elementos del sistema de detección

1.4.8.1 Sensores fotoeléctricos difusos

Estos sensores ópticos se utilizan ampliamente en la automatización industrial. Integran en un solo dispositivo un emisor y un receptor de luz. Detectan la luz que un objeto refleja, lo que les permite identificar si está presente. El sensor fotoeléctrico difuso, que se muestra en la figura 14 y también se denomina sensor reflectivo difuso, es un sensor óptico de proximidad. Opera con el principio de reflexión: la fuente de luz y el receptor están en la misma carcasa, el haz de luz se dirige al objeto y este lo refleja de vuelta al sensor.



Figura 14: Representación de un sensor distribuido [47].

El objeto que aparece en la figura 15 actúa como superficie reflectante. La ejecución se realiza analizando la intensidad de la luz reflejada, lo que permite decir si el objeto está presente en el área [22].

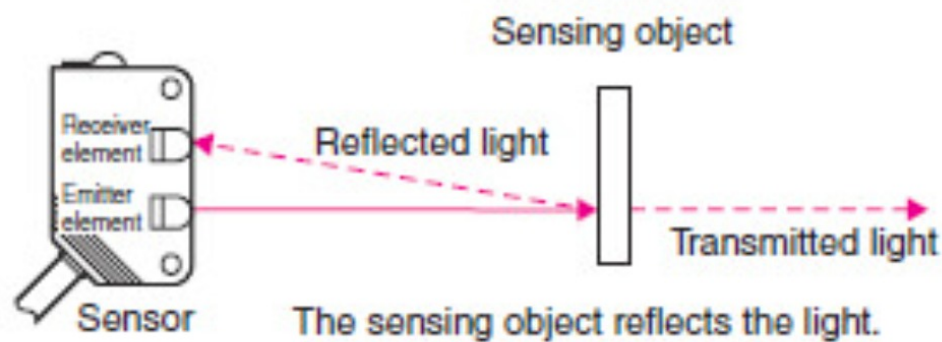


Figura 15: Representación interna del sensor fotoeléctrico difuso [48].

1.4.8.2 Principio de funcionamiento de la barrera fotoeléctrica difusa

Al igual que otras barreras fotoeléctricas, tienen circuitos integrados que modulan, emiten, reciben y demodulan el haz de luz. También gestionan la señal de salida, como se muestra en la figura 16. En estos sensores, el emisor y el receptor están en la misma unidad. Una fotocélula, en general, incluye varios circuitos internos, entre ellos [22]:

- Circuito modulador y amplificador.
- Unidad transmisora y receptora.
- Amplificador detector y circuito demodulador.
- Circuito de salida.

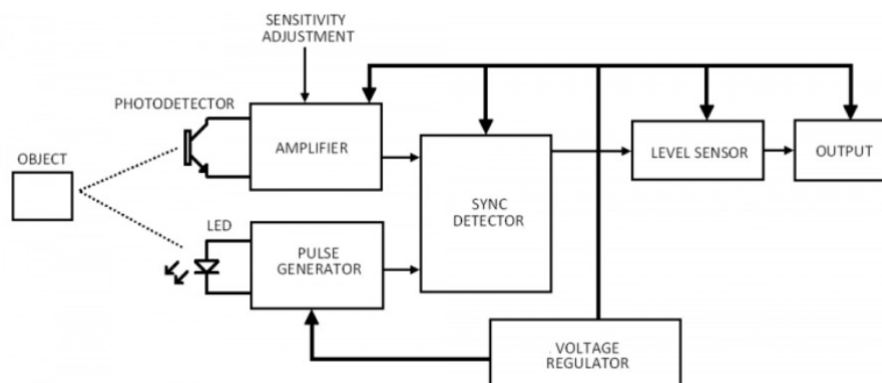


Figura 16: Diagrama de un sensor fotoeléctrico difuso [49].

1.4.9. Elementos del sistema de procesamiento, comunicación y supervisión

1.4.9.1 Controlador lógico programable

La función principal del controlador en un proceso de automatización, como el embotellado, es actuar como unidad central de control así como se visualiza en la figura 17. Recibe señales de entrada provenientes de sensores como detectores de nivel, presencia de

botella o sensores de caudal y, con base en una lógica previamente programada, procesa esta información para tomar decisiones. Luego, envía señales de salida hacia actuadores como válvulas, motores o bandas transportadoras para ejecutar acciones como detener o iniciar el flujo de líquido, mover las botellas [24].



Figura 17: Controlador [50].

1.4.9.2 Comunicación para el controlador

Los PLC S7-1500 de Siemens también destacan por su gran versatilidad en comunicación, ofreciendo múltiples protocolos para adaptarse a distintas necesidades en la automatización industrial. Uno de los más importantes es el protocolo ISO-on-TCP, que permite la comunicación abierta mediante TCP/IP para el intercambio de datos entre equipos, por otro lado, el S7-1500 permite la comunicación punto a punto a través de RS422/485 y RS232 (mediante módulos adicionales), y es compatible con el MODBUS-RTU. Una de las principales ventajas de este sistema radica en su compatibilidad con PROFINET, que ayuda a la comunicación con el SCADA como WinCC y permite intercambiar datos entre PLCs mediante PUT y GET. Este ofrece información sobre los protocolos y puertos de Ethernet, lo que ayuda a aplicar prácticas de comunicación. Además, la CPU permite varios protocolos configurables, por lo que pueden cambiar las direcciones y los niveles de comunicación.

1.4.9.3 Función de la interfaz hombre-máquina

Se utiliza el HMI para facilitar la interacción entre el operador y el sistema de automatización, permitiendo el monitoreo en tiempo real del estado del proceso, visualización de variables operativas, detección de alarmas y envío de comandos de control de manera segura e intuitiva. Su funcionamiento se basa en la comunicación con el sistema de control, que proporciona información actualizada sobre el proceso y permite al usuario realizar acciones como arrancar, parar, ajustar parámetros y seleccionar modos de operación, lo que contribuye a una gestión más eficiente, segura y confiable de la planta [25].

1.4.10. Normativas de automatización y control

1.4.10.1 ISA - 101: Interfaz hombre-máquina

La norma ISA - 101 ayuda a diseñar e implementar interfaces hombre-máquina seguras, eficientes y efectivas. Incluye temas como la jerarquía de menús, la navegación, el uso de colores y gráficos, la gestión de alarmas y la seguridad. Su objetivo es mejorar la interacción entre el usuario y la maquinaria, haciendo la operación más intuitiva y reduciendo errores. ISA - 101 destaca que un buen diseño debe permitir al operador detectar, diagnosticar y responder adecuadamente a situaciones anormales, lo que mejora la seguridad y la eficiencia [26].

1.4.10.2 ISA - 5.1: Símbolos e identificación de instrumentación

Un lenguaje visual estandarizado utiliza símbolos y códigos en la documentación de sistemas de instrumentación y control. Esto ayuda a ingenieros, técnicos y operadores a interpretar diagramas con facilidad, donde mejora la comunicación y el mantenimiento de las plantas industriales [27].

1.4.10.3 ISA - 95: Integración empresa-control

Se propone un modelo que integra los sistemas de control de planta, como los PLCs y los SCADA, con los sistemas de gestión empresarial, como los ERP. Este modelo estandariza los flujos de información entre los distintos niveles de producción y ayuda a mejorar la eficiencia y la sincronización en la manufactura [28].

1.4.10.4 ISA - 84 / IEC 61511: Seguridad funcional en la industria manufacturera

La ISA-84, basada en la norma IEC 61511, establece los requisitos técnicos para los sistemas instrumentados de seguridad (SIS) en la industria. Explica cómo identificar, evaluar y reducir riesgos mediante funciones de seguridad automatizadas, asegurando un funcionamiento confiable y seguro a lo largo de todo el ciclo de vida del sistema [29].

1.4.10.5 IEC 61508: Seguridad funcional de sistemas electrónicos

La IEC 61508 es la norma internacional básica para la seguridad funcional de los sistemas eléctricos, electrónicos y programables. Ofrece un marco para analizar riesgos, definir niveles de integridad de seguridad (SIL) y diseñar sistemas críticos que eviten fallos peligrosos. Esta norma se aplica a muchas industrias, no solo a la de procesos [30].

1.4.10.6 ISO 22000 – Sistema de gestión de inocuidad alimentaria

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial que reúne a organismos nacionales de normalización. Por lo general, las Normas Internacionales se desarrollan mediante los comités técnicos de la ISO. Cada organismo miembro interesado en un tema con comité técnico puede estar representado en dicho comité. También participan organizaciones internacionales, tanto gubernamentales como no gubernamentales, relacionadas con la ISO. Además, ISO trabaja de cerca con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en materia de normalización electrotécnica [31].

1.4.10.7 ISO 9001 – Sistema de gestión de calidad

Es una norma internacional que define los requisitos para un sistema de gestión de la calidad. Está destinada a ayudar a las organizaciones a lograr un mejor desempeño y cumplir con las expectativas de los clientes. Esta norma se basa en siete principios de gestión de la calidad que ayudarán a las organizaciones a ofrecer un mejor rendimiento y una mayor satisfacción. También brinda a las empresas la oportunidad de demostrar que son capaces de cumplir con los requisitos [32].

1.4.10.8 ISO 15378 – Buenas prácticas de fabricación de envases primarios

La norma se aplica al diseño, la fabricación y el suministro de materiales de embalaje primario para medicamentos. Establece los requisitos de buenas prácticas de manufactura para un sistema de gestión de la calidad basado en la norma ISO 9001. Esta norma ayuda a las organizaciones a demostrar que pueden ofrecer materiales de embalaje primario que cumplen tanto con las necesidades del cliente como con los requisitos regulatorios y los estándares internacionales [33].

1.4.10.9 ISO 14159 - Higiene en el diseño de máquinas

Esta norma internacional establece los requisitos de higiene para el diseño de maquinaria utilizada en la producción de alimentos, como el embotellado. Su objetivo es reducir el riesgo de contaminación microbiológica o química en los productos. La norma exige que las máquinas sean fáciles de limpiar, resistentes a la corrosión y fabricadas con materiales seguros para el contacto con alimentos. Se considera importante que las superficies sean lisas, sin grietas ni zonas de difícil acceso. Cumplir estos requisitos es clave para garantizar la seguridad en las líneas automatizadas de llenado y taponado [34].

1.4.11. Plataforma de simulación de planta industrial en entorno virtual 3D

Es una simulación de entornos automatizados realistas como líneas de ensamblaje, cintas transportadoras. Su propósito es proporcionar una plataforma visual para que los usuarios prueben y validen sus programas de automatización antes de implementarlos en un entorno físico. En este caso, es una planta virtual de lenguaje LADDER para el PLC Siemens S7-1500. Esto se realiza a través de protocolos, de modo que las entradas y salidas virtuales de Factory I/O puedan responder a la lógica de control por TIA Portal [35].

1.5. Marco contextual

El laboratorio de automatización, control y programación de la Universidad Estatal Península de Santa Elena constituye un espacio estratégico para la investigación aplicada y el desarrollo de competencias técnicas. Este entorno dispone de recursos tecnológicos que permiten a los estudiantes interactuar directamente con herramientas de nivel industrial. En este contexto, el presente proyecto aborda el diseño y la simulación funcional de un proceso industrial de embotellado, integrando el software TIA Portal para la programación del controlador lógico programable PLC y la interfaz hombre-máquina HMI, junto con el entorno virtual Factory I/O para el modelado tridimensional de la planta. La integración de ambas plataformas permite crear un gemelo digital del sistema, facilitando la validación de las rutinas de control y la supervisión en tiempo real de las etapas de llenado, clasificación y empaquetado.

2. Métodos y diseño experimental

2.1. Métodos

Se han empleado diversas metodologías de investigación que permiten abordar de manera integral el diseño, la simulación y el análisis del proceso de embotellamiento automatizado. Se aplicaron enfoques descriptivos, exploratorios y experimentales de estudio. Cada una de estas metodologías contribuye a distintas fases del proyecto, desde la comprensión inicial hasta la validación del sistema, que se hablará a continuación:

- Metodología descriptiva: Se utilizó para documentar en detalle y automatizar una línea de embotellado, donde además se explicaron las etapas principales del proceso, como el llenado y el empaquetado de botellas. También se describió el funcionamiento e interacción entre los componentes clave del sistema, como los sensores, actuadores, cintas transportadoras y controladores lógicos programables. Esta metodología también permitió detallar la estructura del programa desarrollado en TIA Portal, como los bloques de función utilizados, las variables de control y la configuración del entorno virtual en Factory I/O.
- Metodología exploratoria: Se prestó especial atención a las herramientas de simulación y a cómo se utilizaron. Se realizó una revisión práctica de las funciones disponibles en TIA Portal y Factory I/O para identificar cómo conectar ambos entornos. Qué elementos de hardware se podrían utilizar y cómo modelar de manera realista el proceso de embotellado. También se establecieron ejemplos de simulación similares en fuentes académicas y técnicas, que se utilizaron para tomar decisiones en el diseño del sistema.
- Metodología experimental: Se realizaron varias pruebas para validar la funcionalidad del sistema. Los experimentos se llevaron a cabo en un entorno simulado con los parámetros de entrada de velocidad de la cinta transportadora, tiempos de retraso de los actuadores, configuración de sensores y respuesta del programa a fallos simulados. Por ejemplo, se analizó el efecto de cambiar los temporizadores en el flujo del proceso y la respuesta del sistema a una botella defectuosa. Las pruebas proporcionaron la posibilidad de identificar relaciones de causa y efecto y probar el rendimiento.

2.2. Diseño experimental

El diseño experimental contempla la planificación estructurada y técnica necesaria para llevar a cabo la implementación del sistema propuesto. Este proceso incluye el desarrollo de diversos subdiseños fundamentales que permiten materializar y operar el sistema de manera funcional y eficiente.

A continuación, se describen los principales componentes involucrados:

2.2.1. Diseño de planta

El diagrama de flujo que se visualiza en la figura 18 representa, en primer lugar, la verificación del estado del tanque, determinando si se encuentra vacío o con nivel suficiente. Sin embargo, el sistema no entra en operación automática hasta que el operador active el

controlador PID principal. Esta lógica asegura que el proceso no funcione en condiciones inadecuadas.

Cuando se activa el controlador PID principal, el sistema comienza a llenar el tanque hasta alcanzar el valor de referencia establecido de 1500 mm (1.5 m). Este nivel es crucial, ya que es la condición habilitante para iniciar el proceso de embotellado. Si el operador presiona el botón de inicio, el sistema no permitirá la producción de botellas mientras no se haya alcanzado dicho nivel, aplicando una lógica de seguridad que asegura la estabilidad del proceso.

Cuando se alcanza el nivel adecuado, el sistema inicia la producción y activa las bandas transportadoras que trasladan las botellas al llenado. En este punto, cada botella debe colocarse correctamente bajo un brazo de llenado, donde habrá un sensor de final de carrera que verifica esto. Es fundamental, ya que permite el llenado; también, si se detecta que la botella está en la posición correcta, lo que ayuda a evitar pérdidas de producto.

El llenado de las botellas se controla mediante un segundo controlador PID, que regula con precisión el volumen de líquido suministrado. Cada botella debe llenarse hasta 5 litros por defecto por lo que el sistema ajusta la transferencia de fluido según el nivel que queda en el tanque. Cuando se llenan las botellas, el nivel del tanque baja, pero si el controlador PID principal sigue funcionando, compensa esa variación y mantiene el nivel.

Una vez que la botella alcanza el volumen deseado, el sistema continúa con las etapas posteriores del proceso, como el llenado completo y el transporte mediante bandas hacia otras áreas. En conjunto, esta secuencia de operaciones permite una automatización eficiente, segura y precisa del proceso de embotellamiento, integrando control continuo y discreto en una misma arquitectura industrial.

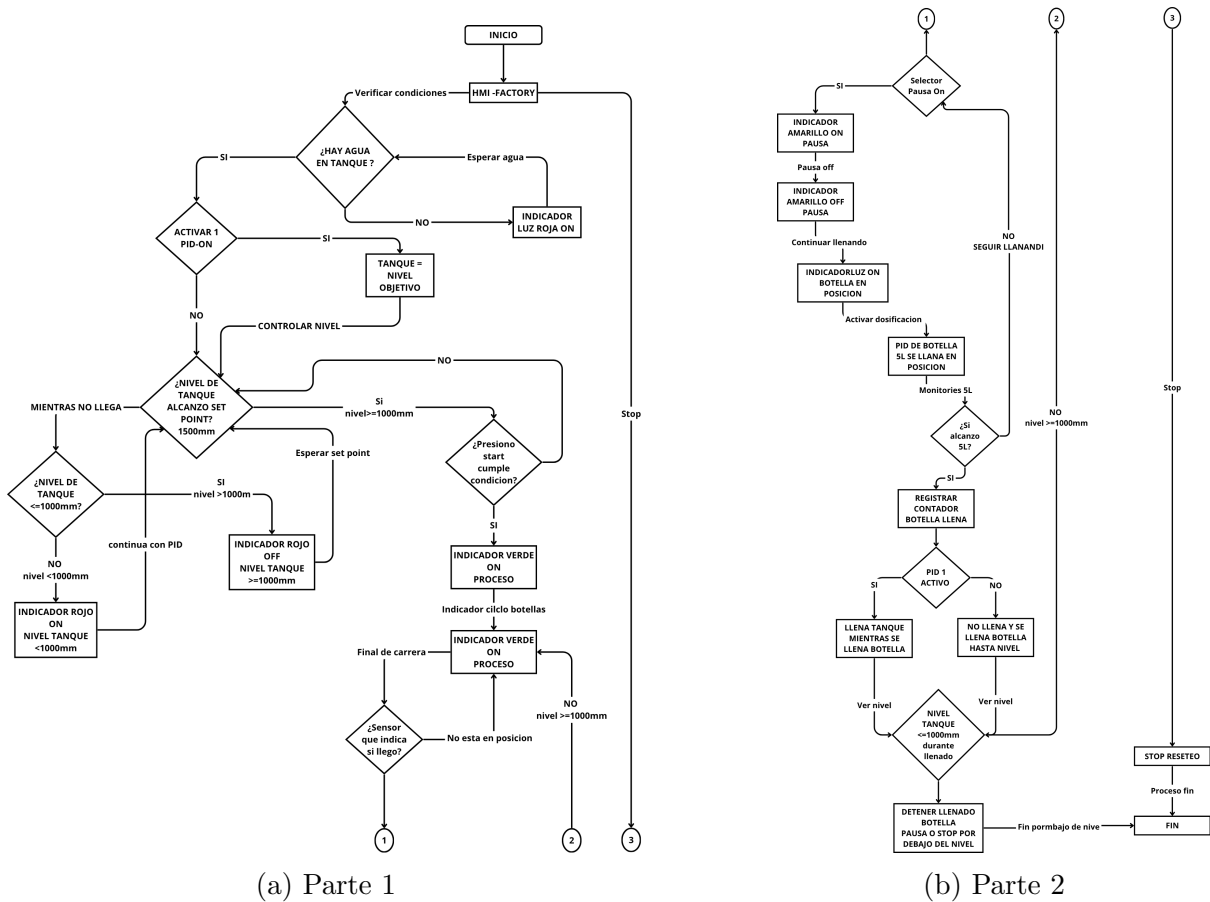


Figura 18: Diagrama de flujo del sistema de embotellamiento. Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. Diagrama de conexiones de la simulación

En la figura 19 se desarrolló un sistema automatizado de control industrial para una línea de llenado de botellas. Este proceso inicia con el uso del software Factory I/O, que permite crear un entorno de simulación tridimensional del sistema físico, facilitando la visualización y prueba de operaciones sin necesidad de hardware real. A continuación, se desarrolla la lógica de control utilizando programación en lenguaje LADDER, un estándar gráfico que representa secuencias de control mediante contactos y bobinas, emulando circuitos eléctricos.

Toda la programación y configuración del sistema se realizan en TIA Portal, que permite diseñar, programar y supervisar, así como conectar dispositivos HMI y redes industriales. Al final, el sistema cuenta con toda la funcionalidad que el operador necesita para supervisar el estado del sistema, gestionar alarmas y utilizar controles interactivos. La integración de herramientas virtuales permite simular, validar, programar y monitorear, lo que optimiza los tiempos de desarrollo, reduce errores y mejora la eficiencia de producción en entornos industriales.

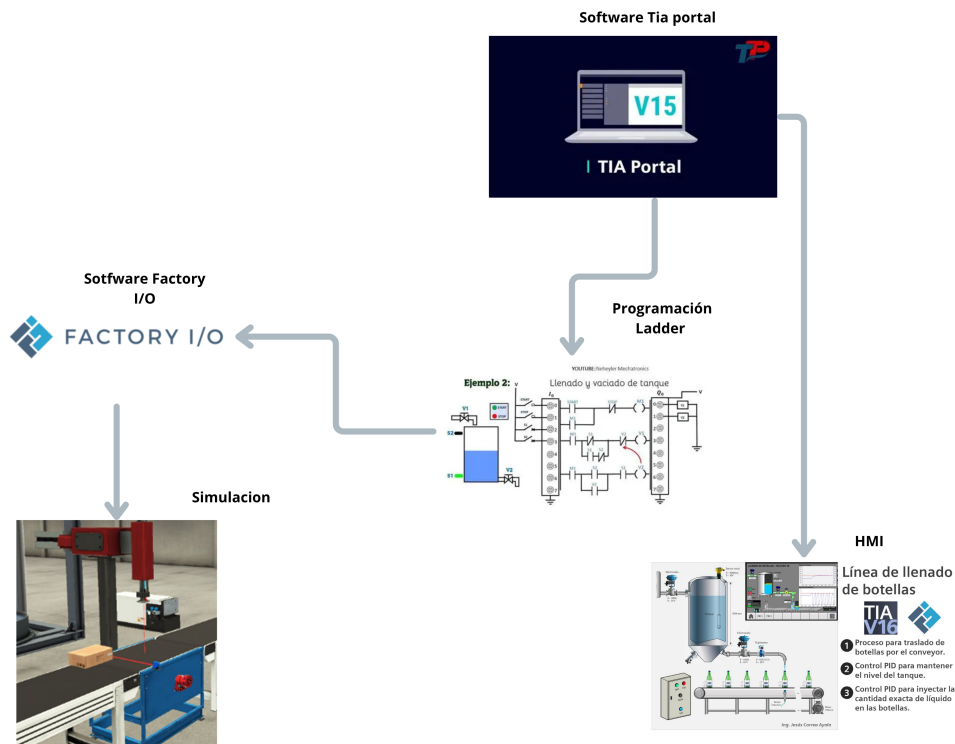


Figura 19: Diagrama de la plataforma de integración entre TIA Portal y Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. Diseño de sistema de control

El proceso de embotellamiento será controlado mediante un autómatas programable Siemens S7-1500, el cual permite utilizar una amplia variedad de instrucciones de programación. Gracias a su capacidad de procesamiento, este PLC puede controlar numerosos dispositivos de acuerdo con la programación implementada. Además, este modelo permite cubrir gran parte de las necesidades de automatización presentes en los procesos industriales.

Este controlador se utilizará de manera virtual mediante el software TIA Portal, entorno en el cual se programarán todas las acciones de la planta, desde el inicio hasta la finalización del proceso de embotellamiento. La programación incluirá el control de encendido, apagado, paro de emergencia, conteo de botellas, clasificación y transporte. En la figura 20 se puede observar el PLC con sus respectivas entradas y salidas digitales. El controlador seleccionado para este proyecto es la CPU 1516-3 PN/DP.

Además, se implementará una interfaz HMI para visualizar y supervisar de manera más cómoda el proceso de llenado de las botellas. Debido a que este controlador lógico programable no dispone de entradas y salidas integradas, se incorporarán módulos de expansión desde el mismo entorno de programación. Se utilizarán cuatro módulos de entradas analógicas, necesarios para las diferentes acciones contempladas en el proyecto, y un módulo adicional de entradas digitales. Los módulos seleccionados son el AI 8xU/I/RTD/TC ST para las entradas analógicas y el DI 16x24VDC BA para las entradas digitales.

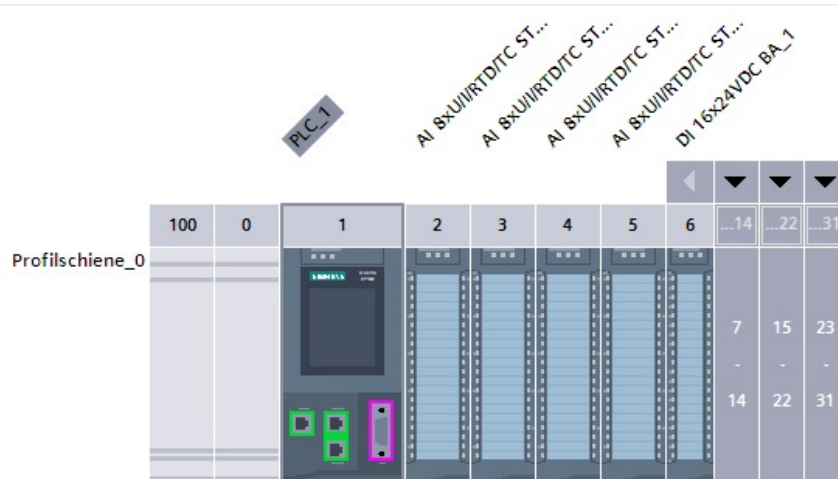
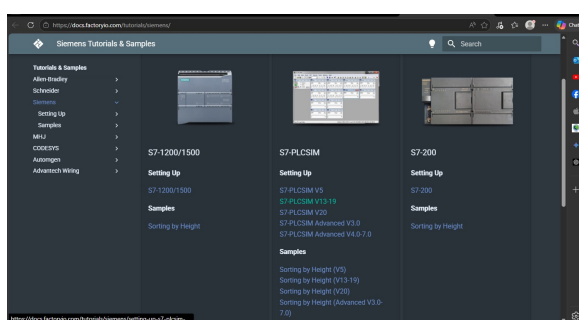


Figura 20: Configuración del PLC S7-1500 y módulos de control en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

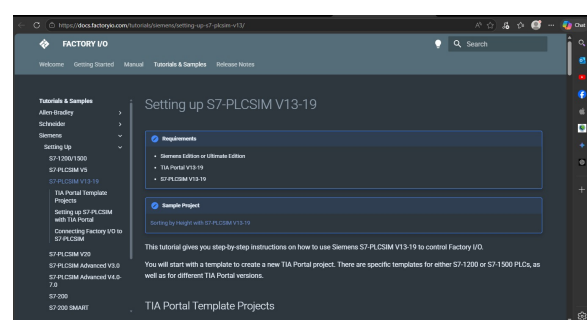
2.2.4. Diseño de sistema de comunicación

El diseño del sistema de comunicación para la planta simulada se basa en la integración de tres plataformas principales: TIA Portal, Factory I/O y una interfaz HMI virtual, todos interconectados mediante un entorno de simulación en tiempo real. La comunicación en estos elementos ayuda a una representación funcional y visual del proceso automatizado, lo que facilita el desarrollo y la validación.

Para conectarse, primero se debe descargar un archivo compatible con TIA Portal V16 que se muestra en la figura 21. Este archivo puede encontrarse en la página oficial, donde hay varias opciones dependiendo de la versión que utilice. Se seleccionará la opción S7-PLCSIM V13-19 ya que es compatible con TIA Portal V16. Luego se descargará el archivo comprimido ZIP llamado Factory I/O Template S7-1500 V16, ya que es el más adecuado.



(a) Parte 1



(b) Parte 2

Figura 21: Sistema de comunicación [52].

2.2.4.1 Plataforma de control – TIA Portal

TIA Portal constituye el entorno principal en el que se desarrolla la lógica de control del sistema mediante el lenguaje LADDER (KOP), utilizado como lenguaje de programación

principal. Por otra parte, el archivo destinado a establecer la comunicación es proporcionado por la página oficial de Factory I/O y contiene código desarrollado en lenguaje SCL. En este entorno se programan las operaciones secuenciales correspondientes al llenado y conteo de botellas, como se muestra en la figura 22. Los bloques lógicos implementados en TIA Portal actúan sobre variables internas que simulan las señales de entrada y salida, tanto digitales como analógicas.

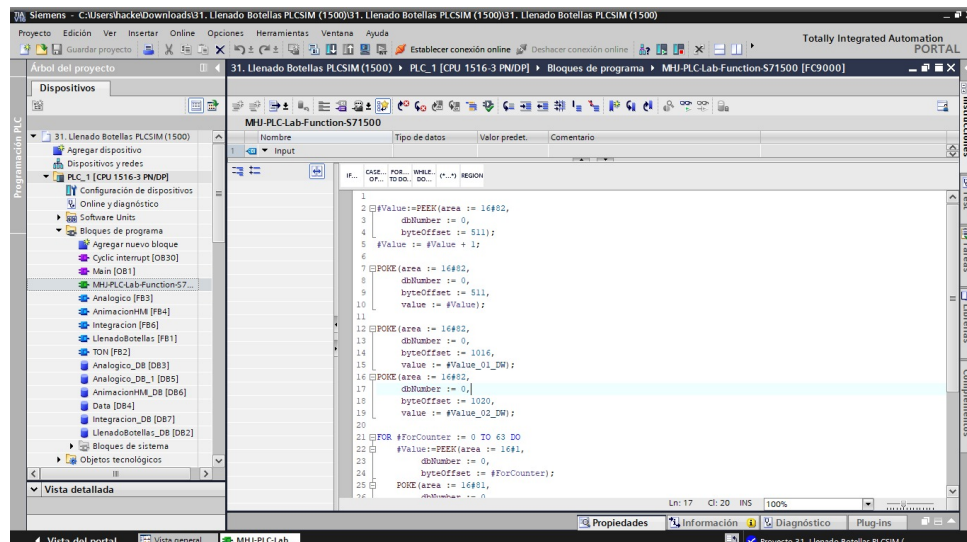


Figura 22: Bloque de programa para la comunicación en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.2 Simulación física – Factory I/O

Se representa el entorno físico de la planta de forma tridimensional que se muestra en la figura 23, simulando los dispositivos reales: sensores, bandas, actuadores y brazos. Este software se conecta mediante una interfaz de comunicación Siemens S7-PLCSIM, lo que permite que la lógica desarrollada en TIA Portal controle en tiempo real los objetos y acciones dentro del entorno de Factory I/O.



Figura 23: Diseño de la planta de embotellamiento en el entorno de simulación Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.

TIA Portal envía señales de control hacia Factory I/O para accionar elementos del entorno virtual, como iniciar una cinta transportadora o activar un cilindro de llenado mediante PID, mientras que Factory I/O genera retroalimentación que se interpreta como señales de entrada, como por ejemplo la detección de una botella en posición.

2.2.4.3 Interfaz hombre-máquina

Dentro del entorno de TIA Portal también se diseña un panel HMI simulado, el cual permite visualizar el proceso mediante dos diagramas uno del llenado del tanque y otro del llenado de las botellas, así como controlar manualmente el arranque *start*, la parada *stop*, el llenado del tanque y la pausa temporal de la planta, tal como se muestra en la figura 24.

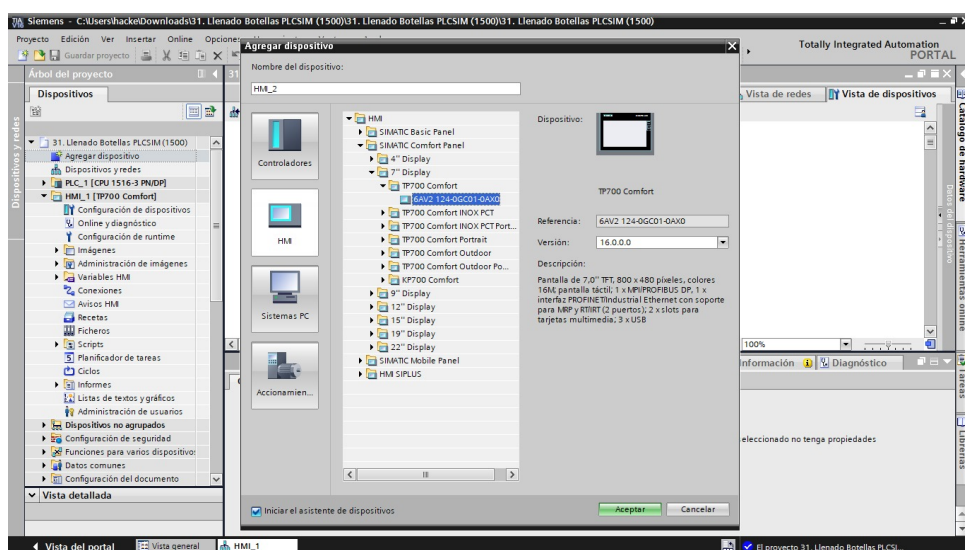


Figura 24: Selección y configuración del panel HMI TP700 Comfort en el catálogo de TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.4 Estructura de comunicación

El sistema utiliza arquitectura de comunicación virtual cliente-servidor: TIA Portal (mediante PLCSIM) actúa como nodo maestro o controlador central; Factory I/O se comporta como esclavo físico virtual, respondiendo a los comandos del PLC; y el HMI se integra como cliente adicional que monitorea e interactúa con las variables del PLC, como se muestra en la figura 25. Todos los elementos se comunican en tiempo real dentro del mismo sistema anfitrión (la computadora local), por medio de direcciones internas o interfaces virtuales loopback IP: 192.168.0.1, lo que evita la necesidad de hardware externo.

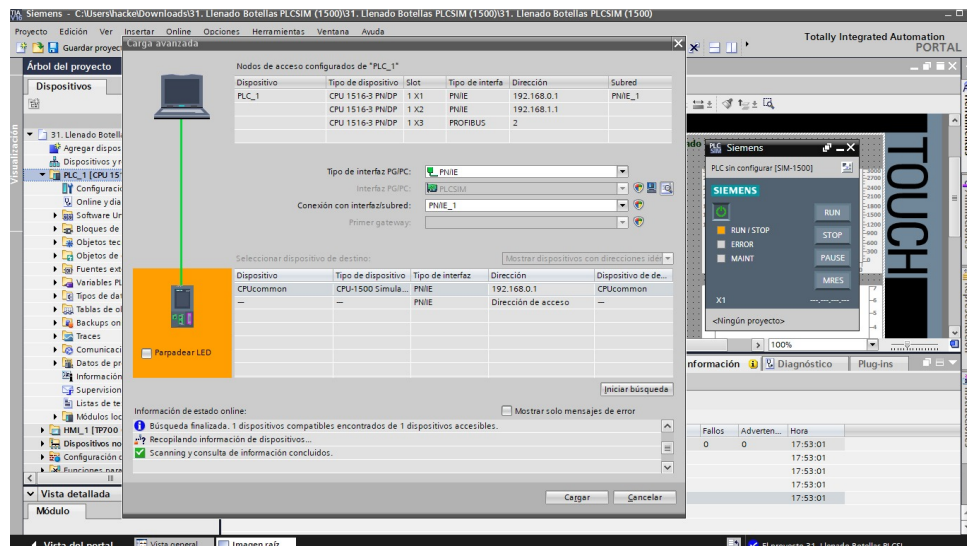


Figura 25: Configuración de la red de comunicación mediante PLCSIM en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

2.2.5. Diseño de su interfaz

El diseño de la interfaz hombre-máquina, que se muestra en la figura 26, constituye un elemento fundamental dentro del sistema de automatización, ya que permite al operario interactuar de forma intuitiva con el proceso de llenado de botellas. La interfaz fue desarrollada en el entorno de diseño de TIA Portal, integrándose directamente con el PLC.

Esta interfaz está diseñada para proporcionar una visualización clara del estado del sistema y permitir la operación manual o semiautomática del proceso. Este diseño tiene la funcionalidad, el carácter didáctico y se adapta tanto a fines de simulación como a la implementación real.

Características de la interfaz: La pantalla principal de la interfaz hombre-máquina muestra gráficamente el flujo del proceso. Incluye indicadores de llenado en curso, de botellas llenas y de transporte.

Representación simbólica: Aunque el llenado físico se muestra en Factory I/O, la interfaz HMI utiliza animaciones y elementos visuales, como barras de progreso, para representar el proceso y ofrecer una visión clara del avance en tiempo real.

Control manual: Desde el programa Factory I/O el operario puede iniciar o pausar el

proceso, ver el conteo de botellas y reiniciar reset o detener stop el sistema, lo que ayuda a recuperar el proceso tras una falla.

Indicadores de estado y alarmas: Se integran señales visuales (luces) que permiten detectar fácilmente cuando el sistema está en proceso de trabajo, si el sistema tiene o no agua, si el sistema está apagado y el conteo de las mismas botellas.

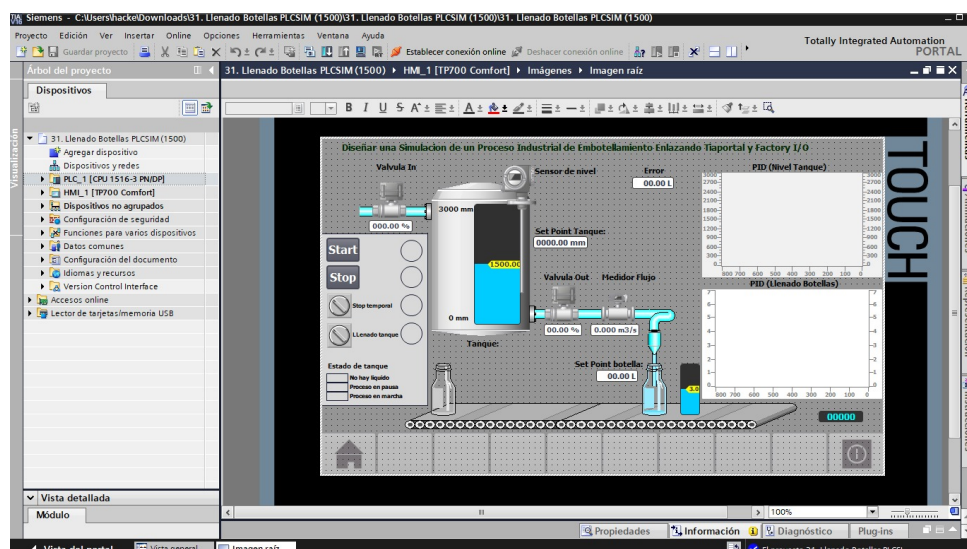


Figura 26: Diseño de la interfaz HMI para la supervisión y control del proceso. Fuente: Elaboración propia.

2.3. Desarrollo experimental

En el presente apartado se describe el despliegue virtual de un sistema automatizado de embotellado, contemplando las etapas de transporte, dosificación volumétrica y registro. También se aborda la propuesta de la lógica de control, la interconexión de datos entre plataformas y la monitorización gráfica del proceso a través de una interfaz dedicada. Para ello, se han definido y estructurado lo siguiente:

2.3.1. Componentes físicos de simulación

2.3.1.1 Control local

En este apartado se ubica la estación de control local, la cual integra los dispositivos de entrada y señalización para la interacción del operador. Dispone de pulsadores de inicio y detención, un selector de modo, un botón de parada de emergencia y un conjunto de luces piloto (verde, roja y amarilla) para el monitoreo de estados de funcionamiento y alertas. Adicionalmente, cuenta con una pantalla de visualización digital (*LCD*) que indica la cantidad de unidades procesadas, garantizando una operación segura y un control directo sobre la planta.

2.3.1.2 Banda transportadora

En los entornos de automatización industrial se emplean principalmente dos tipos de cintas transportadoras: las bandas de superficie lisa, destinadas al desplazamiento continuo

de cargas ligeras, y las bandas de rodillos, diseñadas para el transporte de objetos de mayor volumen y masa. Para el desarrollo del presente proyecto de simulación se seleccionaron las bandas de tipo liso, las cuales se encargan de trasladar las botellas y los empaques a lo largo de las diferentes estaciones del proceso [43].

En el Cuadro 1 se presentan las especificaciones técnicas de la banda transportadora ligera empleada en el modelado [43], mientras que en el Cuadro 2 se detallan las características correspondientes a las bandas de carga pesada como referencia industrial [43].

Símbolo	Significado
Marca	DLTE
Lugar de origen	Shandong, China
Dimensión	100 mm $\times$ 90 mm $\times$ 80 mm
Alimentación	220/380 V CA
Material de la banda	PVC, PU, caucho
Capacidad	30 a 100 kg

Cuadro 1: Características técnicas de la banda ligera [43]

Símbolo	Significado
Marca	HUIQIAN
Material	Acero al carbono
Lugar de origen	Jiangsu, China
Dimensión	60 mm $\times$ 500 mm $\times$ 3000 mm
Alimentación	220/380 V CA
Capacidad	1000 kg

Cuadro 2: Características técnicas de la banda pesada [43]

2.3.1.3 Almacenamiento de agua

Este recipiente se utilizará para almacenar el agua que posteriormente será empleada en el llenado de las botellas, como parte de la simulación del proceso de embotellamiento para consumo. Los parámetros se ven en el Cuadro 3. El agua será bombeada hacia las botellas mediante un sistema de control PID.

Ítem	Significado
Altura	3m
Diámetro	2m
Caudal máx. de entrada	0,25 m ³ /s
Caudal máx. de salida	0,3543 m ³ /s

Cuadro 3: Tanque [43]

2.3.1.4 Sensor fotoeléctrico difuso

Este dispositivo óptico cumple la función de sensor de posición (detección de inicio y fin de carrera), permitiendo determinar la ubicación exacta de los envases a lo largo de los diferentes tramos de la línea de transporte. Esta retroalimentación enviada al controlador lógico programable resulta fundamental para sincronizar la detención del contenedor a la distancia requerida frente al cabezal de llenado, garantizando la dosificación exacta del flujo de agua antes de reanudar el transporte hacia las siguientes secciones de la planta. En el Cuadro 4 se detallan sus características técnicas.

Símbolo	Significado
Marca	Tekemecanique sensors
Ítem	48L842
Forma	Sensor fotoeléctrico rectangular
Alimentación	24 a 240v CA/CC
Máx detección	10m
Altura	70mm
Ancho	18mm
Profundidad	45mm
Máx corriente de carga	3A
Tiempo de respuesta	25s
Temperatura de funcionamiento	-25°, -55°

Cuadro 4: Sensor fotoeléctrico [43]

2.3.1.5 Pick y Place de dos ejes

Este componente se encargará del llenado de cada botella. Este mismo brazo también puede usarse para mover las botellas, succionándolas y adhiriéndolas para su transporte, cuyas características se detallan en el Cuadro 5.

Ítem	Significado
Carrera del eje X	1.125 m
Carrera del eje Z	0,625 m
Velocidad del brazo y del recogedor	2 m/s
Rotación del eje Z en incrementos de 90°	brazo y pinza

Cuadro 5: Brazo [43]

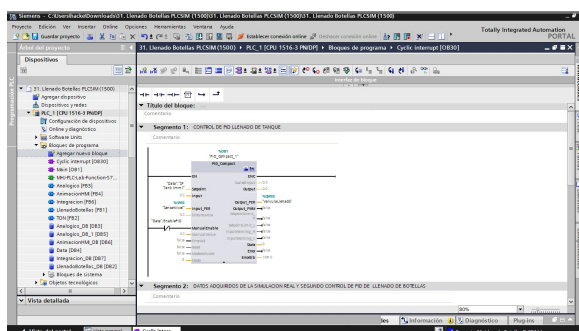
2.3.2. Componentes lógicos de simulación

Al utilizar el programa TIA Portal, se crea una estructura de proyecto organizada que incluye una carpeta con el nombre del proyecto, lo cual facilita el desarrollo del sistema automatizado. Dentro de esta carpeta se encuentran todos los elementos necesarios para la programación, incluyendo dispositivos, redes, y especialmente los bloques de programación.

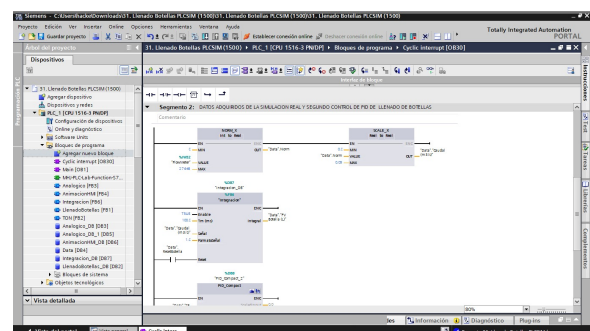
El programa también incluye los PLCs asignados, las configuraciones de hardware, y los distintos bloques del programa. Para la programación en lenguaje LADDER o conocido como escalera, se accede a “Bloques del programa”, donde se pueden editar funciones (FC), bloques de organización (OB), y bloques de datos (DB), esenciales para controlar procesos como el embotellamiento en una planta industrial. Estos bloques permiten estructurar de forma modular el control de las diferentes etapas del sistema, como el transporte de botellas, llenado. La interfaz de TIA Portal proporciona una visualización clara y herramientas intuitivas que facilitan el diseño, simulación y monitoreo de la automatización industrial.

Se crearon variables digitales que comparten el direccionamiento con el panel de control de Factory I/O, de modo que al pulsar un botón físico o virtual se active la acción correspondiente.

El pulsador *Stop* permite detener todo el sistema de forma inmediata para resguardar la seguridad del operador. Mientras que el pulsador *Start* inicia la secuencia de la planta, activando todos los subprocesos. La estructura del programa en lenguaje LADDER se organiza en dos bloques principales: el primero gestiona los dos controladores PID (el de nivel de tanque según el *set point* y el de caudal a las botellas según el volumen configurado en el HMI); el segundo bloque coordina la lógica secuencial global y el mapeo de todas las entradas y salidas digitales y analógicas figura 27.



(a) Parte 1



(b) Parte 2

Figura 27: Estructura de codificación en lenguaje LADDER para el control de los PIDs. Fuente: Elaboración propia.

Tenemos el bloque que se muestra en la figura 28, la función llamada analógico, animación, integración, llenado de botellas y TON. Cada una hace un aporte: como el nombre lo dice, en el analógico recibe las señales captadas; en la animación, solo es la representación del flujo y movimiento de la botella en sí. En la integración se calcula una señal que obtenemos del flujo al tanque de agua en desagüe. Esto se hace para tener un dato milimétricamente exacto, ya que sería el caudal medido en m^3/min .

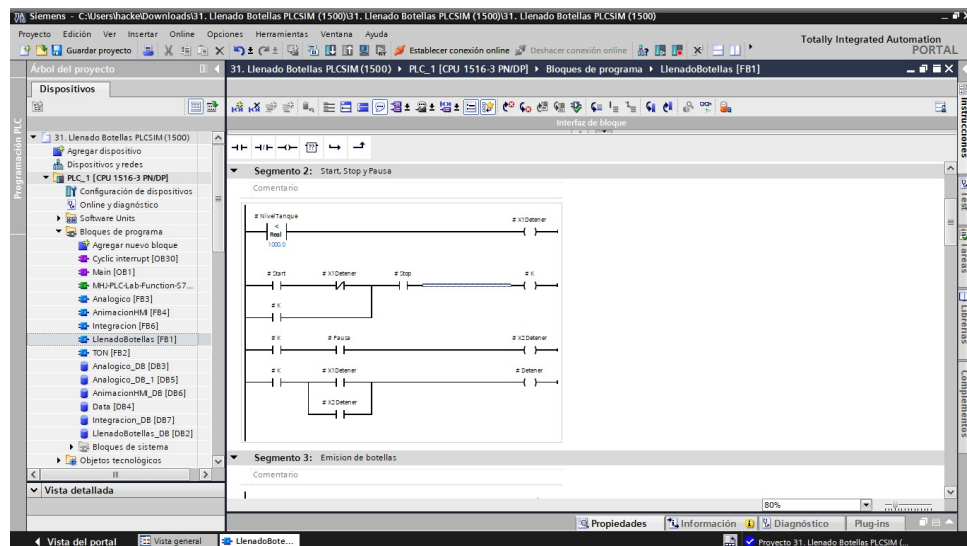


Figura 28: Bloque de programación en lenguaje LADDER para el control del llenado de botellas. Fuente: Elaboración propia.

Luego tenemos todos los datos utilizados en los bloques de función, guardados en este apartado que se muestra en la figura 29. Esta función se llama bloque de datos, no tiene mucha ciencia ni complejidad; es una variable o varias variables de estados que constantemente van siendo modificados con el avance del tiempo.

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible...	Escrb...	Visible en...	Valor de a...	Comentario
1 Start	Bool	false						
2 Stop	Bool	false						
3 Pausa	Bool	false						
4 DetectorBotella	Bool	false						
5 ContadorBotella	Bool	false						
6 DetectorPieza	Bool	false						
7 SensorIrrivel	Int	0						
8 PV Botella	Real	0.0						
9 error	Real	0.0						
10 Emitter	Bool	false						
11 Conveyer1	Bool	false						
12 Conveyer2	Bool	false						
13 Conveyer3	Bool	false						
14 Conveyer4	Bool	false						
15 Conveyer5	Bool	false						
16 RolletFrap	Bool	false						
17 BrazoRoboticoZ	Bool	false						
18 BrazoSuccionZ	Bool	false						
19 Led llenado	Bool	false						
20 Led Verde	Bool	false						
21 Led Amarillo	Bool	false						
22 Led Rojo	Bool	false						
23 DisplayCont	Int	0						

Figura 29: Bloque de datos (DB) con las variables almacenadas de los procesos en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Implementación de la planta simulada

La configuración del sistema, que se visualiza en la figura 30, es fundamental para lograr la correcta interacción entre el controlador programado en TIA Portal y el entorno de simulación en Factory I/O. Para ello, se empleó la herramienta PLCSIM, que permite simular el comportamiento del PLC de manera virtual, sin necesidad de hardware físico. Dentro de Factory I/O, se seleccionó la comunicación "Siemens S7-PLCSIM", la cual es compatible con la CPU S7-1500 configurada en el proyecto de TIA Portal. Este permite realizar una conexión directa utilizando la dirección IP local 192.168.0.1, que actúa como canal de comunicación entre ambos programas en el mismo equipo. Una vez establecido el enlace, se procedió a mapear cada una de las entradas y salidas del sistema.

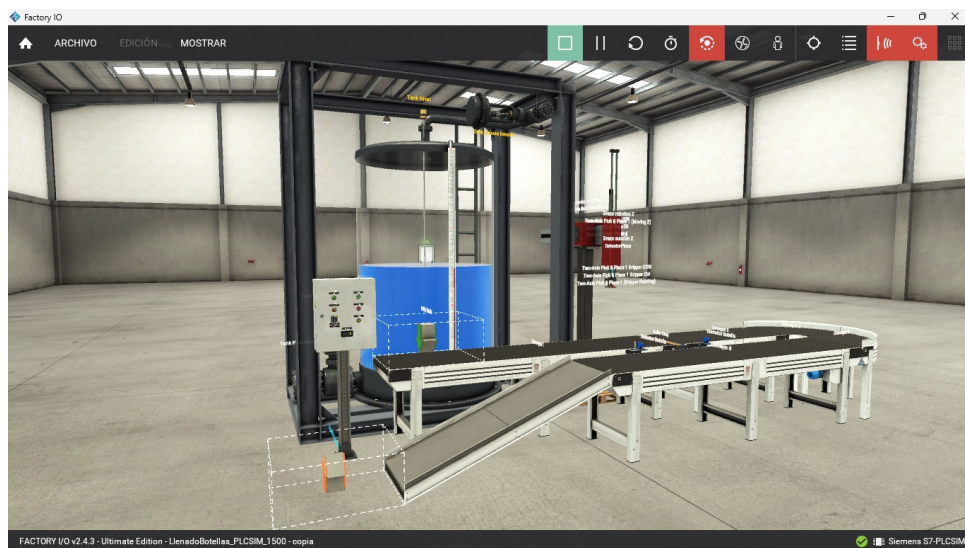


Figura 30: Planta diseñada en el entorno de simulación virtual Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.

La comunicación se probó en tiempo real, observando cómo los eventos generados en Factory I/O eran correctamente interpretados por el programa del PLC y cómo las decisiones lógicas programadas actuaban sobre el entorno simulado. Esta configuración de comunicación no solo permitió validar el programa de control, sino también integrar de manera coherente la interfaz HMI, la lógica de control y la planta simulada en un sistema funcional.

2.3.3.1 Cinta transportadora

Ubicación: Horizontal, en la parte inferior de la imagen. Función: Transporta cajas o botellas a través del sistema. Configuración: Va de izquierda a derecha. Está montada sobre una estructura metálica.

2.3.3.2 Caja o Botella

Ubicación: Encima de la cinta transportadora, al centro. Función: Representa el objeto a manipular, llenar, inspeccionar, etc.

2.3.3.3 Sensor fotoeléctrico

Ubicación: Justo encima de la cinta transportadora, apuntando hacia la caja. Tipo: Sensor láser o sensor de distancia/posición. Función: Detecta la presencia o posición de la caja. Proyecta un rayo rojo visible.

2.3.3.4 Actuador

Ubicación: Encima del sensor, montado sobre una guía vertical y otra horizontal. Función: Baja para interactuar con la caja (para el embotellamiento). Montaje: Fijado sobre un eje o estructura que permite su desplazamiento vertical.

2.3.4. Implementación del sistema de control simulado

En este segmento se utilizó el bloque PID Compact, correspondiente al regulador PID universal con optimización integrada que ofrece TIA Portal, como se muestra en la figura 31. Este bloque permite realizar la sintonización del controlador para obtener un control básico o robusto del proceso de llenado y vaciado del tanque. Posteriormente, se asignaron las variables de entrada y salida correspondientes al proceso que se desea controlar. Como variable de entrada se empleó el sensor de nivel, encargado de medir continuamente la cantidad de agua presente en el tanque. Como variable de salida se utilizó la válvula de llenado, cuya apertura será regulada por el controlador PID.

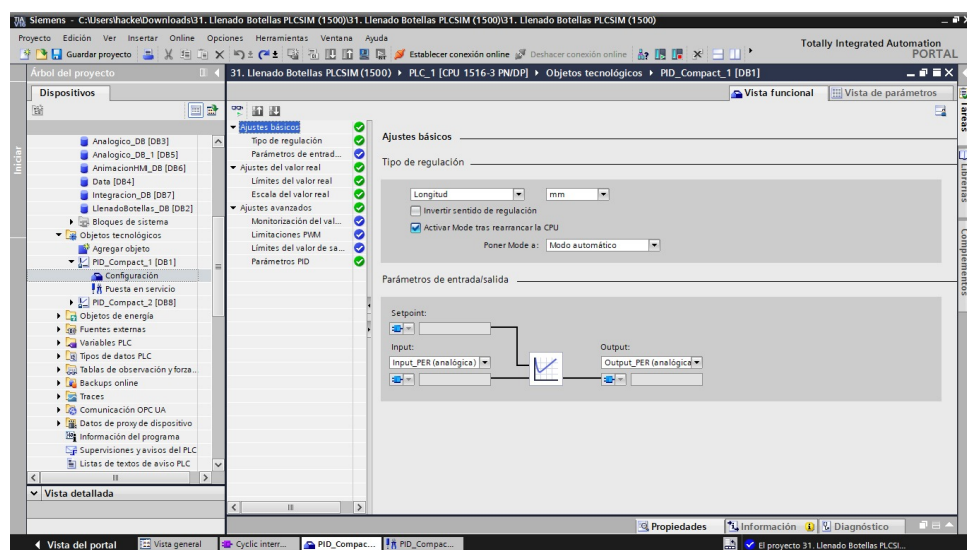


Figura 31: Ajustes básicos de configuración para el primer controlador PID en TIA Portal.
Fuente: Elaboración propia.

Luego se realizan pruebas utilizando los valores resultantes para ajustar y sintonizar adecuadamente el controlador. Para ello, el software cuenta con una herramienta especial que permite realizar automáticamente el proceso de ajuste evaluando la respuesta del sistema hasta lograr un comportamiento estable y optimizado. Los resultados obtenidos durante este procedimiento se pueden ver y analizar utilizando la interfaz que se muestra en la figura 32.

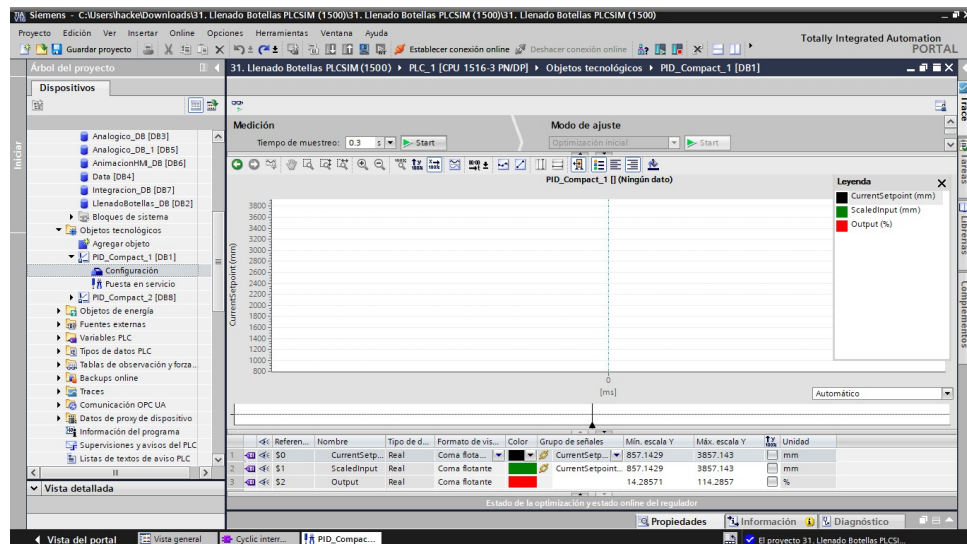


Figura 32: Interfaz de sintonización para el primer controlador PID en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se haya estabilizado, se pueden obtener las variables o parámetros que se visualizan en la figura 33 y así colocarlas manualmente en la configuración del PID para que haya control, dicho esto aquí también se le integra un dato que habilita el bloque.

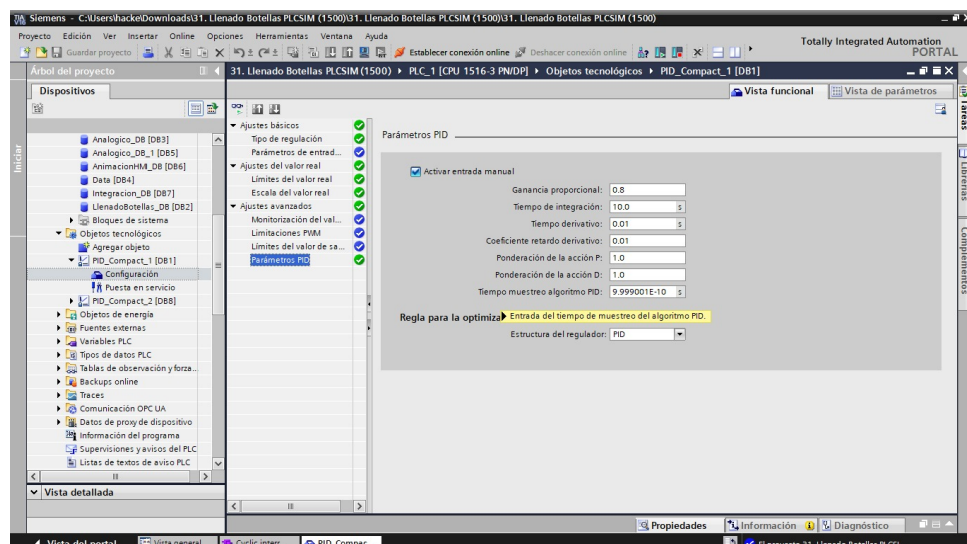


Figura 33: Parámetros configurados para el primer controlador PID en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

2.3.5. Implementación del sistema de comunicación simulada

Para lograr la correcta comunicación entre el entorno de control programado en TIA Portal y la planta simulada en Factory I/O que se muestra en la figura 34, se utilizó el simulador PLCSIM, el cual permite ejecutar virtualmente el programa en un CPU S7-1500, simulando tanto entradas como salidas sin requerir hardware físico. La conexión entre ambos entornos se realizó mediante la asignación de una dirección IP local, utilizando el valor 192.168.0.1, que permite establecer la comunicación dentro del mismo equipo. En Factory I/O se seleccionó el driver “Siemens S7-1500” *ISO on TCP*, lo cual garantiza la compatibilidad con la CPU virtual.

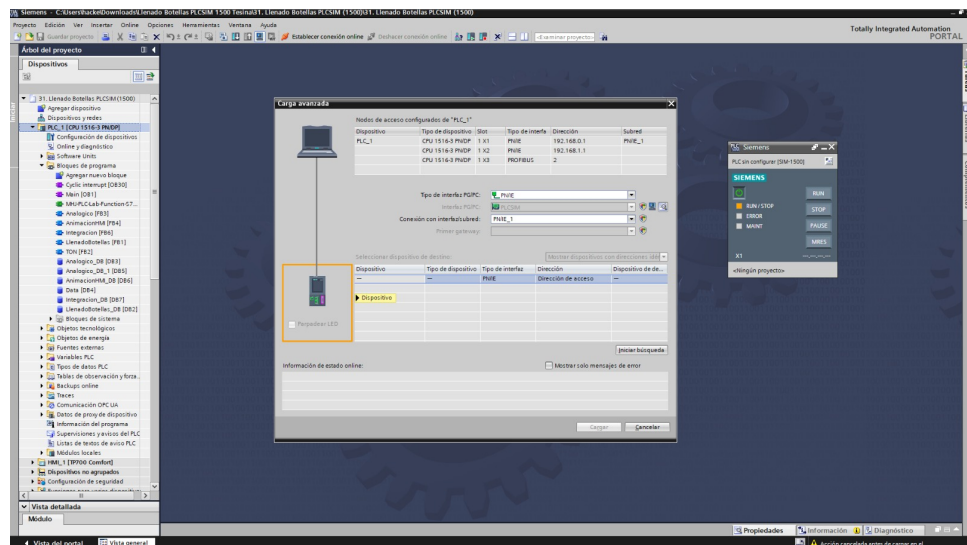


Figura 34: Búsqueda y selección del controlador virtual PLCSIM para establecer la conexión en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

Una vez creada la programación, se procede a simular en el apartado de PLCSIM que el propio TIA Portal ofrece. Se compila el código del PLC y también el diseño del HMI para subirlos al PLC virtual. Al buscar el dispositivo, aparecerá uno generado por el mismo programa, en el que se procede a cargar la programación, tal como se muestra en la figura 35, con lo cual el sistema quedará programado.

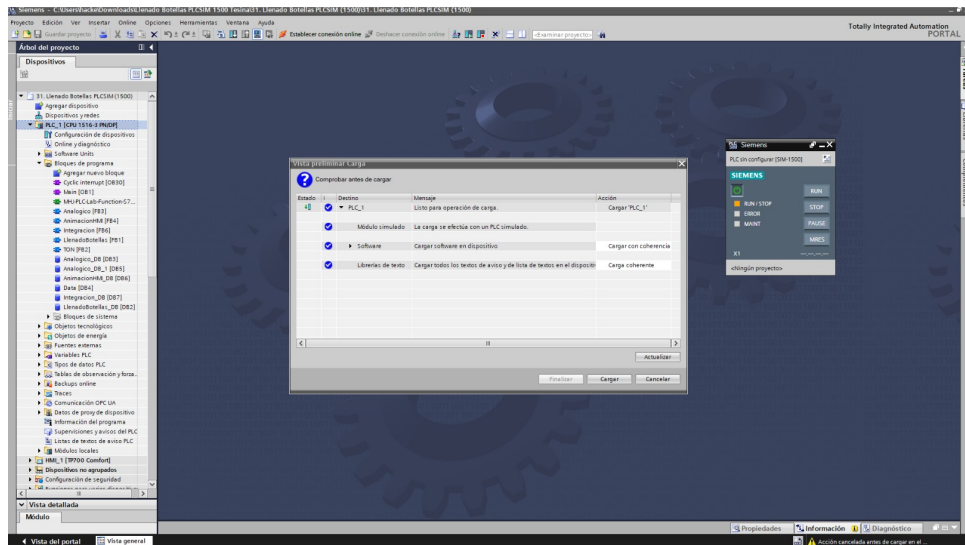


Figura 35: Carga del programa de control en el simulador PLCSIM. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 36 se muestran las entradas y salidas utilizadas en el PLCSIM. También se simula el HMI del mismo programa, este solo nos representará visualmente los movimientos de proceso ya que antes de ello, se subió la programación luego, en el programa Factory I/O, anticipadamente se debió haber configurado el PLCSIM S7-1500 para que proceda a conectarse.

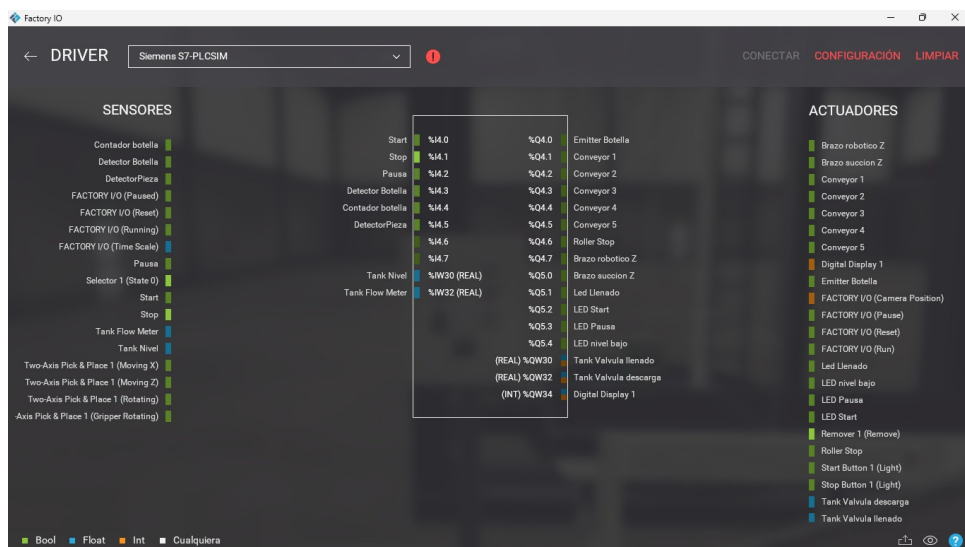


Figura 36: Asignación de variables de comunicación en el entorno de simulación Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que PLCSIM se encuentre en modo Run, se establecerá automáticamente la comunicación con el entorno de simulación, permitiendo visualizar el funcionamiento del proceso de embotellado en tiempo real. El sistema contará con un tablero de control desde el cual se podrá iniciar y detener el proceso industrial, además de monitorear información relevante, como la cantidad de botellas llenadas.

Para un seguimiento más detallado del proceso, se dispondrá del HMI, mostrada en la figura 37, que permitirá supervisar las variables operativas y el estado de los equipos. Asimismo, la HMI ofrecerá la posibilidad de realizar operaciones de control remoto ante posibles fallas en los puestos de control local, contribuyendo a una operación más segura, eficiente y confiable del sistema.

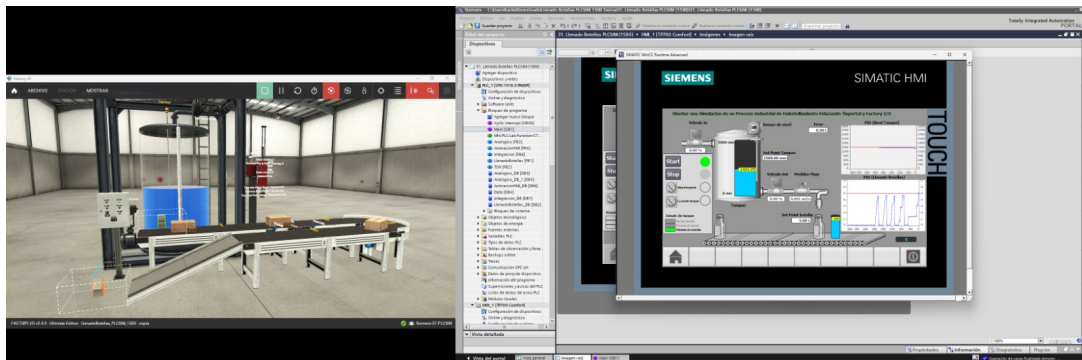


Figura 37: Operación simultánea y comunicación en tiempo real entre Factory I/O y TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

2.3.6. Configuración del sistema de control

La configuración del sistema de control, que se muestra en la figura 38, fue realizada dentro del entorno de desarrollo TIA Portal, utilizando un controlador lógico programable del modelo Siemens S7-1500 CPU 1516-3 PN/DP. El lenguaje de programación empleado fue KOP LADDER Diagram, debido a su claridad y fácil interpretación para aplicaciones de automatización industrial.

Para controlar el llenado del tanque y de cada botella, el sistema se basa en un control PID. El primer control solo requiere de un *set point*, es decir, un valor de referencia que el controlador debe alcanzar: el sensor de nivel actúa como entrada analógica *input-per* y la válvula que se va a abrir para llenar actúa como salida *output-per*. De este modo se obtiene un controlador sencillo.

En el siguiente controlador se tiene como entrada el medidor de flujo, el cual se normaliza mediante un bloque del propio programa. Este bloque requiere dos valores de entrada: un valor mínimo de 0 y un valor máximo de 27648. Al asignar el valor máximo previamente mencionado, la salida sería 1; de lo contrario, será 0. Posteriormente, se utiliza el bloque de escala para ajustar los datos normalizados provenientes del medidor de flujo de Factory I/O. Este bloque recibe dos valores, un mínimo de 0 y un máximo de 0.05, generando como salida el caudal que se utilizará en la siguiente etapa.

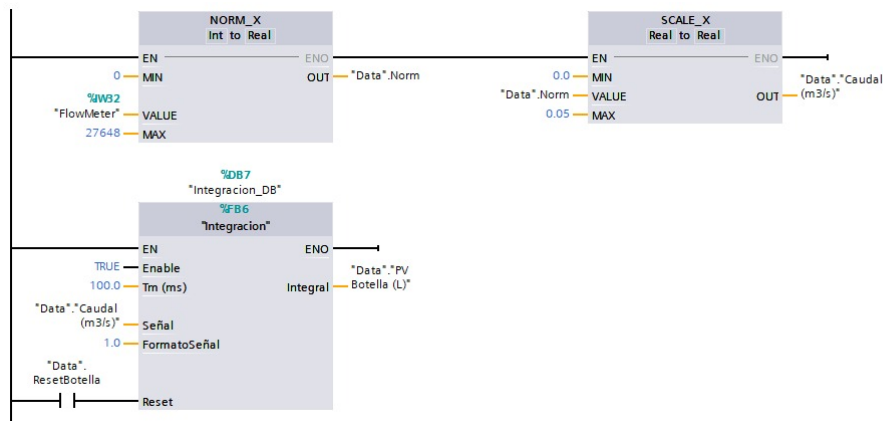


Figura 38: Bloques de normalización y escalado para el segundo controlador PID en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se explicará brevemente cómo se realiza la conversión mediante ecuaciones de integración de caudal. Se necesita medir la cantidad de agua en m^3 que se consume en un proceso; el agua ingresa al tanque por una tubería en la que se ha instalado un flujómetro que mide en m^3/h , medición que recibe el controlador lógico programable.

Variables utilizadas:

V = Volumen

Q = Caudal

A = Área

$$V(m^3) = \int Q(m^3/h) dt$$

A partir de las ecuaciones explicadas, el código convierte el flujo proveniente del bloque de escala y lo integra para obtener el volumen en litros, dando entender que la medida del flujo es m^3/s , que se visualiza en la figura 39 y Anexo 53.

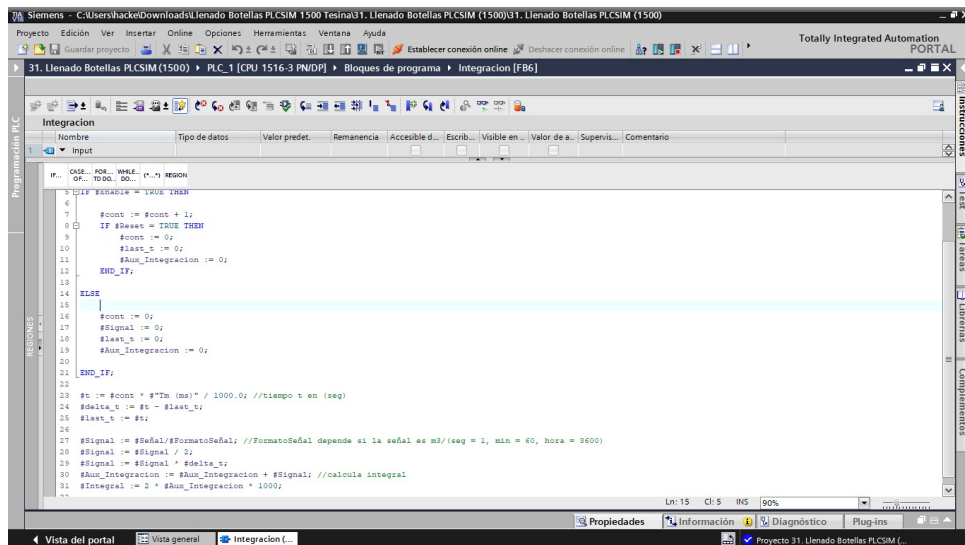


Figura 39: Código estructurado para el bloque de integración de caudal a volumen. Fuente: Elaboración propia.

2.3.7. Configuración del sistema de comunicación

Esta configuración es fundamental para lograr la correcta interacción entre el controlador programado en TIA Portal y el entorno de simulación en Factory I/O. Para ello, se empleó la herramienta PLCSIM, que permite simular el comportamiento del PLC de manera virtual, sin necesidad de hardware físico.

Dentro de la configuración de dispositivos del PLC se asignan las direcciones de red necesarias para establecer la comunicación con PLCSIM, que actúa como el controlador virtual durante las pruebas y simulaciones. Para este enlace se utiliza el protocolo *ISO on TCP* sobre una red Ethernet virtual creada dentro del computador. Es un protocolo estándar *International Organization for Standardization* (ISO) y utiliza *International Organization for Standardization Transmission Control Protocol* (TCP), permite que el PLC intercambie información con otros sistemas de forma segura y confiable. Gracias a esta configuración, se puede supervisar, controlar y transferir datos entre el entorno de simulación.

Para la comunicación entre el entorno de simulación y el controlador lógico programable virtual, se configuró una red local con direccionamiento IP dentro del mismo segmento de red. La interfaz de red de la computadora utiliza la dirección 192.168.0.0, mientras que el PLC simulado fue configurado con la dirección 192.168.0.1, ambos pertenecientes a la misma subred y utilizando la máscara 255.255.255.0. Esta configuración permite establecer una comunicación directa y confiable entre los dispositivos mediante Ethernet, facilitando el intercambio de datos necesario para la supervisión y control del proceso simulado. La configuración de red implementada se muestra en la figura 40.

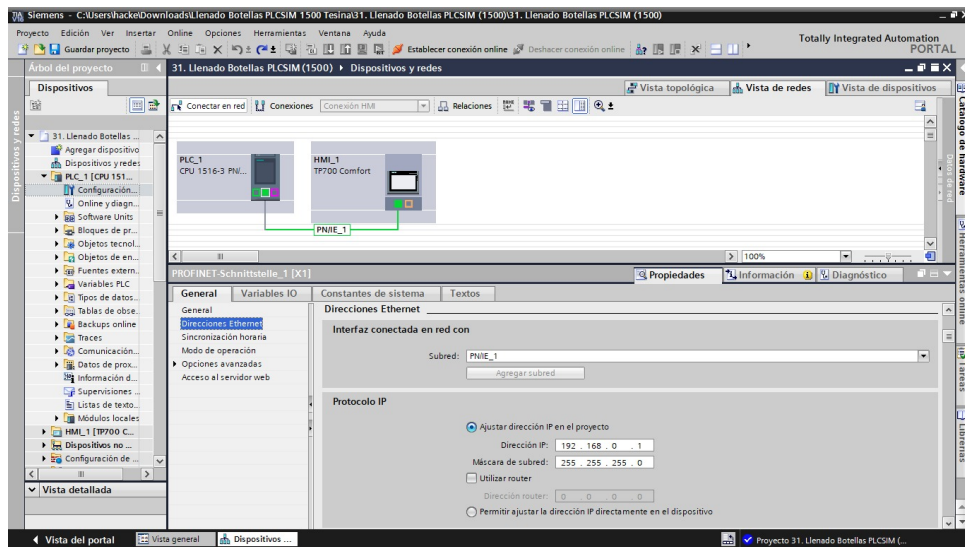


Figura 40: Configuración de la dirección IP y parámetros de red del PLC en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

Para la interfaz HMI se configuró la dirección IP 192.168.0.2, correspondiente al tercer dispositivo dentro de la red de comunicación establecida para el sistema. Esta dirección pertenece a la misma subred que el PLC simulado, utilizando la máscara de red 255.255.255.0, lo que permite la comunicación entre ambos dispositivos a través de Ethernet. La configuración de red correspondiente se muestra en la figura 41.

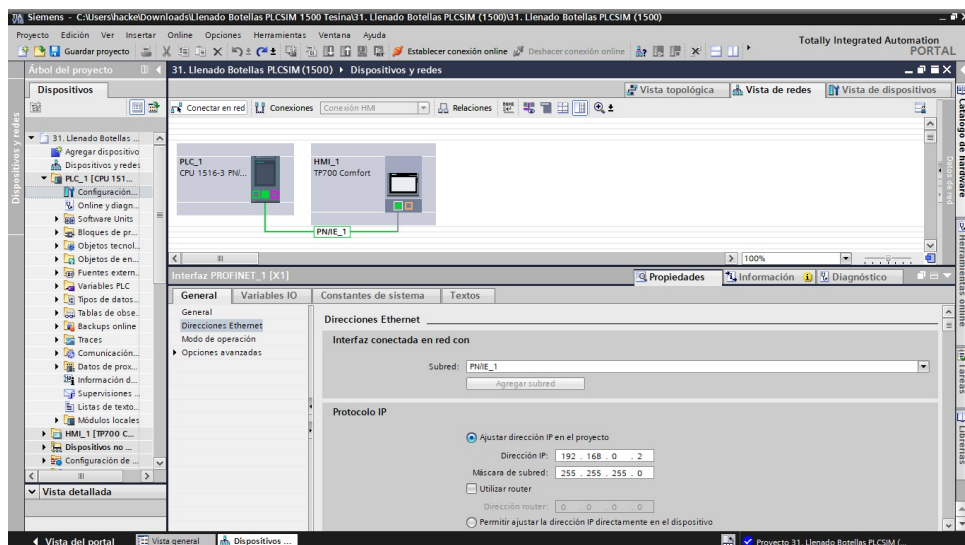


Figura 41: Configuración de la dirección IP y parámetros de red de la interfaz HMI en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de Factory I/O, se seleccionó el driver de comunicación "Siemens S7-PLCSIM" *ISO on TCP*, el cual es compatible con la CPU S7-1500 configurada en el proyecto de TIA Portal en la figura 42. Este driver permite realizar una conexión directa utilizando la dirección IP local 192.168.0.0, que actúa como canal de comunicación entre ambos programas en el mismo equipo.

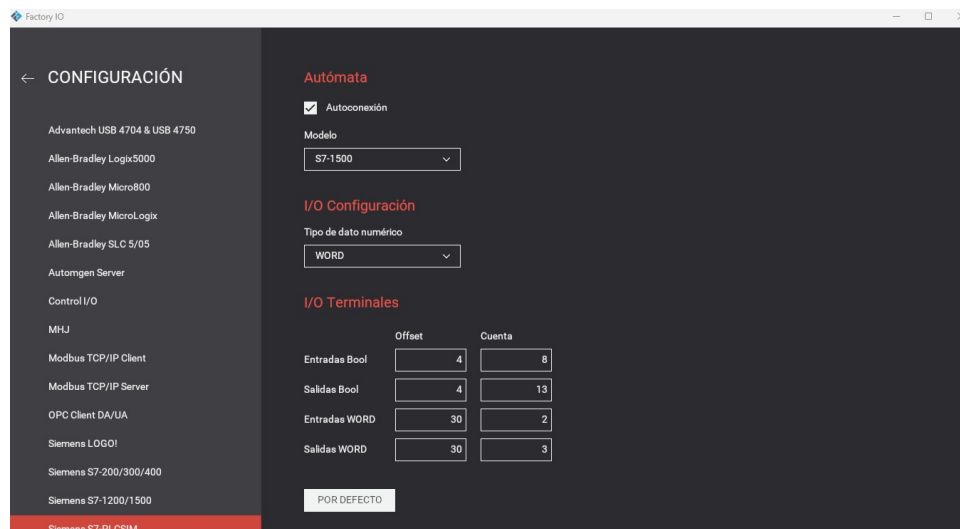


Figura 42: Configuración del driver de comunicación Siemens S7-PLCSIM en el entorno de Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados

Durante la implementación y simulación del sistema de embotellamiento automatizado, desarrollado mediante un PLC Siemens S7-1500 e integrado con el entorno Factory I/O, se evaluó el comportamiento del sistema en condiciones de operación reales, verificando la comunicación, la respuesta de los controladores PID y el correcto funcionamiento de la lógica secuencial. Los resultados permiten evidenciar el desempeño del sistema frente a los requerimientos planteados, así como su estabilidad, precisión y confiabilidad durante el proceso de embotellamiento.

3.1. Funcionamiento de la comunicación

La conexión entre el controlador lógico programable PLC S7-1500 y las E/S de fábrica se estableció correctamente utilizando el controlador de comunicación proporcionado anteriormente. Una vez conectados los dos sistemas, el programa comienza a enviar señales correctamente, como se muestra en la figura 43. Si no se establece comunicación, el sistema mostrará un indicador rojo indicando el estado de desconexión entre el PLC y el entorno de simulación.

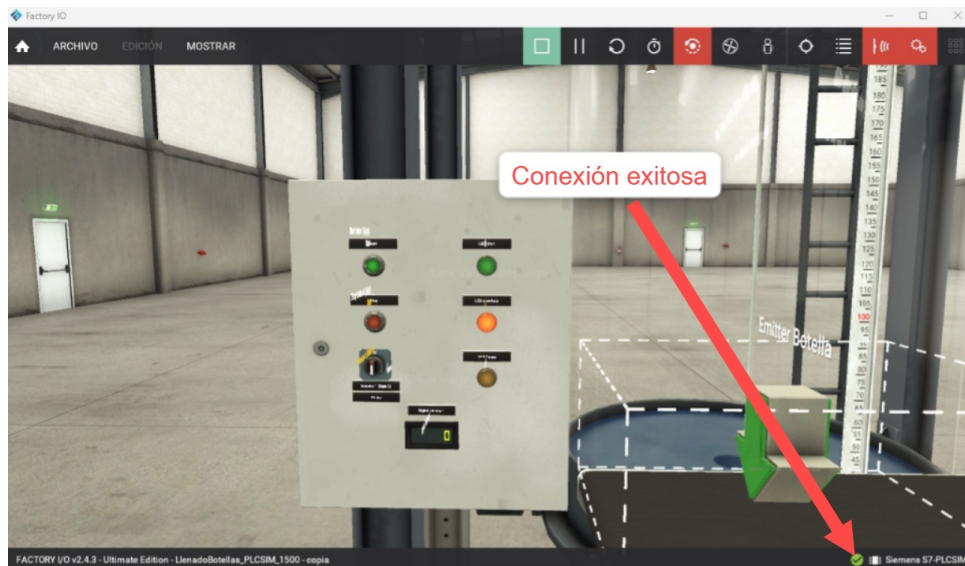


Figura 43: Indicador de comunicación exitosa entre el simulador PLCSIM y el entorno de Factory I/O. Fuente: Elaboración propia.

Para hacer la comunicación se debió haber simulado el PLCSIM para que así pueda enlazarse. Este tipo de comunicación es *ISO on TCP*, en la que la red local del portátil realiza el enlace mediante la red, tal como se muestra en la figura 44. Al tratarse de una simulación dentro del mismo portátil, no se pierde la comunicación.

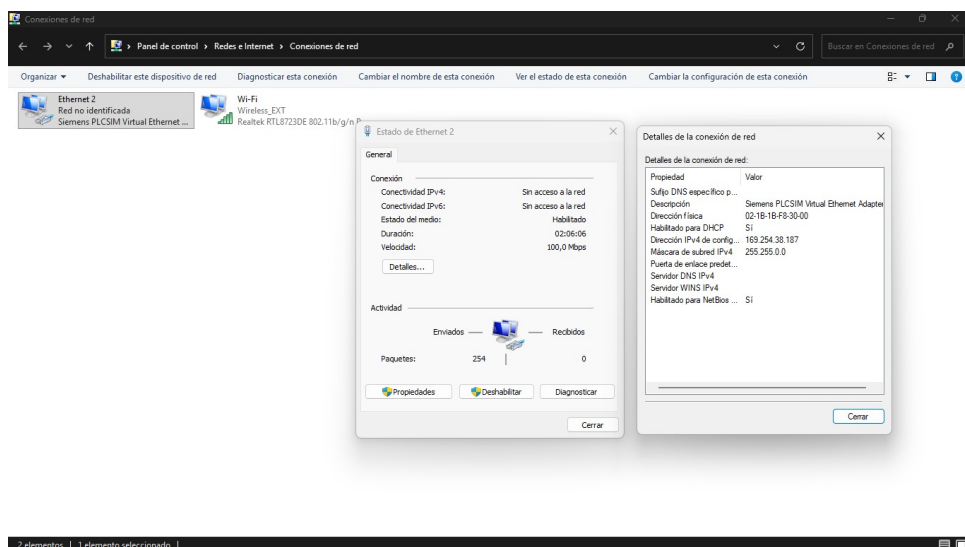


Figura 44: Estado de la red local virtual mostrando la conexión activa del adaptador Ethernet para PLCSIM. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Funcionamiento de control PID 1

Se logró controlar el nivel del tanque, manteniéndolo en el valor de referencia ingresado desde la pantalla HMI, en la que se estableció como valor por defecto 1500 mm. Este sistema de control regula de manera continua el caudal de entrada hacia el tanque, independientemente de si la salida se encuentra abierta o cerrada. Esto significa que el control del nivel se mantiene tanto durante el proceso de llenado de las botellas como cuando dicho proceso no está en operación. En la figura 45 se muestra el comportamiento del sistema al alcanzar la referencia establecida; también se muestra la comparativa del control en el Cuadro 6.

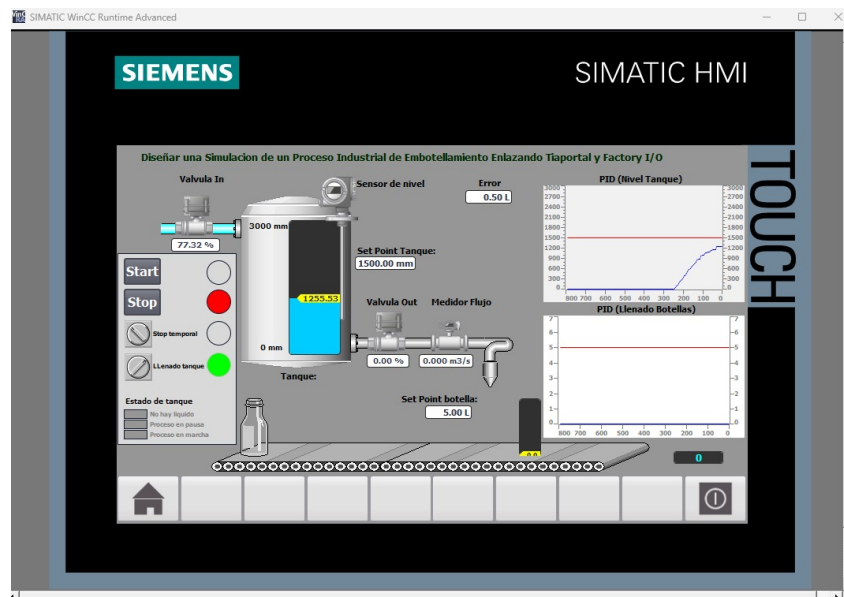


Figura 45: Curva de respuesta del sistema en la interfaz HMI durante la activación del primer controlador PID. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Sin PID	Con PID
Control de nivel	Básico y manual	Automático y regulado
Nivel deseado	Sin regulación precisa	1500mm
Nivel obtenido	variable	1495mm
Error	No controlado	0.03 %
Tiempo de estabilización	Mayor y variable	40s
Flujo de entrada	Sin ajuste automático	Regula según la señal
Resultado	Menor estabilidad en tanque	Nivel estable y correcto

Cuadro 6: Cuadro comparativo del 1er PID

Después de alcanzar el nivel de referencia del tanque, el sistema tardó aproximadamente 40 segundos cuando la válvula de escape estaba completamente cerrada. Al acercarse al valor de referencia fijado en 1500 mm, se observó una ligera fluctuación alrededor del nivel cercano a 1495 mm; sin embargo, estas fluctuaciones disminuyeron gradualmente hasta estabilizarse en el valor deseado. Por otro lado, cuando la válvula de escape está completamente abierta, el sistema tarda 70 segundos en alcanzar la referencia establecida debido al aumento del flujo de escape del tanque. Tal comportamiento del primer sistema de control se observa en la figura 46.

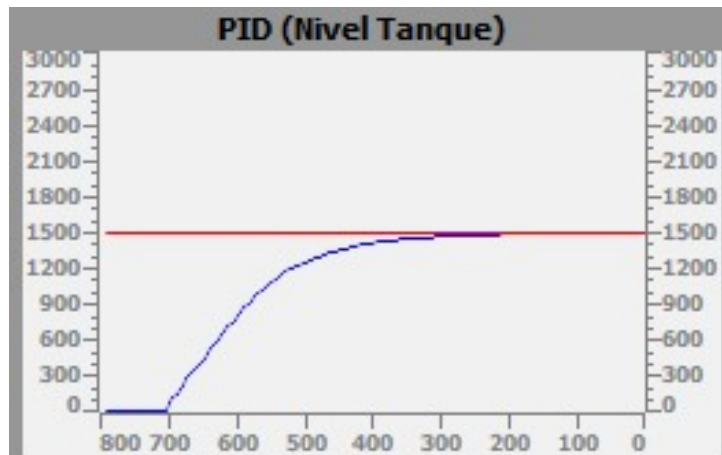


Figura 46: Gráfica de respuesta del primer controlador PID durante el proceso de llenado del tanque. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Funcionamiento de control PID 2

El proceso de embotellado se controló exitosamente mediante la implementación del control PID proporcionado por el software, una vez realizado su ajuste adecuado. Luego de estabilizar el nivel del tanque mediante el primer controlador PID, que se encarga de controlar el llenado del tanque principal, se inicia el proceso de llenado de la botella accionando el botón de inicio. Cada botella se llena con un volumen de 5 litros, valor que el operador puede configurar desde la interfaz HMI. Además, el sistema cuenta automáticamente las botellas llenas para poder visualizar esta información en tiempo real. La operación descrita se muestra en la figura 47 como también la comparación del segundo control en el Cuadro 7.

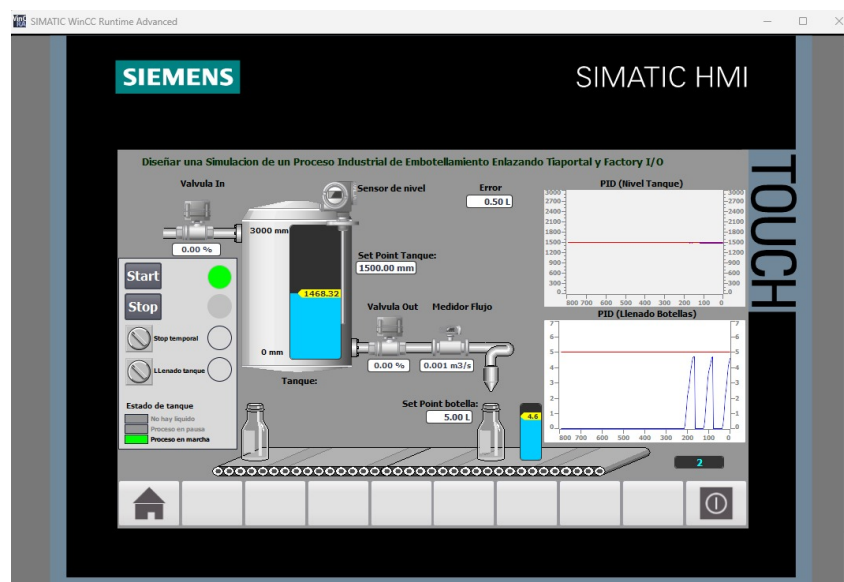


Figura 47: Curva de respuesta en la interfaz HMI durante la operación del segundo controlador PID para el llenado de botellas. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Sin PID	Con PID
Control de llenado	Básico y manual	Automático y regulado
Volumen de botella	Variable	Controlado
Volumen deseado	Sin control	5000mL
Volumen obtenido	Variable	4995mL
Error de llenado	Mayor y variable	0.05 %
Apertura de la válvula	Sin ajuste proporcional	Regula automáticamente
Resultado	Falta líquido o en exceso	Llenado uniforme

Cuadro 7: Cuadro comparativo del 2do PID

Como se muestra en la figura 48, el valor de referencia se configuró inicialmente en 6 litros para llenar cada botella. Durante pruebas posteriores, este valor se redujo a 5 litros para comprobar el correcto funcionamiento del segundo controlador PID. Se puede observar que el sistema ajusta inmediatamente el volumen de llenado, de 6 litros a 5 litros por botella, demostrando así una respuesta rápida y eficiente del controlador. El programa tiene un pequeño error de control predefinido que se puede ajustar o modificar según lo que necesite el proceso. El sistema responde casi de inmediato a los cambios de referencia, que tarda entre 4 y 5 segundos en estabilizarse. Si el valor de referencia cambia de nuevo durante el llenado, por ejemplo, de 5 litros a 6 litros, el sistema actualiza automáticamente el nuevo valor del *set point* y continúa llenando según la configuración establecida por el operador.

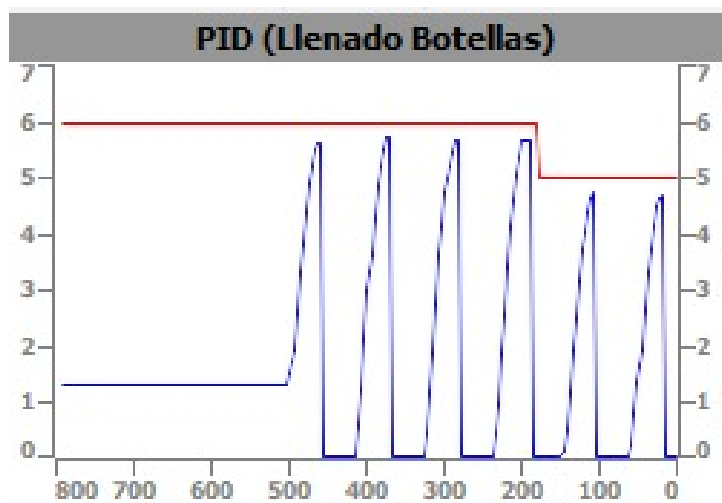


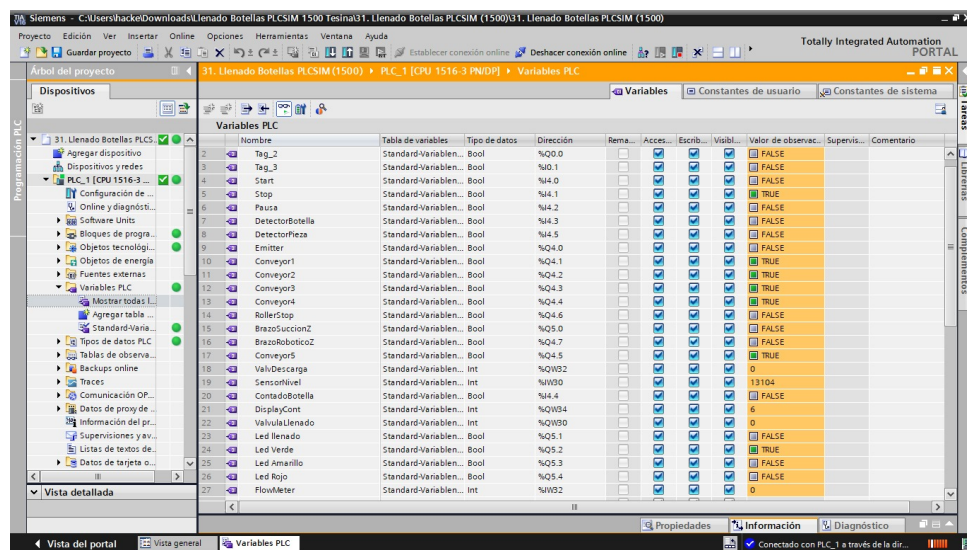
Figura 48: Gráfica de respuesta del segundo controlador PID durante el proceso de llenado de botellas. Fuente: Elaboración propia.

3.4. Funcionamiento de la lógica de control

La lógica secuencial implementada en el PLC evidenció un diseño adecuado en términos de seguridad y control de condiciones. La restricción de arranque basada en el nivel mínimo del tanque, así como la validación de la posición de la botella mediante el sensor de final de carrera, garantizan un funcionamiento libre de errores operativos. Este tipo de enclavamientos lógicos es fundamental en sistemas automatizados, ya que previene fallos comunes y protege tanto el proceso como los equipos involucrados. La respuesta del sistema ante las acciones del operador fue consistente, demostrando una correcta integración con el sistema de control automático.

La diferenciación entre las funciones de parada y pausa aporta flexibilidad operativa, permitiendo tanto la detención total del sistema como la reanudación del proceso sin pérdida de secuencia. Este aspecto es especialmente importante en aplicaciones industriales donde la continuidad del proceso influye directamente en la productividad.

En la figura 49 se pueden visualizar algunas de las variables que intervienen en el funcionamiento y control del proceso llevado a cabo, así como las entradas, salidas digitales y, a su vez, las analógicas; también los accionamientos de las bandas y las luces de cada proceso.



Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Valor de observ...	Supervis...	Comentario
Tag_2	Standard-Variable...	Bool	%Q0.0					FALSE		
Tag_3	Standard-Variable...	Bool	%Q0.1					FALSE		
Start	Standard-Variable...	Bool	%I4.0					FALSE		
Stop	Standard-Variable...	Bool	%I4.1					TRUE		
Pausa	Standard-Variable...	Bool	%I4.2					FALSE		
DetectorBotella	Standard-Variable...	Bool	%I4.3					FALSE		
DetectorPieza	Standard-Variable...	Bool	%I4.5					FALSE		
Emisor	Standard-Variable...	Bool	%Q4.0					FALSE		
Conveyor1	Standard-Variable...	Bool	%Q4.1					TRUE		
Conveyor2	Standard-Variable...	Bool	%Q4.2					TRUE		
Conveyor3	Standard-Variable...	Bool	%Q4.3					TRUE		
Conveyor4	Standard-Variable...	Bool	%Q4.4					TRUE		
RollerStop	Standard-Variable...	Bool	%Q4.6					FALSE		
BrasRoboticoZ	Standard-Variable...	Bool	%Q5.0					FALSE		
Conveyor5	Standard-Variable...	Bool	%Q4.5					TRUE		
ValvDescarga	Standard-Variable...	Int	%QW32					0		
SensorNivel	Standard-Variable...	Int	%IW90					13104		
ContadoBotella	Standard-Variable...	Bool	%I4.4					FALSE		
DisplayCont	Standard-Variable...	Int	%QW84					4		
ValvulaLlenado	Standard-Variable...	Int	%QW80					0		
Led Llenado	Standard-Variable...	Bool	%Q5.1					FALSE		
Led Verde	Standard-Variable...	Bool	%Q5.2					TRUE		
Led Amarillo	Standard-Variable...	Bool	%Q5.3					FALSE		
Led Rojo	Standard-Variable...	Bool	%Q5.4					FALSE		
FlowMeter	Standard-Variable...	Int	%IW82					0		

Figura 49: Monitoreo en línea de las variables de control activas del PLC. Fuente: Elaboración propia.

3.5. Funcionamiento y configuración del bloque de PID

3.5.1. Bloque de llenado de tanque

El bloque PID Compact recibe como entrada el punto de ajuste *SP* que se envía directamente del HMI correspondiente al valor de referencia del proceso y la variable de proceso *PV* representada por *Input PER* correspondiente al valor real medido por el sensor. El controlador compara continuamente las dos señales para calcular el error entre el valor deseado y el valor medido. En base a este error, el sistema ajusta la apertura de la válvula hasta que se alcanza y mantiene el punto de ajuste. En este caso, el punto de ajuste es el nivel deseado del tanque; *Input PER* es el nivel real medido por el sensor, y *Output PER* es la señal enviada a la válvula de llenado para ajustar automáticamente su apertura hasta alcanzar el nivel establecido. A continuación, se visualiza el bloque PID en la figura 50.

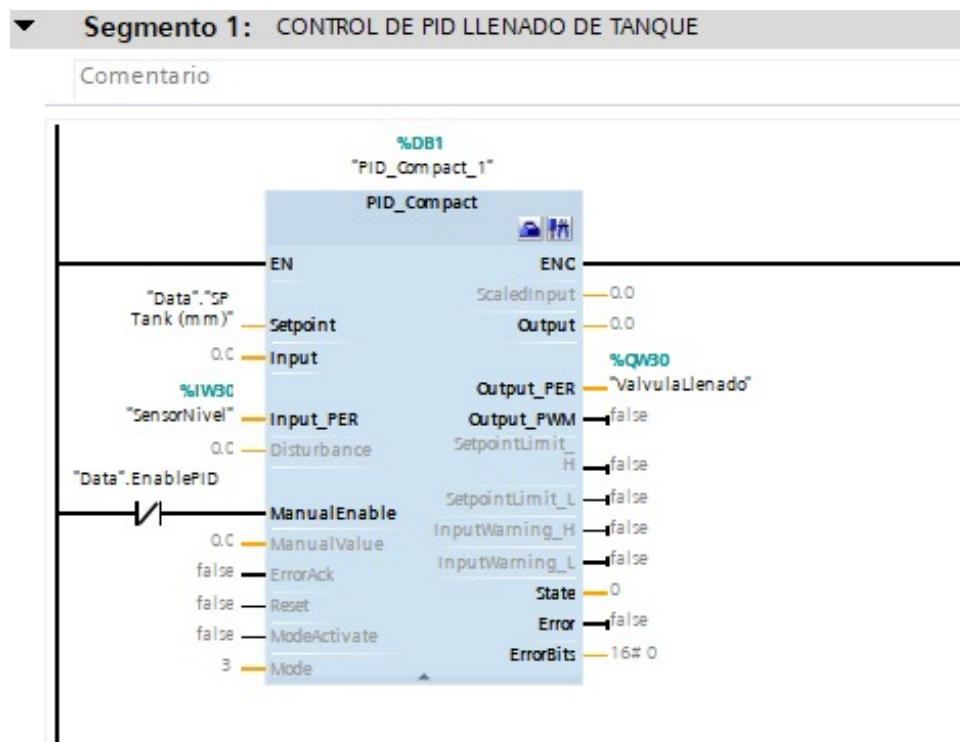


Figura 50: Configuración de los parámetros de ajuste en el bloque del primer controlador PID. Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Bloque del llenado botella

El bloque PID Compact se utiliza para controlar automáticamente el proceso de embotellado ajustando la válvula de descarga. Como punto de ajuste SP, recibe la cantidad deseada de líquido que el operador ingresa desde la HMI a través de la variable SP Botella (L). Como variable de proceso PV, recibe el volumen real de líquido en la botella, representado por la variable de botella PV (L), obtenida de la señal del medidor de flujo. Inicialmente, la señal analógica del sensor se normaliza utilizando el bloque NORM X y luego el bloque SCALE X la escala para convertirla en unidades de flujo físico m³/s. Este caudal es procesado por un bloque de integración que calcula el volumen de líquido acumulado en función del tiempo utilizando la integral del caudal $V = \int Q(t) dt$, arrojando finalmente el volumen en litros. El controlador PID compara continuamente este volumen real con el volumen de referencia y calcula el error entre los dos. En base a este error, genera una señal de salida Output PER que controla la apertura de la válvula de salida y regula el flujo de agua que ingresa a la botella. A medida que el volumen acumulado se acerca al valor programado, el PID ajusta gradualmente la apertura de la válvula para lograr el volumen deseado con precisión y estabilidad, minimizando el riesgo de desbordamiento, tal como se muestra en la figura 51.

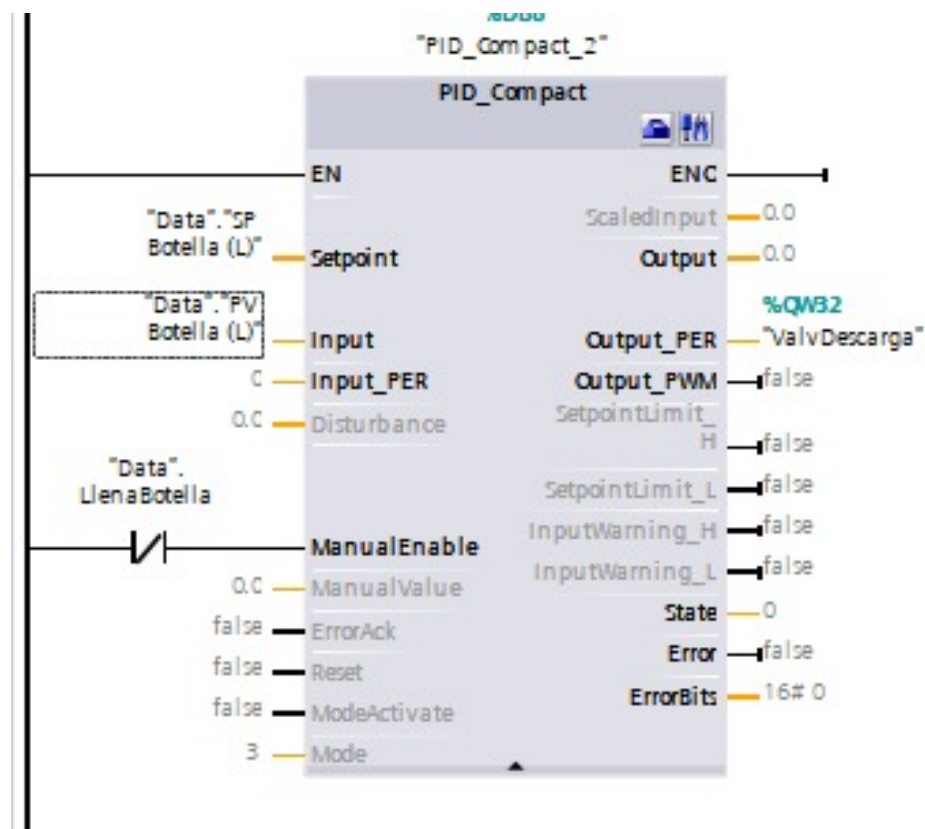


Figura 51: Configuración de los parámetros en el bloque del segundo controlador PID.
Fuente: Elaboración propia.

3.6. Funcionamiento del control local y remoto

El sistema de control del proceso de embotellamiento contempla dos modos de operación: modo local y modo remoto, los cuales permiten al operador interactuar con el sistema de acuerdo con las necesidades de supervisión y control. Ambos modos están implementados en el PLC Siemens S7-1500 y se integran con el entorno de simulación Factory I/O, garantizando flexibilidad en la operación del proceso.

Se controló el entorno de forma local sin inconvenientes, verificando la correcta comunicación con el sistema y el funcionamiento de las señalizaciones. Tanto este funcionamiento como los accionamientos respondieron sin ningún retardo al momento de ser pulsados, lo cual garantiza que, ante un error, el proceso se detenga de inmediato.

Por otro lado, el HMI remoto está destinado al uso del operador y a garantizar su seguridad. Cuenta con la misma funcionalidad de control del proceso que la operación local. En este apartado también se pusieron a prueba los accionamientos y las luces de alerta ante la eventual ocurrencia de un error, tal como se muestra en la figura 52.

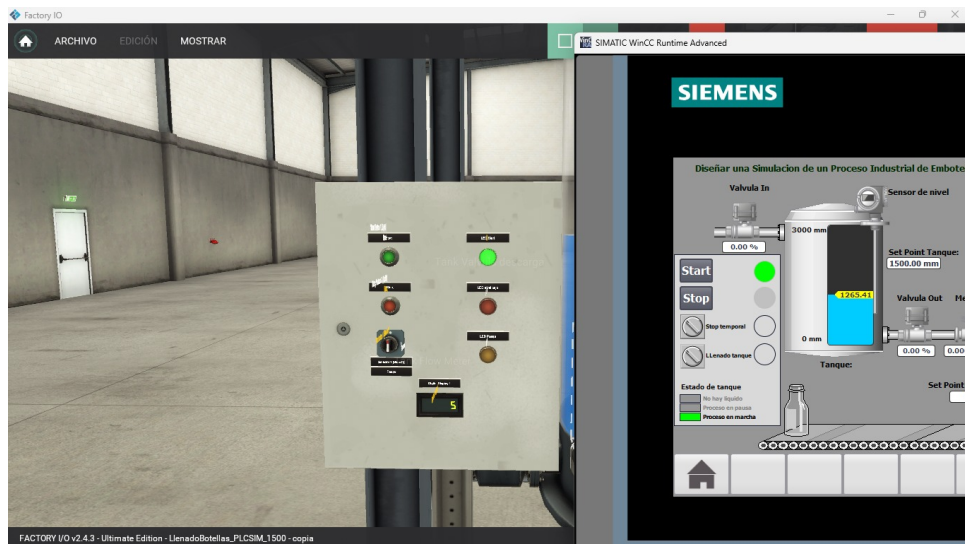


Figura 52: Configuración de los modos de operación para el control remoto y local del sistema. Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

El desarrollo del sistema de embotellado permitió la integración eficiente de métodos de control continuos y discretos utilizando un PLC Siemens S7-1500, lo que demuestra que es posible desarrollar procesos industriales confiables y eficientes utilizando herramientas de automatización modernas. El PID y la lógica secuencial demostró ser suficiente para regular variables críticas como el nivel del tanque y el volumen de llenado de la botella.

El controlador principal logró mantener el nivel del tanque en el valor de referencia de 1500 mm (según el ajuste configurado), garantizando la estabilidad durante el proceso de llenado. Asimismo, el segundo controlador permitió regular con precisión el volumen de 5 litros por botella, dependiendo del ajuste, para evitar desviaciones importantes y garantizar la uniformidad de la producción. La lógica secuencial implementada en el PLC permitió verificar las condiciones de operación, evitando que el proceso se iniciara si el nivel del tanque era insuficiente. Esto demuestra la importancia de estas verificaciones, ya que ayudan a mantener la seguridad del proceso. El PLC y la simulación a través del protocolo *ISO on TCP* permitió una conexión en el tiempo real. Esto es importante en aplicaciones industriales donde la sincronización de señales es esencial. Esto confirma que los entornos de simulación pueden proporcionar un campo para diseñar y probar sistemas automatizados.

4.2. Recomendaciones

Durante el desarrollo del proceso se identificaron diversos aspectos que se pueden considerar para optimizar la futura implementación de sistemas automatizados. Se recomienda profundizar en el uso del entorno de programación de TIA Portal y del lenguaje LADDER, ya que facilitan la implementación de la lógica de control. Por ello, existían limitaciones en el uso de bloques estándar, como los temporizadores TON y los contadores CTU; en estos casos fue necesario crear soluciones alternativas para cumplir con los requisitos del proceso, lo que demuestra la importancia del correcto funcionamiento de estos bloques.

Se aconseja organizar las bases de datos del programa, ya que durante el desarrollo se observó que dividir las secciones ayuda a controlar mejor las variables utilizadas; esto incluye aquellas relacionadas con el control del PID, como el posicionamiento de las botellas, el movimiento en el sistema y la conversión del flujo de salida en el volumen requerido para llenar cada botella. Esta organización adecuada de las variables facilita el entendimiento para mejorar la legibilidad del código y simplifica futuros cambios.

Es importante seleccionar adecuadamente el modelo de PLC para el control PID. En las pruebas iniciales se utilizó el PLC S7-1200, presentando ciertas limitaciones; sin embargo, al migrar el sistema a un PLC Siemens S7-1500, los controladores PID respondieron correctamente, mejorando el control del nivel del tanque y del llenado. Finalmente, es importante entender cómo se establece la comunicación entre los diversos componentes mediante el protocolo *ISO-on-TCP*, el cual permitió integrar el PLC, el HMI y el entorno de simulación de Factory I/O en tiempo real. Para ello, los dispositivos deben pertenecer al mismo segmento de red y compartir la misma máscara de subred.

Bibliografía

Referencias

- [1] Arturo, "Aprende industrial," Feb. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://aprendeindustrial.com/que-es-un-proceso-industrial/>
- [2] P. Vier, "Maquinaria de embotellado," *Cold Jet*, Mar. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog-mx.coldjet.com/maquinaria-de-embotellado>
- [3] Cervecería Nacional, "Manual acceso embotellado." [En línea]. Disponible en: <https://www.cervecerianacional.ec/sites/g/files/seuoyk1251/files/2023-04/Manual%20de%20embotellado%20%282%29.pdf>
- [4] J. C. Yto Acahuana, "Proceso Industrial de la Planta Embotelladora," Arequipa, Perú, 2014.
- [5] Carbotecnia, "Agua para procesos industriales," Feb. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/agua-para-procesos-industriales/>
- [6] AQUAFIT Ecuador, "Procesos de purificación y embotellado de agua de mesa," Planta Embotelladora Santa Elena, Ecuador, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.aquafit.com.ec/>
- [7] Glarity, "Qué es Factory I/O y cómo se utiliza en la automatización industrial," 2024. [En línea]. Disponible en: <https://askai.glarity.app/es/search/%C2%BFQu%C3%A9-es-Factory-I-O-y-c%C3%B3mo-se-utiliza-en-la-automatizaci%C3%B3n-industrial>
- [8] Impulso06, "Qué es TIA Portal y para qué es importante," 2024. [En línea]. Disponible en: <https://impulso06.com/que-es-tia-portal-y-porque-es-tan-importante-en-la-industria/>
- [9] Calipso, "Cómo optimizar el proceso de producción en mi empresa," Mar. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.calipso.com/articulos/como-optimizar-el-proceso-de-produccion-en-mi-empresa/>
- [10] Bookdown, "Sensor y actuador." [En línea]. Disponible en: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sensoractuador.html
- [11] Cursos Aula 21, "Qué es la automatización industrial." [En línea]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/que-es-laautomatizacion-industrial/>
- [12] A. Toro, G. Sánchez, M. Strefezza y E. Granado, "Redes de automatización industrial." [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507555085001>
- [13] Materiales Eléctricos, "Cómo funciona un breaker eléctrico." [En línea]. Disponible en: <https://jdelectricos.com.co/como-funciona-un-breaker-electrico/>

- [14] Balderix, Contactor.” *Academia Ingeniería*. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenierizando.com/electronica/contactor/>
- [15] Electropreguntas, ”Qué son los pulsadores industriales y para qué se utilizan.” [En línea]. Disponible en: <https://electropreguntas.com/que-son-los-pulsadores-industriales-y-para-que-se-utilizan-conoce-mas-en-nuestro-sitio/>
- [16] SMC Training, ”Sistemas de entrenamiento.” [En línea]. Disponible en: <https://www.smctraining.com/>
- [17] MarCoPack, ”Llenadoras por caudalímetro,” Nov. 2026. [En línea]. Disponible en: <https://marcopack.com/llenado-volumetrico-o-llenado-por-caudalimetro/>
- [18] Parker Hannifin Corporation, *Tecnología Neumática Industrial. Apostilla M1001 BR*, 2003. [En línea]. Disponible en: https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001_BR_Neumatica.pdf
- [19] N. Serrano, *Neumática Práctica*. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=-lUVsZSC6GsC&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- [20] Bradlock, ”Bloqueo neumático.” [En línea]. Disponible en: <https://bradlocksafety.com/categoria-producto/bloqueo-neumatico/>
- [21] A. Aguilar, ”Automatización del sistema de llenado de bidones plásticos para el control de válvulas y de faja transportadora,” Lima, Perú, Jul. 2017. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/512>
- [22] F. Niu, ”Sensores fotoeléctricos difusos.” [En línea]. Disponible en: <https://www.omchsmcs.com/es/diffuse-photoelectric-sensors/>
- [23] Maquienvas, ”Sistemas de envasado Fill Pack, S.L.U.” [En línea]. Disponible en: <https://maquienvas.com/taponadoras/>
- [24] Siemens, ”Controlador PLC S7-1200,” 2014. [En línea]. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/622/91696622/att_42774/v/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf
- [25] NVS, ”Pantalla táctil HMI.” [En línea]. Disponible en: <https://nvsautomatizacion.com/producto/pantalla-tactilhmi-8-pulg-dop-b08e515/>
- [26] ”Qué es un PLC y cómo funcionan,” Mar. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-un-plc-y-c%C3%B3mo-funcionan-wagomexico-xjqme/>
- [27] ISA, ”ISA 5.1 Scope: Instrumentation Symbols and Identification.” [En línea]. Disponible en: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa5-1>
- [28] ISA, ”What Is ISA-95: Enterprise-Control System Integration.” [En línea]. Disponible en: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-95-standard>

- [29] W. Johnson, R. R. Dunn y V. J. Maggioli, "Understanding ISA-84 and Functional Safety in the Process Industries." [En línea]. Disponible en: <https://blog.isa.org/understanding-isa-84-functional-safety-process-industries-manufacturing>
- [30] TUV SUD, "IEC 61508 Functional Safety Standard." [En línea]. Disponible en: <https://www.tuvsud.com/en-us/services/functional-safety/iec-61508>
- [31] ISO, "Sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos — Requisitos (ISO 22000)." [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:22000:ed-2:v2:es>
- [32] ISO, "Sistemas de gestión de calidad — Requisitos (ISO 9001)." [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/20/62085.html>
- [33] Global STD, "ISO 15378 – Buenas Prácticas de Manufactura para envases primarios." [En línea]. Disponible en: <https://www.globalstd.com/auditorias/iso-15378>
- [34] ISO, "ISO 14159 - Higiene en el diseño de maquinaria." [En línea]. Disponible en: https://files.infocentre.io/files/docs_clients/3646_2007469909_1442914_UNE-EN_ISO_14159.pdf
- [35] Factory I/O, "Setting up S7-PLCSIM V13-19." [En línea]. Disponible en: <https://docs.factoryio.com/tutorials/siemens/setting-up-s7-plcsim-v13/>
- [36] A. Brunete, "Automatización industrial: Pirámide de automatización," 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=3rK%2bdotj&id=7162A8AD28E0CD9F028B055FAEC07B3FE3F9AAEF&thid=OIP.3rK-dotjB0HuIboEge5zXAHaD_&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.albertobrunete.es%2fautomatica%2fFiguras%2fintro%2fpiramideautomat.png&cdnurl=https
- [37] "Redes de automatización industrial," 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=GBCmAFct&id=6561873D5608EBB0AF72BA64C976249B93583957&thid=OIP.GBCmAFcth0Zs_ntzyzRSrgHaD4&mediaurl=https%3a%2f%2f1.bp.blogspot.com%2f-gS9v2l7IaIc%2fYJrDvQfv4SI%2fAAAAAAAHfs%2f4sh9jQwH5jADmznnYZfHi23oor
- [38] Digi-Key, "Topología de redes industriales," 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=CNKiICLn&id=C1A68F3FBE34D9E59B4934C63E39287BB708309E&thid=OIP.CNKiICLn83SUG2LmgWRERwHaFd&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.digikey.com%2f-%2fmedia%2fImages%2fArticle+Library%2fTechZone+Articles%2f2021%2fMay%2>
- [39] Shangri-la – Puente Piedra, "Process control boards," 2024 [En línea]. Disponible en: <https://fasetron.com/en/product/tableros-de-control-de-procesos/>
- [40] Cable Norte, "Funcionamiento de breaker," 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=I%2FDZha0i&id=6FEB0379A628B079640C7B5BF422BB24AA29B4CA&thid=OIP.I_DZha0iL2KomFl8Pr4zjwAA&mediaurl=https%3a%2f%2fcablenortesrl.com%2fwp-content%2fuploads%2F2018%2F08%2F800px-SeccionMagnetotermico-300x

- [41] Ingmecafenix, "Partes del contactor,"2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=zky1IdUk&id=F8EFB8AEF6C3C1A5361A563676CCBE8BCF241AA0&thid=0IP.zky1IdUkVIhNTEGBeltLbwHaEK&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.ingmecafenix.com%2fwp-content%2fuploads%2f2017%2f03%2fContactor-electrico-portada-1.w>.
- [42] "Parte del pulsador,"2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=gc3e67Jp&id=5915EED90B9122AAF0703B6C08CFB39028F19D84&thid=0IP.gc3e67JpWqhADmuJax7-7QHafz&mediaurl=https%3a%2f%2fi.pining.com%2foriginals%2ff2%2f4d%2f9e%2ff24d9e9fa5b67b997f9a309f897280c4.jpg&cdnurl=htt>.
- [43] Teymasa, "Qué es un Llenado Volumétrico,"2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.teymasa.com/es/que-es-un-llenado-volumetrico>
- [44] Factory I/O, "Pick and Place Basic,"2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.factoryio.com/manual/scenes/pick-and-place-basic/>
- [45] Fabricación Mecánica, "Partes de un cilindro (Pistón neumático),"2023. [En línea].
- [46] Bozzys, "Guía de dispositivos de bloqueo neumático,"2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.bozzys.com/es/blog/pneumatic-lockouts/pneumatic-lockout-device-guide-compressed-air-isolation/>
- [47] Indumex, "Qué es una banda transportadora: tipos, beneficios y aplicaciones,"2024. [En línea]. Disponible en: <https://indumex.blog/industria-general/que-es-una-banda-transportadora-tipos-beneficios-y-aplicaciones>
- [48] Eletropecas, "Sensores fotoeléctricos difusos,"2009. [En línea]. Disponible en: https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=x0yhj%2bm5&id=DA705B58747490A001AC972E762F2F24CC4F2533&thid=0IP.x0yhj-m5a0WpdXSZe363WwHaHa&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.eletropecas.com%2f_uploads%2fprodutoArquiuivo%2fprodutoArquivo_17542_6157_orig.jpg&cd.
- [49] Epromsa, Representación interna del sensor fotoeléctrico,"2019. [En línea]. Disponible en: https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=C%2fB3uf8w&id=AB0BC3BDCC2E5631E34EA2AB17C4A9AFB1F9C87E&thid=0IP.C_B3uf8w7d_Br5qh8QoQTgHaF4&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.epromsa.com%2fwp-content%2fuploads%2f2021%2f01%2fsensor-fotoelectrico-polarizado-60.
- [50] "Diagrama del sensor fotoeléctrico difuso,"2019. [En línea]. Disponible en: https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=u4aLPVr0&id=A48177D4C095ECDD3986C87AC96CDE1D8F8373DC&thid=0IP.u4aLPVr0kiSVjDGA_ea0UQHAdH&mediaurl=https%3a%2f%2fth.bing.com%2fth%2fid%2fR.bb868b3d5af49224958c3180fde6b451%3frik%3d3HODjx3ebM16yA%26riu%3.
- [51] Controlador PLC S7-1500,"2021. [En línea]. Disponible en: https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=e0C7SgLf&id=DC26F9AFE4E9253184BCA2F3DF87E6E2E2A0CC09&thid=0IP.e0C7SgLfFMCDM3oV-PRNywHaIE&mediaurl=http%3a%2f%2fres.cloudinary.com%2frsc%2fimage%2fupload%2fw_1024%2fF8624455-01&cdnurl=https%3a%2f%2fth.

- [52] Siemens, "TIA Portal: SIMATIC S7-1200 Manual Collection," 2024. [En línea]. Disponible en: https://docs.tia.siemens.cloud/r/simatic_s7_1200_manual_collection_eses_20/step-7-programming-software
- [53] Factory I/O, "Factory I/O Manual," 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.factoryio.com/manual/>

Anexos

Codificación para la conversión del caudal de salida a volumen

```
IF #Enable = TRUE THEN

    #cont := #cont + 1;
    IF #Reset = TRUE THEN
        #cont := 0;
        #last_t := 0;
        #Aux_Integracion := 0;
    END_IF;

ELSE

    #cont := 0;
    #Signal := 0;
    #last_t := 0;
    #Aux_Integracion := 0;

END_IF;

// tiempo t en (seg)
#t := #cont * #"Tm (ms)" / 1000.0;
#delta_t := #t - #last_t;
#last_t := #t;

#Signal := #Señal / #FormatoSeñal;
// FormatoSeñal depende si la señal es m^3/(seg = 1, min = 60, hora = 3600)
#Signal := #Signal / 2;
#Signal := #Signal * #delta_t;

// calcula integral
#Aux_Integracion := #Aux_Integracion + #Signal;
#Integral := 2 * #Aux_Integracion * 1000;
```

Figura 53: Algoritmo SCL para la integración de caudal a volumen.

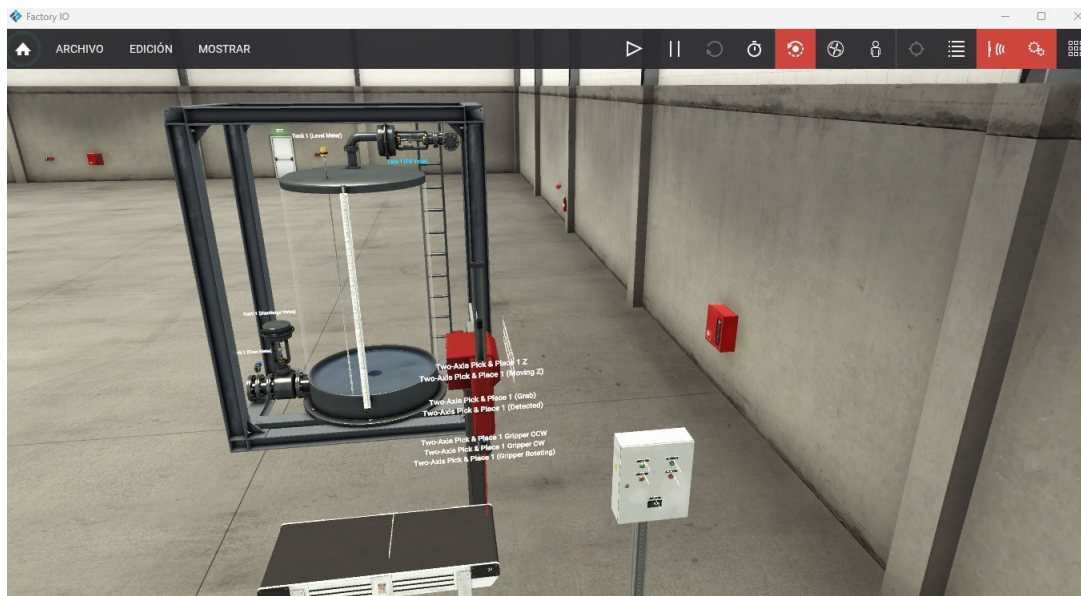


Figura 54: Proceso de diseño y ensamblaje de la planta virtual en el entorno de simulación. Fuente: Elaboración propia.

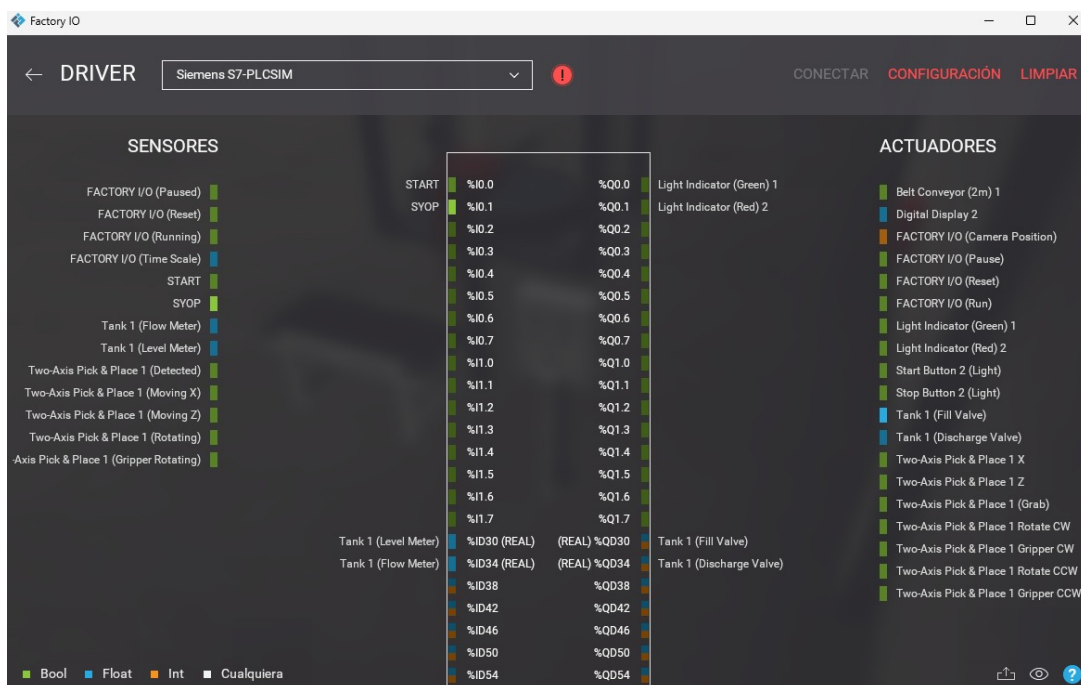


Figura 55: Asignación de las variables de entrada y salida del sistema en el entorno de desarrollo. Fuente: Elaboración propia.

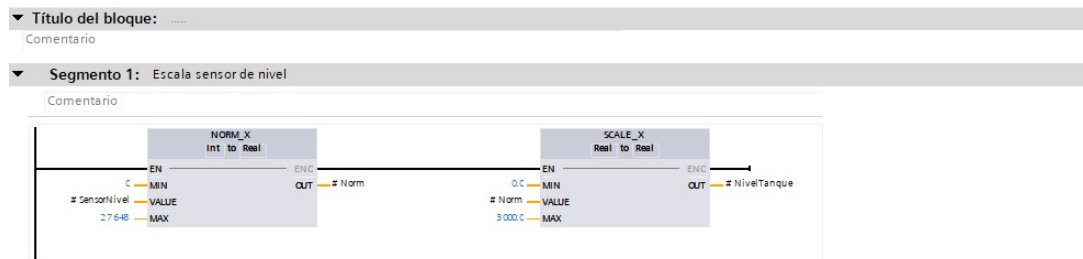


Figura 56: Configuración de los bloques de normalización y escalado de señales analógicas.
Fuente: Elaboración propia.

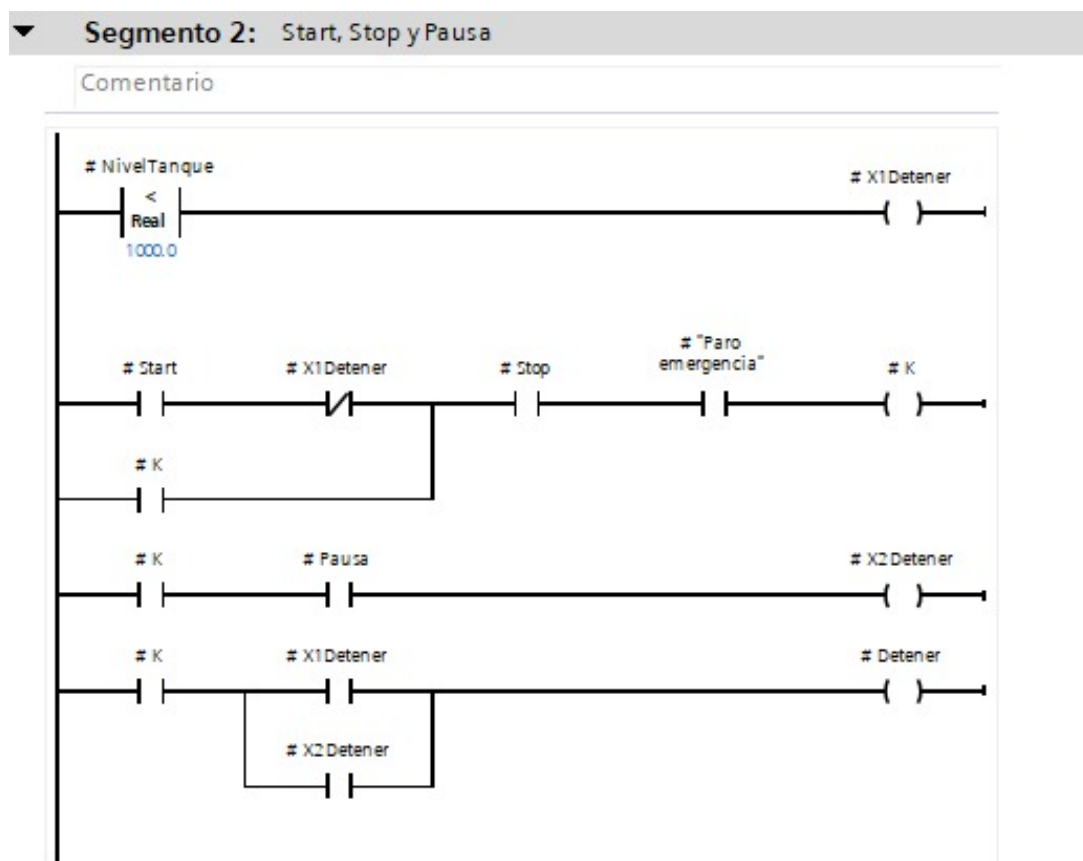


Figura 57: Lógica de control en diagrama de contactos (LADDER) para la secuencia de arranque, parada y pausa del sistema. Fuente: Elaboración propia.

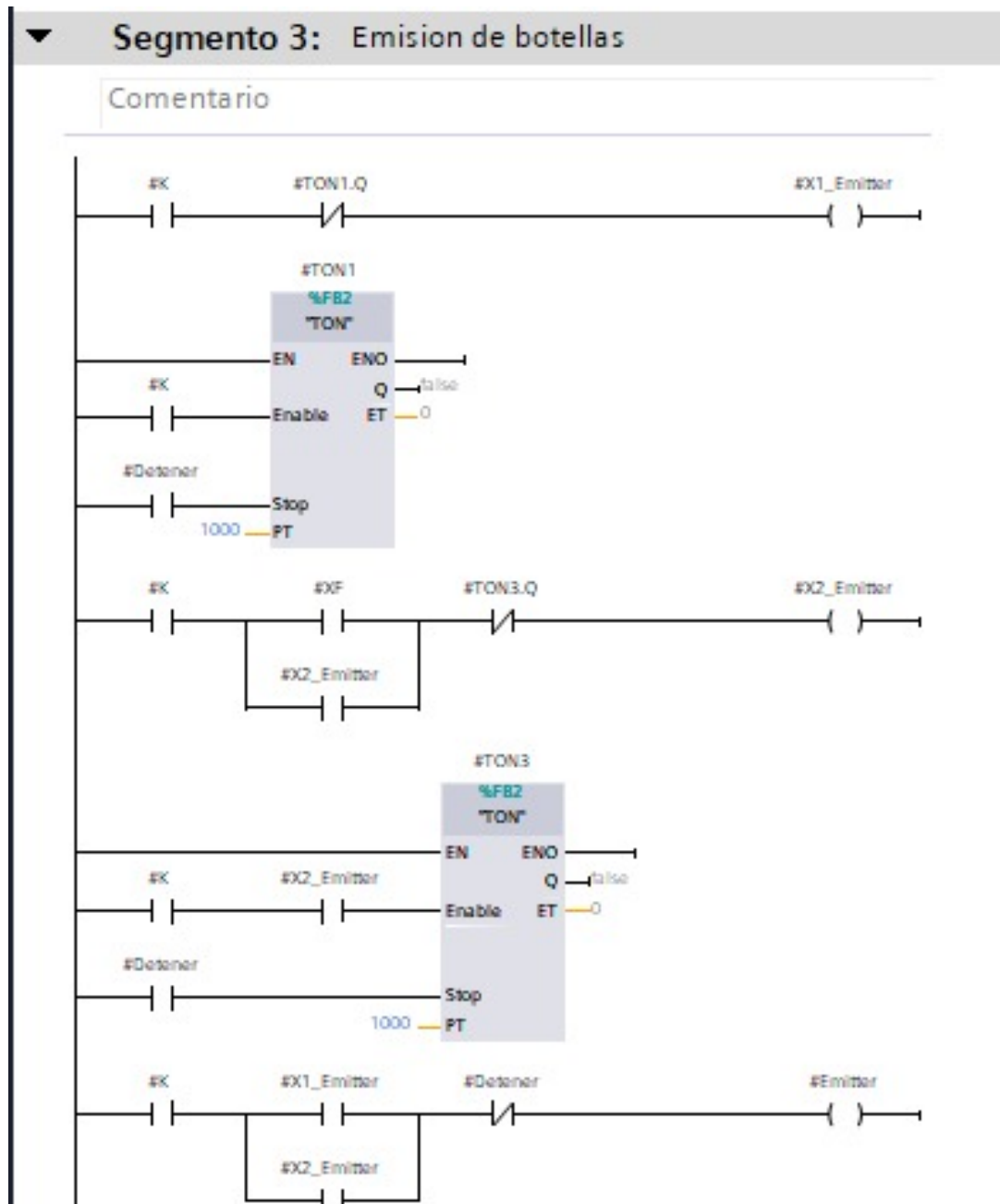


Figura 58: Lógica de activación y control para el emisor de botellas en el proceso de envasado. Fuente: Elaboración propia.

▼ Segmento 4: Proceso

Comentario

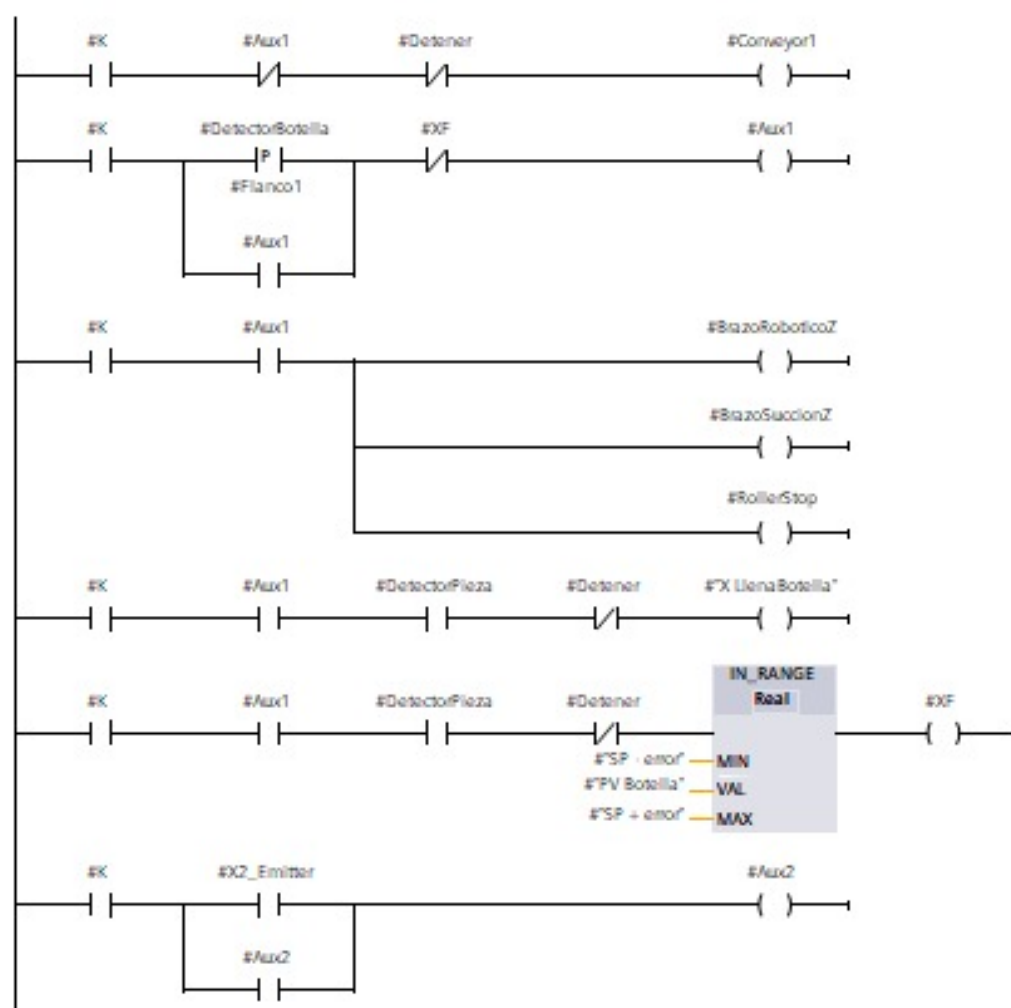


Figura 59: Lógica de control para la secuencia de desplazamiento y posicionamiento en el proceso de envasado de botellas. Fuente: Elaboración propia.

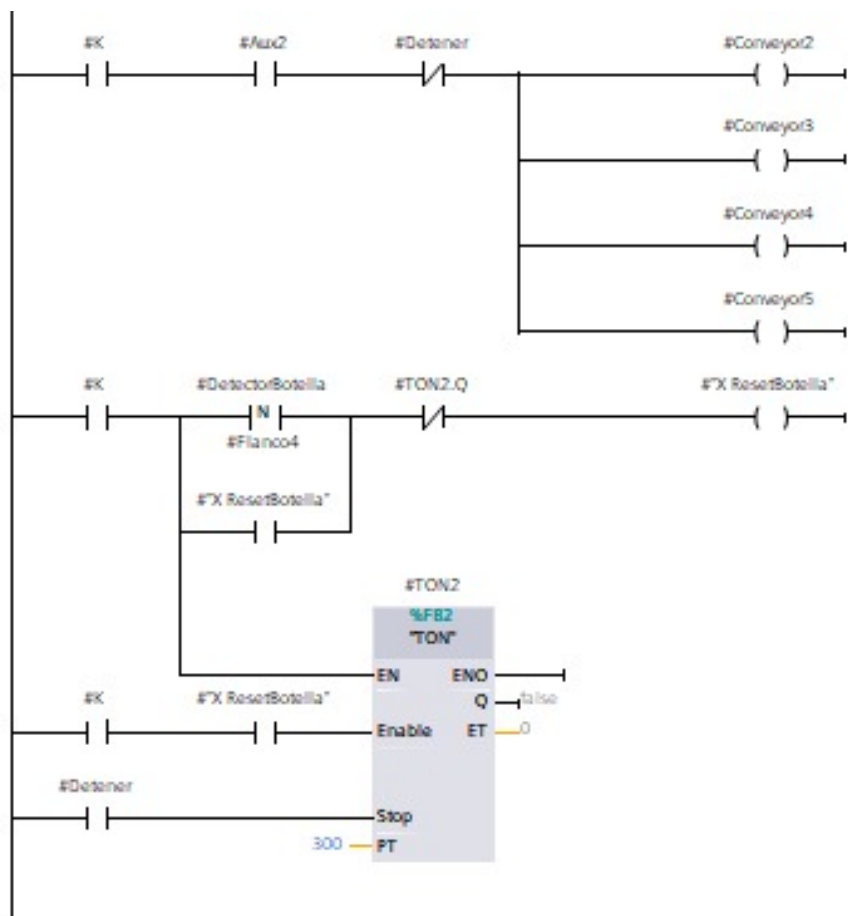
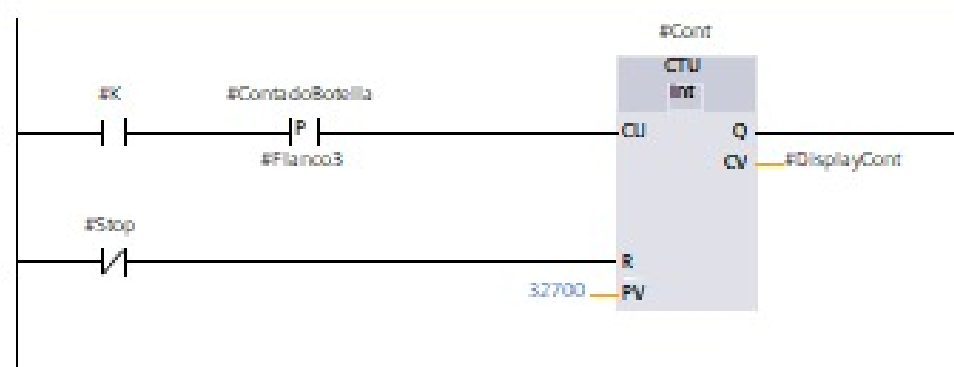


Figura 60: Continuación de la lógica de control para el proceso de desplazamiento y llenado de botellas. Fuente: Elaboración propia.

▼ Segmento 5: Contador de piezas

Comentario



▼ Segmento 6: Alarmas

Comentario

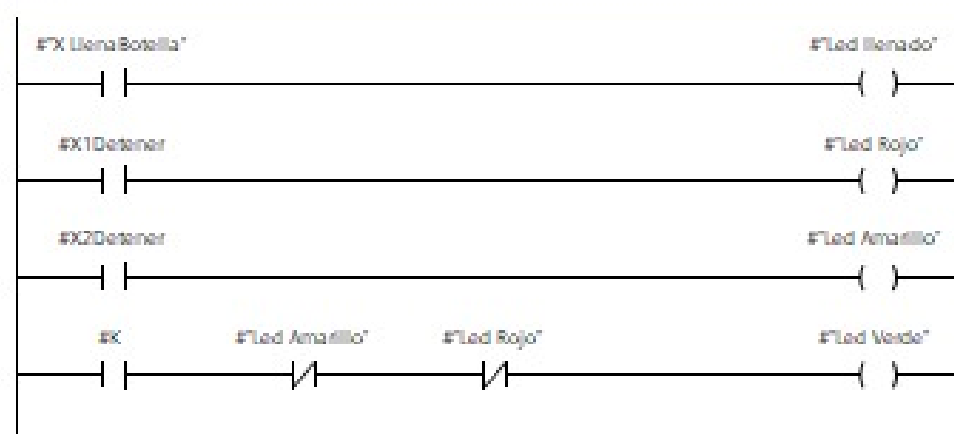


Figura 61: Lógica de control y configuración del sistema de alarmas de la planta virtual.
Fuente: Elaboración propia.



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | UPSE-ECU

Integración_Curricular_Auto_Ivan_embotelladora 4.8V

ID : 9fb8d19f8eb745a7f011a0fe81841a800d56cd3d



7%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : Integración_Curricular_Auto_Ivan_embotelladora 4.8V.txt
Tamaño del archivo original : 10,4 MB
Número de palabras : 17.927

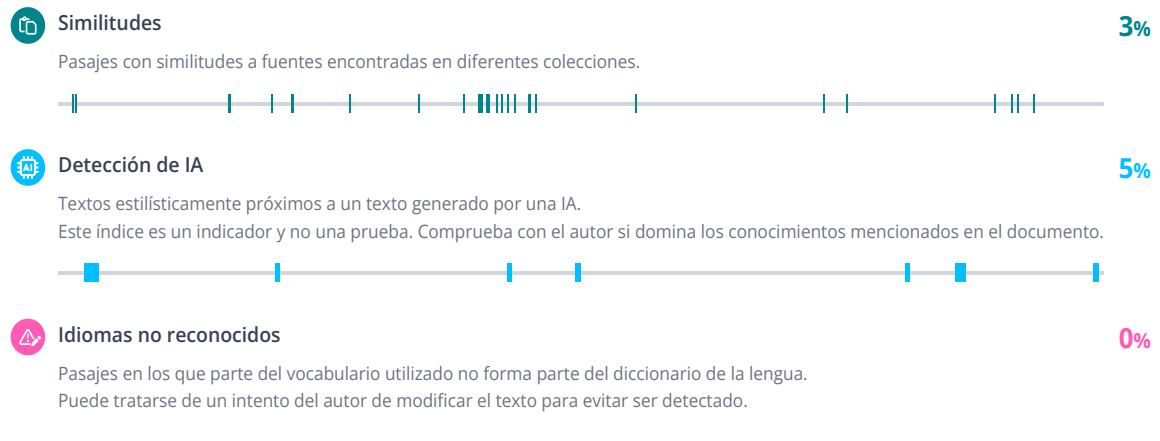
Depositante : EDISSON STALIN CORAL SALINAS
Fecha de depósito : 10 de agosto de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 10 de agosto de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Figura 62: Reporte de compilatio