UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL INDUSTRIAL MEDIANTE FACTORY I/O Y SOFTWARE SIEMENS

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial

Alumno:

Sebastián Andrés Rodríguez Mandiola

Profesor Guía:

Martín García Gutiérrez

2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ■ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: ___Simulación de un sistema de control industrial mediante Factory i/o y software Siemens

Nombre del candidato(a): Sebastián Andrés Rodríguez Mandiola

Carrera / Grado: __Ingeniería de ejecución en Control e Instrumentación industrial

Campus: Viña del Mar. **Departamento:** _Departamento de Electrotecnia e Informática

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, ___Martín García Gutiérrez __, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

■ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

_____

_____

4.- FIRMAS

\Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 2 de noviembre del 2026. **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):



Fecha: 2 de noviembre del 2026 **Firma:** _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación desarrolla la simulación de un sistema de control industrial para una línea de embotellado, con el fin de servir como guía metodológica para la formación en automatización.

El proceso se construyó en el entorno 3D Factory I/O u se controló con un PLC Siemens S7-1500 virtual (S7-PLCSIM) programado en lenguaje Ladder en TIA Portal V18.

El sistema incluye una secuencia de suministro, posicionamiento, llenado y taponado; un lazo PID de nivel con control de rango partido; contadores de producción con detección de flancos y una HMI KTP700 de tres pantallas para operación local y remota.

En las pruebas se definió un setpoint del 80% con la herramienta PID_Compact ($K_p = 11{,}74002$; $T_i = 4{,}618844\ s$; $T_d = 0{,}1\ s$; $Ciclo = 0{,}1\ s$).

El costo estimado de la solución es de USD $28.947, IVA incluido.

Palabras Clave: Factory I/O, Tia Portal, Siemens, WinCC, SCADA

ÍNDICE

RESUMEN 2

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA 8

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO 2

1 ANTECEDENTES GENERALES 3

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....3

1.3 REQUERIMIENTOS 4

1.3.1 Conceptos generales de un sistema de control programado 4

1.3.2 Hardware simulado PLC Siemens SIMATIC S7-1500 5

1.3.3 Hardware KTP700 Basic PN (6AV2123-2GB03-0AX0) 7

1.3.4 Software de Siemens Tia Portal. 8

1.3.5 Software Factory I/O.....9

1.3.6 Rol y función de los distintos elementos que componen un sistema de control programado 10

1.4 Simulación y control de una línea de embotellado 12

1.5 DIAGRAMA P&ID – CONTROL LÍNEA DE EMBOTELLADO 13

1.6 ARQUITECTURA DE LA SIMULACIÓN 14

1.7 OBJETIVOS DEL PROYECTO 15

1.7.1 Objetivo general 15

1.7.2 Objetivos específicos 16

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....17

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....18

2.1 ANTESALA A LA PROGRAMACIÓN 18

2.1.1 Plantilla para vinculación 18

2.1.2 Vinculación entre Tia Portal – PLCSIM – Factory I/O 21

2.1.3 Creación de la escena en Factory I/O 28

2.1.4 Traspaso de información a controlar 35

2.2 PROGRAMACIÓN DEL PROCESO 37

2.2.1 Diagramas de flujo asociados a la rutina principal. 37
2.2.2 Diagramas de flujo asociados a la rutina de advertencias / alarmas. 39
2.2.3 Programación del control PID del estanque. 40
2.2.4 Programación del proceso y accionamiento local. 46
2.2.5 Pantalla HMI – adición y consideraciones 54
2.2.6 Pantalla HMI – proceso 56
2.2.7 Pantalla HMI – control PID 63
2.2.8 Pantalla HMI – menú principal 65

CAPÍTULO 3: PRESUPUESTO ASOCIADO AL DISEÑO Y SIMULACIÓN 68

3 PRESUPUESTO Y CARTA GANTT ASOCIADOS AL DISEÑO Y SIMULACIÓN 69

3.1 INTRODUCCIÓN Y SUPUESTOS DEL PRESUPUESTO 69

3.2 PRESUPUESTO DE SOFTWARE 70

3.3 PRESUPUESTO DE HARDWARE 72

3.4 PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA (HORAS HOMBRE) y planificación DE actividades 73

3.4.1 Carta Gantt y planificación del diseño y programación de la simulación 73
3.4.2 Presupuesto asociado a las HH (Horas Hombre) 74

3.5 PRESUPUESTO TOTAL CONSOLIDADO 76

BIBLIOGRAFÍA 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Esquema de un sistema de control programado 5
Figura 1.2 - PLC Siemens SIMATIC S7-1500, CPU 1516-3 PN/DP 5
Figura 1.3 – Comparativa S7-1500 v/s S7-1200 6
Figura 1.4 - Pantalla HMI KTP700 Basic PN (6AV2123-2GB03-0AX0) 7
Figura 1.5 - Esquema básico de programación LADDER. 8
Figura 1.6 - Factory I/O - diversos entornos de control programable 9
Figura 1.7 - Triángulo de jerarquía de un sistema de control industrial programado. 11
Figura 1.8 - Sistema de llenado y embotellamiento de envases. 12
Figura 1.9 - Diagrama P&ID – Control línea de embotellado. 13
Figura 1.10 - Arquitectura de la simulación. 14
Figura 2.1 - Página para descargar la plantilla. 19
Figura 2.2 - Iniciar simulación 21
Figura 2.3 - Utilizar PLCSIM como interfaz online única. 22
Figura 2.4 - Volver a iniciar simulación. 22
Figura 2.5 - Creación del PLC virtual 23
Figura 2.6 - Establecer conexión hacia el dispositivo. 23
Figura 2.7 - Previsualización de la carga paso 1. 24
Figura 2.8 - Previsualización de la carga paso 2. 25
Figura 2.9 - Simulación PLC virtual funcionando. 25
Figura 2.10 - Acceso a las interfaces de comunicación. 26
Figura 2.11 - Acceso a la configuración. 27
Figura 2.12 - Interfaz de configuración. 27
Figura 2.13 - Interfaz del controlador. 28
Figura 2.14 - Configuración del estanque. 29
Figura 2.15 - Implementación de la cinta transportadora. 29
Figura 2.16 - Creación del tablero eléctrico. 30
Figura 2.17 - Función emisor. 31

Figura 2.18 - Pistones de llenado y taponado. 32
Figura 2.19 - Sensores de posicionamiento llenado - taponado. 32
Figura 2.20 - Rampa hacia el embalaje y removedor. 33
Figura 2.21 - Sensor final proceso y sensor botella ingresada. 34
Figura 2.22 - Escena final del proceso. 34
Figura 2.23 - Asignación de entradas y salidas. 35
Figura 2.24 - Asignación de tags Tia Portal. 36
Figura 2.25 – Diagrama de flujo asociado a la rutina principal. 38
Figura 2.26 – Diagrama de flujo asociado a la rutina cíclica de advertencia / alarmas. 39
Figura 2.27 – Diagrama de bloques de lazo de nivel. 40
Figura 2.28 - Programación nivel de estanque. 41
Figura 2.29 - Programación del valor PID. 42
Figura 2.30 - Programación para habilitación del modo manual en el control PID. 43
Figura 2.31 - Bloque PID_Compact. 44
Figura 2.32 - Configuración de parámetros control PID. 45
Figura 2.33 - Configuración de bloque de función 1/3 47
Figura 2.34 - Configuración de bloque de función 2/3 48
Figura 2.35 - Configuración de bloque de función 3/3 49
Figura 2.36 - Subsistema 1 – Inicio de suministro. 50
Figura 2.37 - Subsistema 2-5 – Posicionamiento de llenado / taponado. 51
Figura 2.38 - Subsistema 3 – Proceso de llenado. 52
Figura 2.39 - Subsistema 4 – Proceso de taponado. 53
Figura 2.40 - Adición de la pantalla HMI. 54
Figura 2.41 - Conexionado de la red. 55
Figura 2.42 - Pantalla HMI y elementos de configuración. 56
Figura 2.43 - Elementos de acción / reacción y visualización – proceso. 57
Figura 2.44 - Lógica de programación de los elementos de acción. 58
Figura 2.45 - Lógica para acondicionamiento de señales hacia HMI 59
Figura 2.46 - Lógica de conteo discreto y trazabilidad. 60

Figura 2.47 - Lógica de desplazamiento dinámico y cambios de estado. 61
Figura 2.48 - Lógica de reinicio de conteo. 62
Figura 2.49 - Elementos de acción / reacción y visualización – control PID. 63
Figura 2.50 - Enlace de variables control PID. 64
Figura 2.51 - Elementos de acción / reacción y visualización – menú principal. 65
Figura 2.52 - Lógica asociada al estado actual y general del proceso (Advertencias y alarmas)...66
Figura 3.1 - Sueldo bruto promedio – ingeniero en electricidad a septiembre del año 2026.....70
Tabla 3.2 - Presupuesto - software 71
Tabla 3.3 - Presupuesto - hardware 73
Tabla 3.4 – Carta Gantt asociada al diseño y programación de la simulación. 73
Tabla 3.5 - Presupuesto – horas hombre 76
Tabla 3.6 - Presupuesto total consolidado.....77

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS:

HMI	: Human-Machine interface.
PLC	: Controlador Lógico Programable.
SCADA	: Control de Supervisión y Adquisición de Datos.
IVA	: Impuesto al Valor Agregado.
ISA	: Sociedad Internacional de Automatización.
PID	: Proporcional – Integral – Derivativo.
P&ID	: Diagrama de Tuberías e Instrumentación.
I/O	: Entradas y Salidas.
PN	: PROFINET.
TIA	: Totally integrated automation.
RAM	: Memoria de Acceso Aleatorio.
GPU	: Unidad de Procesamiento Gráfico.
CPU	: Unidad Central de Procesamiento.
SSD	: Unidad de Estado Sólido.
HH	: Horas Hombre.
USD	: Dólar estadounidense.

B. SIMBOLOGÍA:

%I	: Dirección de memoria de una entrada física.
%Q	: Dirección de memoria de una salida física.
%M	: Dirección de memoria interna.
NA/NC	: Contacto normalmente abierto / normalmente cerrado.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control programado vienen directamente asociados a conceptos como la eficiencia, progreso, mejora continua y calidad de los procesos en los que se aplica, sobre todo en las industrias, ya que permiten definir estándares que aseguran la calidad de dichos procesos, mediante metodologías propias o estandarizadas, y admiten diversas estrategias de control adaptables a cada aplicación.

Un sistema muy completo donde se aplican varias de estas características es el de embotellado, el cual permitirá navegar por distintas funciones propias de un sistema de control programado.

Sistema que posee varias características, explorando distintos subsistemas entre los que se encuentran el suministro de botellas a la línea, posicionamiento, llenado, taponado y empaquetado.

Se contempla pasar por controles secuenciales, manejo de entradas y salidas digitales, entradas y salidas analógicas, sistema de control PID, contadores, temporizadores, interfaz de control Hombre-Máquina (HMI) y gestión de alarmas.

Todo el sistema programado con software de Siemens y simulado con Factory I/O, lo que permite acercar el diseño, en lo posible, a una implementación real en terreno, aplicando todos los fundamentos en que se sustenta el sistema de control programado.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO

1 ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO

Este capítulo tiene por objeto conocer y entender conceptos esenciales de un sistema de control programado y sus herramientas de simulación.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe actualmente una brecha entre la formación teórica en cuanto a la programación de controladores lógicos programables (PLC) y la aplicación real de un sistema completo en un entorno industrial, si bien en la formación se realizan simulaciones, estas abordan sistemas aislados y no un proyecto completo. Por ello, cuesta visualizar el efecto real del código sobre un proceso industrial.

Dicha brecha resulta en una curva de aprendizaje más lenta, falta de confianza a la hora de intervenir equipos reales y un mayor riesgo de errores costosos, cuando los profesionales que se inician en el área se enfrentan por primera vez a sistemas industriales.

1.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

La solución es netamente el desarrollo y la documentación de una aplicación práctica e integral que sirve como modelo y guía metodológica mediante la creación de un sistema de control industrial utilizando software de Siemens y la herramienta de simulación Factory I/O.

1.3 REQUERIMIENTOS

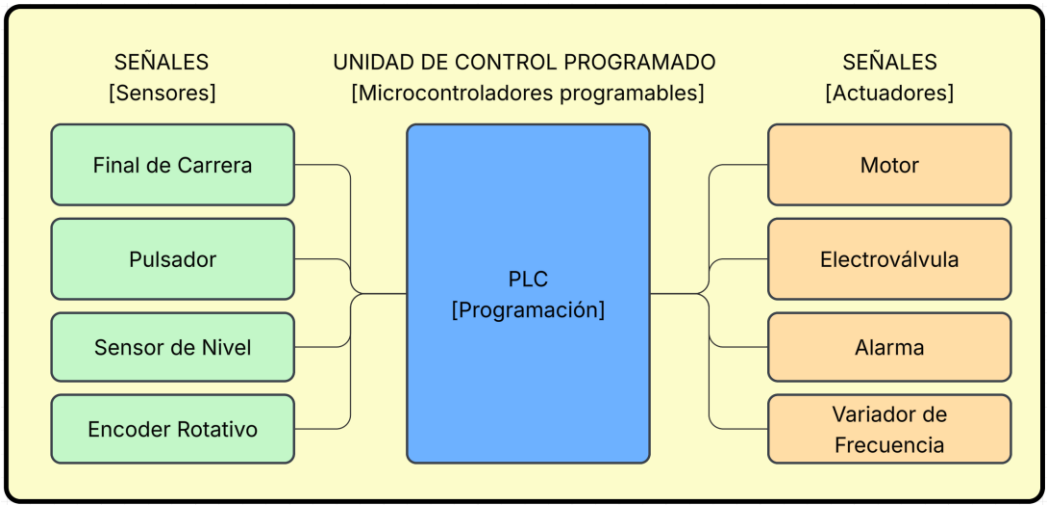
Para poder cumplir con el objetivo de este trabajo, se necesitará conocer conceptos generales asociados al control programado, conceptos de control industrial, funcionalidades de software Siemens como la herramienta de simulación Factory I/O.

En el caso de Factory I/O, además de su uso, se describe su vinculación con TIA Portal y S7-PLCSIM.

1.3.1 Conceptos generales de un sistema de control programado

Los sistemas de control programado vienen de la base programable, que indica su versatilidad a la hora de modificar los parámetros de los procesos asociados, ya que generalmente se puede modificar su programación para ir satisfaciendo diversas necesidades. Estos son versátiles y eficientes porque son controlados, como en este caso, por un PLC (Controlador Lógico Programable), o cualquier microcontrolador que pueda ejecutar un software en su procesador.

Son los principales encargados de la lectura de entradas como lo pueden ser sensores, comandar salidas como podrían ser actuadores y hasta tomar decisiones lógicas programadas previamente en su configuración.



Fuente: Creación propia.

Figura 1.1 - Esquema de un sistema de control programado

En la figura 1.1 se detalla un esquema básico de control programado el cual trabaja con lógica binaria, entradas y salidas tanto digitales que miden dos estados lógicos como analógicas que miden un rango de valores, temporizadores encargados de la secuencia de procesos, contadores que se encargan de registrar eventos y lazos de control encargados de la autorregulación del sistema.

1.3.2 Hardware simulado PLC Siemens SIMATIC S7-1500

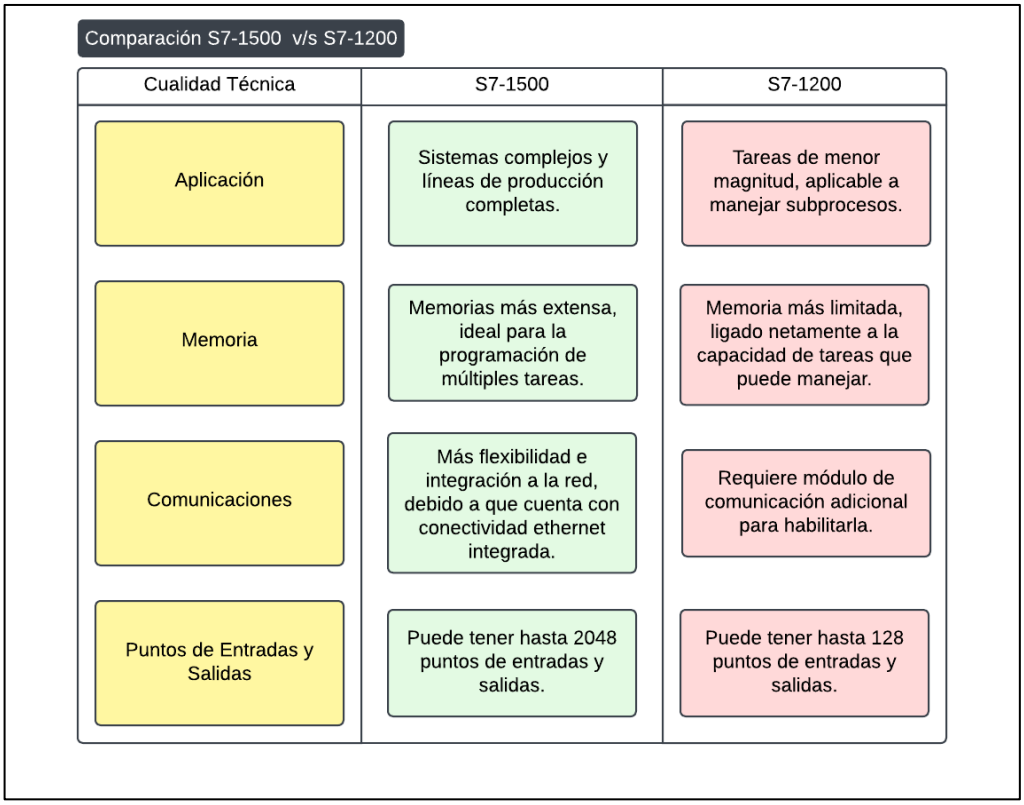
Controlador lógico programable modular de gama media-alta, diseñado especialmente para la automatización de tareas complejas que demandan un alto rendimiento en materia de procesamiento, comunicación y demás funciones tecnológicas integradas.



Fuente: Siemens AG (2026). URL:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/914/59191914/att_915308/v1/s71500_cpu1516_3_pn_dp_manual_es-ES_es-ES.pdf

Figura 1.2 - PLC Siemens SIMATIC S7-1500, CPU 1516-3 PN/DP

Elemento clave ya que representa el cerebro de todo el sistema de control que se creará, pues no solo permite el control secuencial básico, sino también funciones avanzadas como Motion Control (Control de movimiento) o control PID (Proporcional-Integral-Derivativo), este último esencial a la hora de controlar variables. Este modelo en particular fue elegido para el diseño del proyecto debido a que cuenta con las siguientes prestaciones útiles en comparación con, por ejemplo, el modelo S7-1200:



Fuente: elaboración propia con base en
[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/375/86630375/att_941426/v1/s7_1500_compare_table_int_es_mnemo.pdf].

Figura 1.3 – Comparativa S7-1500 v/s S7-1200

La figura 1.3 muestra que la elección realizada en cuanto al Hardware PLC, esto netamente debido a la magnitud del proyecto, que contempla distintos subprocesos.

1.3.3 Hardware KTP700 Basic PN (6AV2123-2GB03-0AX0)

Interfaz Hombre-Máquina que combina una pantalla táctil de 7 pulgadas con un teclado de membrana físico, especialmente diseñado para la visualización y control de máquinas y procesos de diversa complejidad. Encargada del control y monitoreo del sistema de control industrial, así como gestiones de alarmas y diagnóstico rápido de los diversos elementos programados.



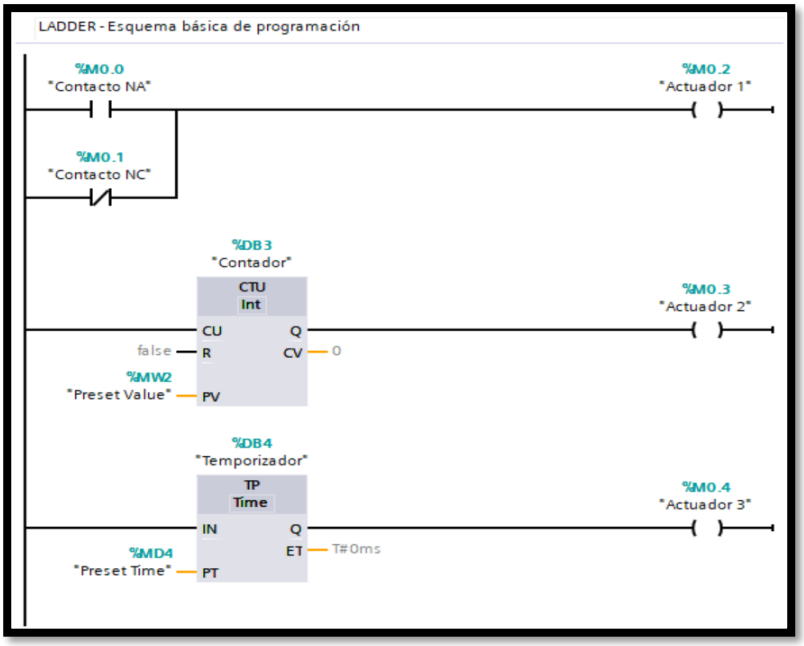
Fuente: Siemens AG (2026). URL: https://support.industry.siemens.com/cs/document/102327789/liberación-para-el-suministro-del-simatic-hmi-ktp700-basic-dp?dti=0&lc=es-ES

Figura 1.4 - Pantalla HMI KTP700 Basic PN (6AV2123-2GB03-0AX0)

Compatibilidad directa con el PLC Siemens SIMATIC S7-1500, CPU 1516-3 PN/DP, donde va a permitir en conjunto con el software TIA Portal, tener control directo sobre el sistema de control programado para el entorno simulado mediante el software Factory I/O.

1.3.4 Software de Siemens TIA Portal.

Ambiente de programación y configuración del sistema de control programado, programación cuyo lenguaje principal es Ladder (KOP/LAD), usado principalmente para programar controladores lógicos programables (PLC), su diseño tiene concordancia con su nombre por su parecido a una escalera, donde los rieles verticales representan la alimentación y cada peldaño horizontal, es una línea de programación lógica que representa una regla de control, tiene similitudes con los diagramas de circuitos eléctricos de relés, lo que a su vez lo hace intuitivo a la hora de utilizar.



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 1.5 - Esquema básico de programación LADDER.

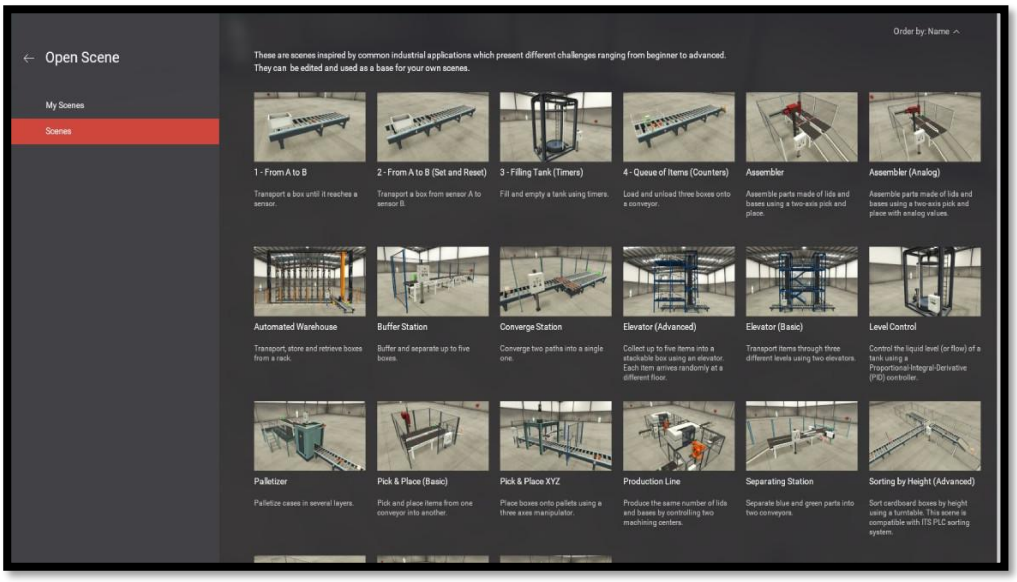
Como se observa en la figura 1.5, este software también permite la configuración de programación Ladder y enlaces a las interfaces Hombre-Máquina (HMI), con la cual, el operador/usuario va a poder tomar control directo sobre la ejecución del programa en tiempo

real, donde se utilizan los elementos de entrada para que la persona guíe el proceso, elementos de salida donde la persona puede visualizar lo que está ocurriendo.

Lo señalado anteriormente tiene directa relación con lo que es un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), ya que sirve para mantener la supervisión, control, adquisición de datos, reportes y análisis del proceso, esto enfocado, no a una sola máquina, sino arraigado a la gestión integral de un sistema con todos sus subsistemas, cabe destacar que la figura 1.4 es una representación de lo que puede informar una pantalla HMI, y no tiene relación con la complejidad asociada a este proyecto.

1.3.5 Software Factory I/O

Este software de simulación 3D actúa como una representación fiel del sistema industrial real, la idea con la que surge es poder crear un entorno virtual, seguro e interactivo, donde validar y probar una gran variedad de programas de control lógico.



Fuente: Real Games – Factory I / O (2026). URL: https://docs.factoryio.com/manual/scenes

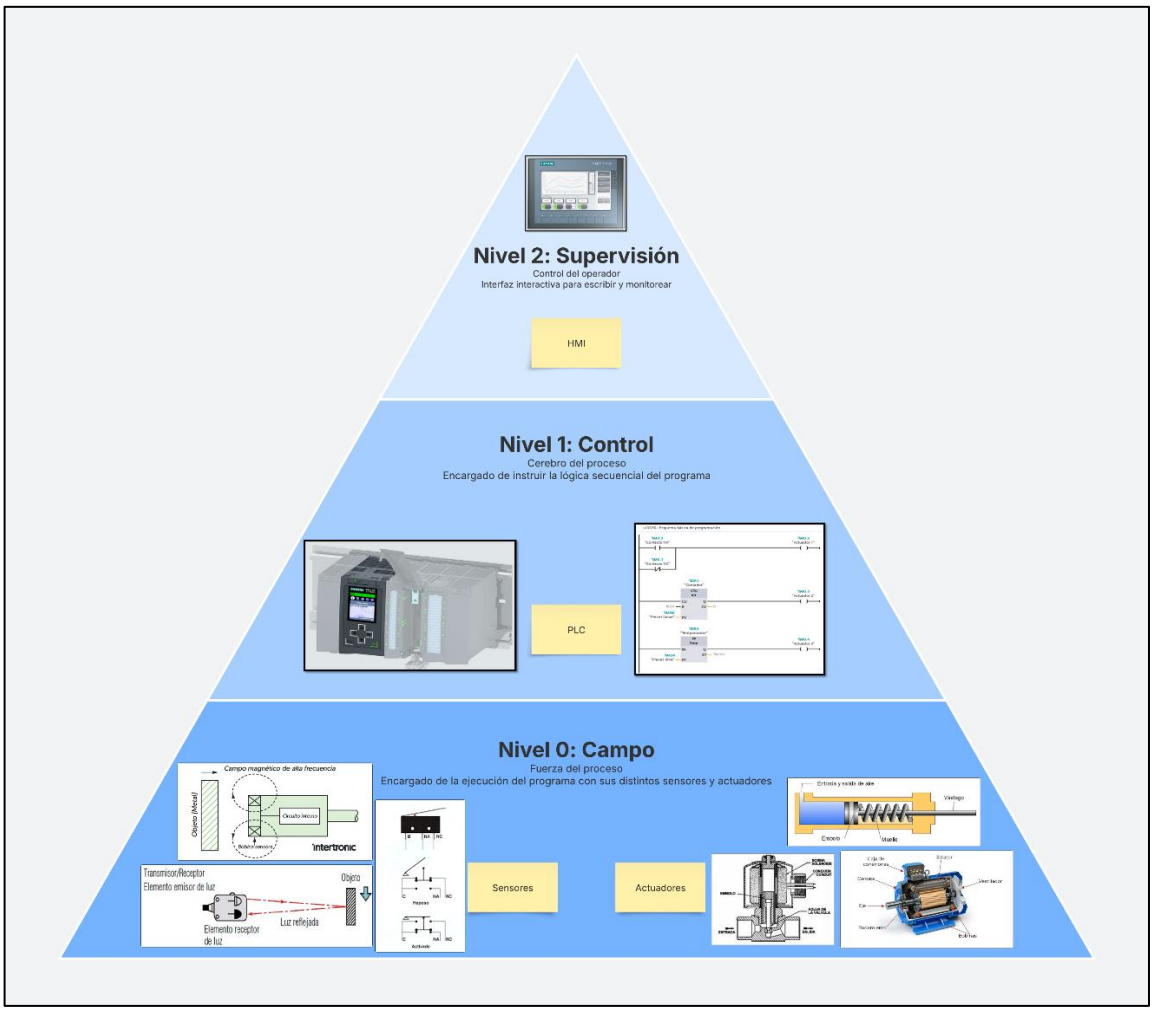
Figura 1.6 - Factory I/O - diversos entornos de control programable

Se complementa perfectamente con el Software TIA Portal, al poder conectar entradas y salidas que se comandarán mediante la programación. Cuenta con integración directa del hardware y software de Siemens, para la implementación de estos en los proyectos creados.

1.3.6 Rol y función de los distintos elementos que componen un sistema de control programado

Dentro de la jerarquía por la cual se rige un sistema de control programado se aprecia la siguiente estructura:

- Nivel de campo: Donde se ubican todos los sensores y actuadores, siendo en este caso la fuerza industrial del sistema de control programado, simulado por el software Factory I/O.
- Nivel de control: es el cerebro del proceso, encargado de instruir la lógica secuencial del programa y escribir en el nivel de campo.
- Nivel de supervisión: corresponde a la interfaz interactiva con el operador, aquí se ubica la pantalla HMI, donde su rol es escribir por sobre el nivel de control para ejecutar las acciones en base al modelado de la programación.



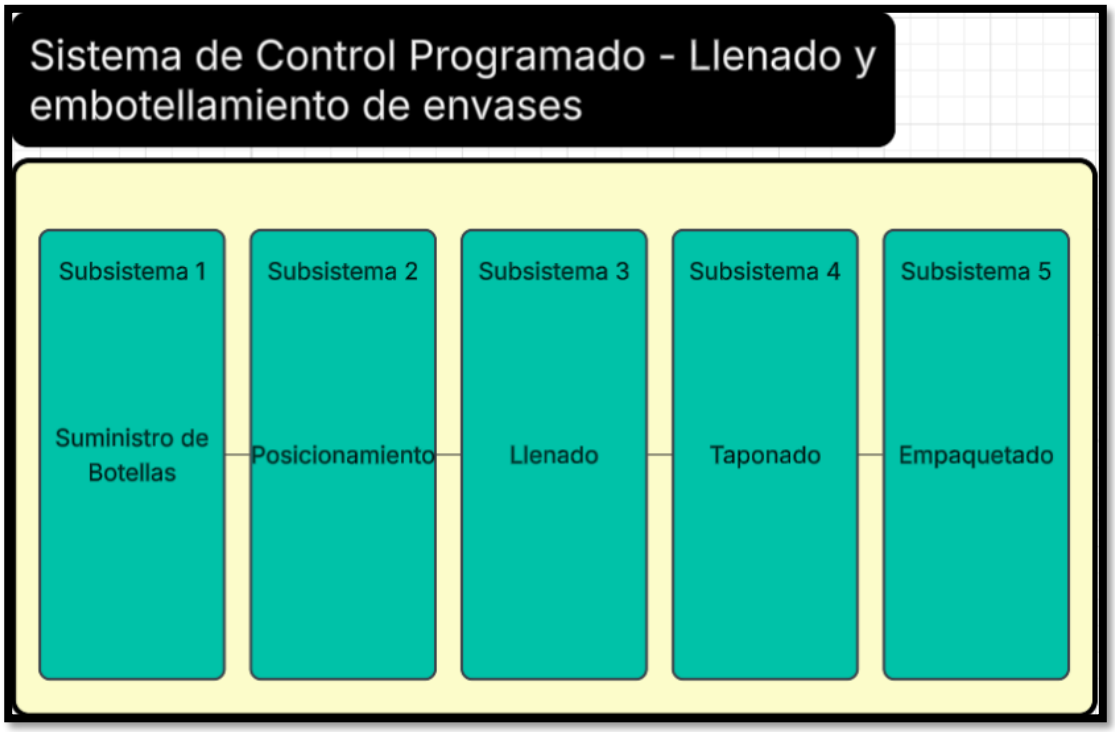
Fuente: Elaboración según ISA-5.1 con diseño propio a partir de imágenes de diversos autores/catálogos técnicos (adjuntados en bibliografía).

Figura 1.7 - Triángulo de jerarquía de un sistema de control industrial programado.

Como se puede observar en la figura 1.7, este sistema responde a un orden de jerarquía, que es imprescindible seguir para la correcta ejecución del sistema de control industrial programado.

1.4 SIMULACIÓN Y CONTROL DE UNA LÍNEA DE EMBOTELLADO

Proceso industrial que se va a controlar mediante los elementos anteriormente señalados, donde es crucial el conocimiento de los bloques secuenciales que componen el sistema.



Fuente: Creación propia.

Figura 1.8 - Sistema de llenado y embotellamiento de envases.

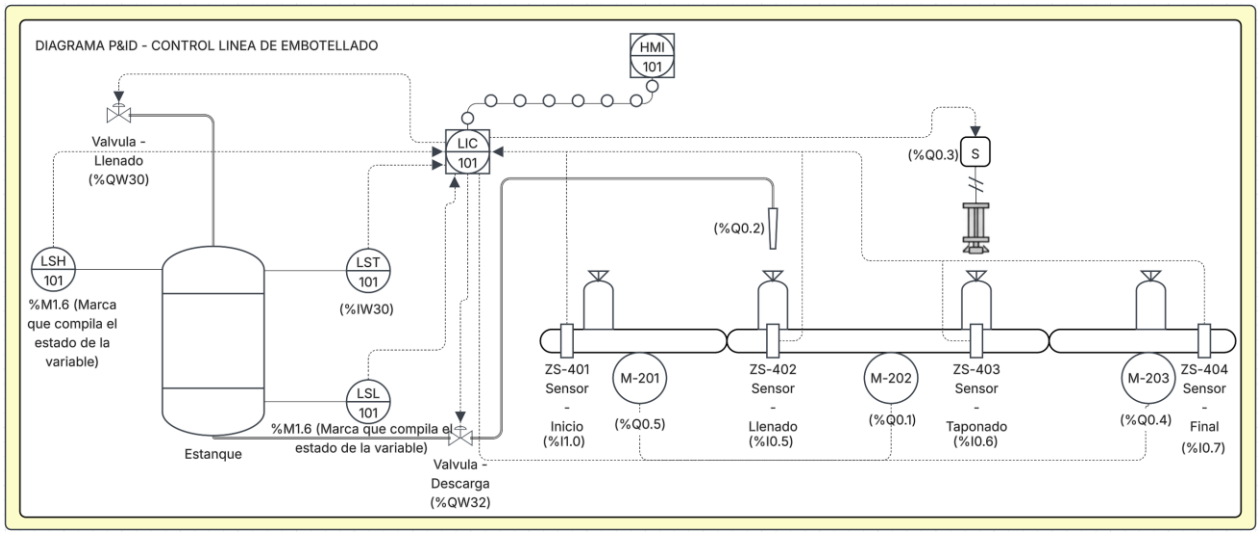
Se utilizan diversos subsistemas que en su conjunto realizan el proceso de llenado y embotellamiento de envases, dentro de dichos subsistemas se encuentran:

- Suministro de botellas, punto de partida encargado de alimentar la línea principal con botellas vacías de forma ordenada y continua.
- Posicionamiento, continuación directa donde se avanza hasta llegar a la estación de llenado, donde se detiene con precisión.

- Llenado, con la botella en posición se dosifica la cantidad de líquido correspondiente.
- Taponado, con la botella llena avanza a la siguiente estación donde se coloca la tapa y su respectivo sellado.
- Empaquetado, las botellas que superan el control de calidad se acumulan en una fila, cuando estas alcanzan el número necesario para formar un paquete, el flujo se detiene y un mecanismo las transfiere a una caja.

1.5 DIAGRAMA P&ID – CONTROL LÍNEA DE EMBOTELLADO

Para poder tener claridad sobre el proceso que se desea crear, se define con base en los subsistemas descritos en la sección 1.4, el diagrama P&ID respectivo:



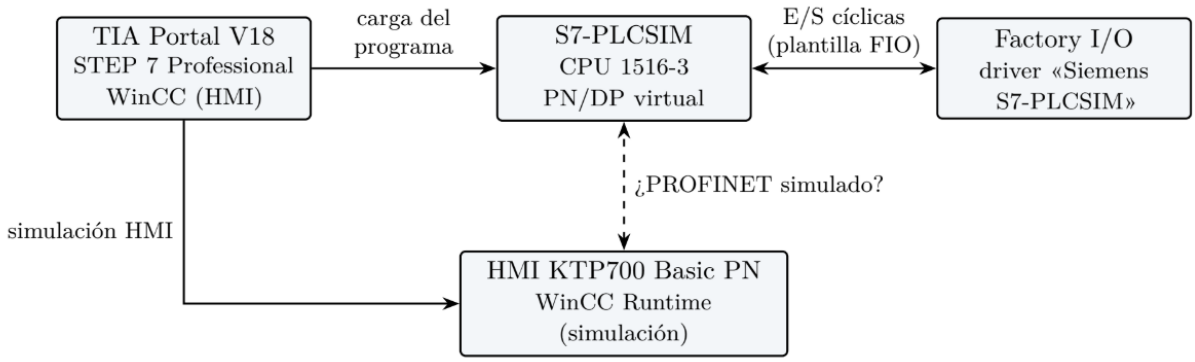
Fuente: Diseño propio.

Figura 1.9 - Diagrama P&ID – Control línea de embotellado.

Como se observa en la figura 1.9, bajo la norma ANSI/ISA 5.1, el diagrama P&ID contempla los diversos sensores y actuadores así como su conexionado, para poder ser implementado en la escena a crear en Factory I/O, el cual sirve como guía activa en el proceso de creación de la escena en Factory I/O.

1.6 ARQUITECTURA DE LA SIMULACIÓN

Para validar la lógica de control y la supervisión del proceso, se estructuró un ecosistema virtual. En la siguiente figura se detalla la arquitectura de comunicación y flujo de datos entre los tres núcleos de software utilizados:



Fuente: Diseño propio.

Figura 1.10 - Arquitectura de la simulación.

La figura 1.10 detalla la interacción continua entre las plataformas, fundamentada en base a los siguientes enlaces operativos:

Carga del programa: desde el entorno TIA Portal V18, se realiza la descarga de la lógica de control y la configuración de hardware hace el S7-PLCSIM, el cual emula el comportamiento de la CPU 1516-3 PN/DP virtual.

Enlace de E/S cíclicas: el intercambio de señales físicas entre el controlador virtual y los actuadores / sensores del entorno 3D se ejecuta de forma ininterrumpida utilizando el controlador de comunicación específico garantizando la actualización del estado de la planta en cada ciclo del programa.

Red de datos y PROFINET simulado: la supervisión telemétrica se gestiona mediante el enlace entre el controlador S7-PLCSIM y el emulador de la pantalla HMI KTP700. Al carecer de infraestructura de red física, este enlace se estable mediante un PROFINET simulador. Esto implica que el sistema virtualiza el protocolo de ethernet industrial utilizando interfaces lógicas internas y la capa TCP/IP del sistema operativo. De esta manera, el intercambio de datos HMI-PLC se enruta internamente por la memoria del equipo.

1.7 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Para el correcto diseño y simulación del proyecto, se define el objetivo general y los objetivos específicos.

1.7.1 Objetivo general

Diseñar mediante simulación un sistema de control para una línea de embotellado, con un PLC Siemens S7-1500 y una HMI programados en TIA Portal y un entorno virtual 3D en Factory I/O.

1.7.2 Objetivos específicos

a. Describir los fundamentos de un sistema de control programado y las herramientas de simulación utilizadas.
b. Construir la escena virtual de la línea de embotellado y vincularla con el PLC simulado.
c. Programar la lógica secuencial de la línea y el lazo de control de nivel de estanque.
d. Desarrollar una interfaz HMI de operación, supervisión y alarmas.
e. Estimar el costo del diseño de la simulación.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

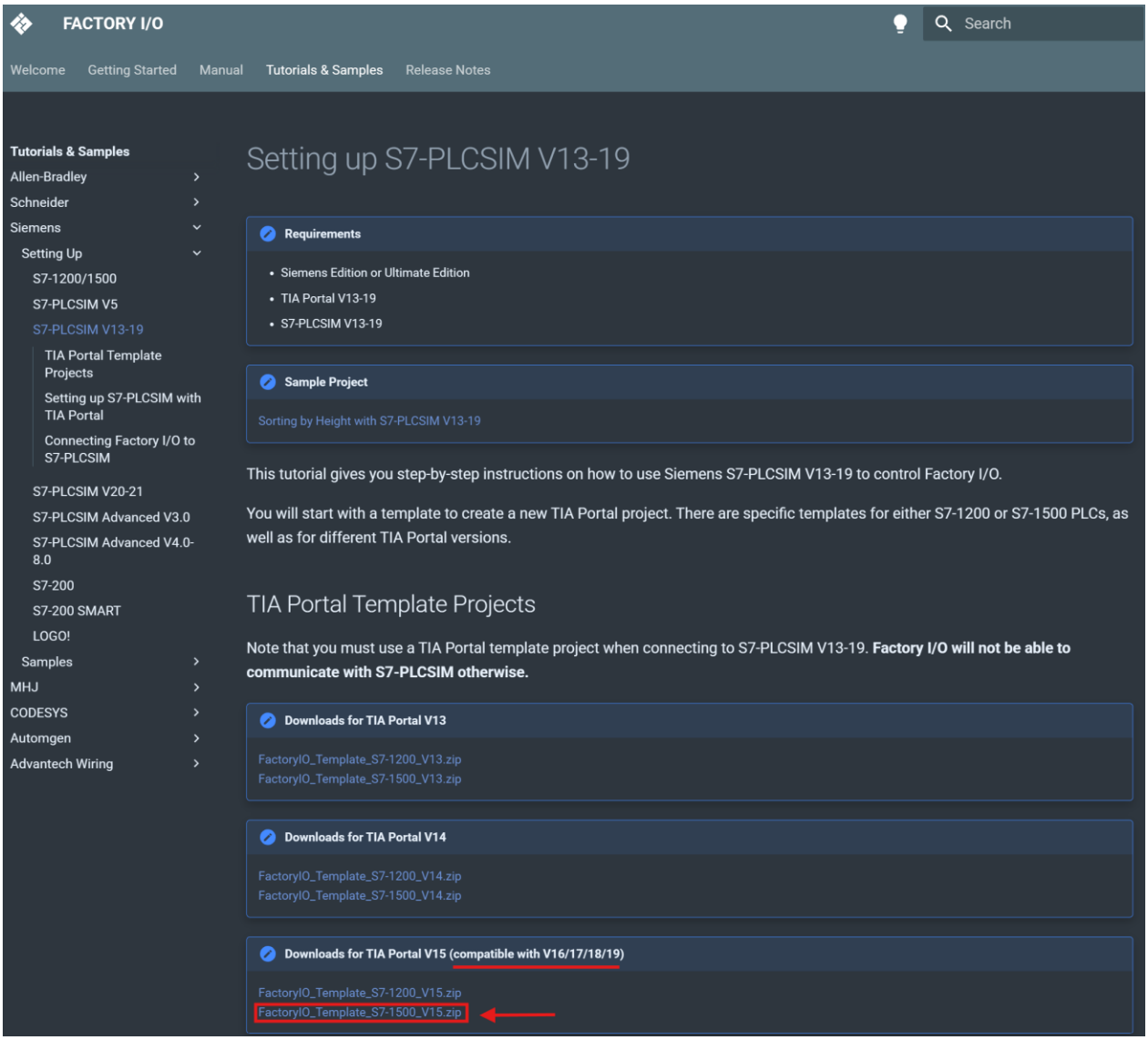
El siguiente capítulo da a conocer el proceso de la solución a la problemática a través del desarrollo y la documentación de una aplicación práctica e integral que sirve como modelo y guía metodológica mediante la creación de un sistema de control industrial utilizando software de Siemens y la herramienta de simulación Factory I/O.

2.1 ANTESALA A LA PROGRAMACIÓN

Se estructuran y detallan los requerimientos previos para empezar a generar la programación sobre los elementos descritos, donde se definen la vinculación del software, creación y enlace de variables.

2.1.1 Plantilla para vinculación

Para realizar la vinculación respectiva es necesario descargar una plantilla oficial, entregada por los mismos desarrolladores del Software Factory I/O. Por ende, es necesario ingresar a https://docs.factoryio.com/tutorials/siemens/setting-up-s7-plcsim-v13/ y destacar que en el enlace se presentan diferentes versiones, donde se debe seguir las instrucciones respectivas:



Fuente: Real Games – Factory I / O (2026). URL: https://docs.factoryio.com/tutorials/siemens/setting-up-s7-plcsim-v13/

Figura 2.1 - Página para descargar la plantilla.

Como se observa en la figura 2.1 es necesario ubicarse en la sección de “TIA Portal Template Projects”, y descargar la versión compatible con el software de programación TIA Portal, además de escoger igualmente el modelo de PLC a utilizar, que se presenta en 2 opciones, siendo el S7-1200 y S7-1500.

La plantilla actúa como un puente crítico en la comunicación, sin ella, PLCSIM funciona solamente con TIA Portal, por ende, la plantilla preconfigurada, entregada por los desarrolladores de Factory I/O rompe tal aislamiento, permitiendo que datos externos, en este caso sensores y actuadores de la escena 3D configurada entren y salgan de la memoria del PLC simulado.

La plantilla en este caso trae bloques de función precargados que se encargan de gestionar el intercambio de datos cíclicos entre Factory I/O y PLCSIM. Las plantillas incluyen el hardware hardware ya configurado para 2 modelos, en este caso como se mencionaba anteriormente el S7-1200 y S7-1500. Esto es necesario, ya que, TIA Portal y PLCSIM no tienen un protocolo nativo abierto para conectarse con cualquier simulador 3D.

Esta plantilla va a generar las siguientes limitaciones:

- Dependencia de la versión, en este caso, la plantilla base que entrega Factory I/O está con la versión V15, sin embargo, desde la misma plataforma se indica que esta se debe utilizar con la versión V18 tanto en PLCSIM como en TIA Portal ya que es compatible con dicha versión y otras más como se indica en la figura 2.1 “Downloads for TIA Portal V15 (Compatible with V16/17/18/19)”, sin embargo, podría generar ciertas advertencias y falta de datos en la migración si se abre la plantilla con otras versiones no compatibles.

- Restricción de hardware, ya que, como anteriormente se plantea, solo cuenta con 2 CPU a elegir, en este caso entre S7-1200 y S7-1500, y el hecho de cambiar de CPU a mitad de un proyecto, requiere reconfigurar la comunicación manualmente, para no generar conflictos.

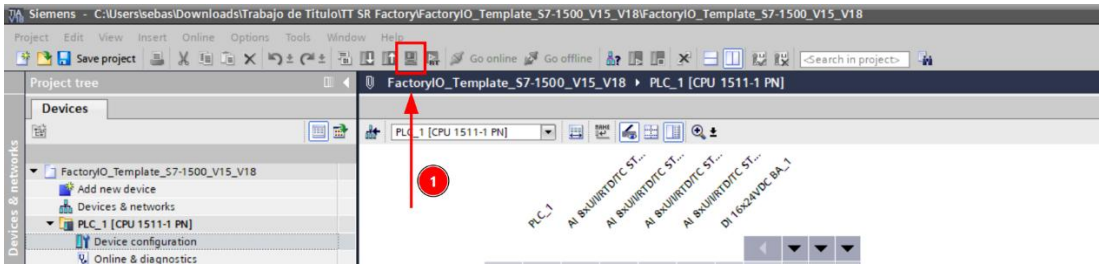
- Dificultad en la integración, esto referido a proyectos ya empezados o concluidos, ya que, la plantilla está pensada para funcionar como la base de un proyecto

nuevo, no existente, por lo que si ya se tiene un proyecto finalizado el hecho de querer implementarle el Software de Factory I/O hace que sea más complejo de lo habitual.

2.1.2 Vinculación entre TIA Portal – PLCSIM – Factory I/O

Es necesario abrir la plantilla descargada, si es una versión más nueva, como es en este caso, con la V18, al abrir el archivo lo primero que notifica el programa es la necesidad de actualizar dicha plantilla, a la cual se debe aceptar y comenzará la migración de, en este caso la versión V15 a la V18.

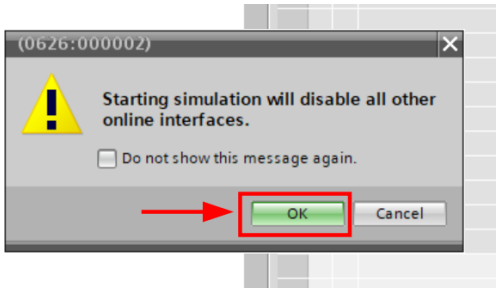
Posteriormente es necesario seguir los siguientes pasos:



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.2 - Iniciar simulación.

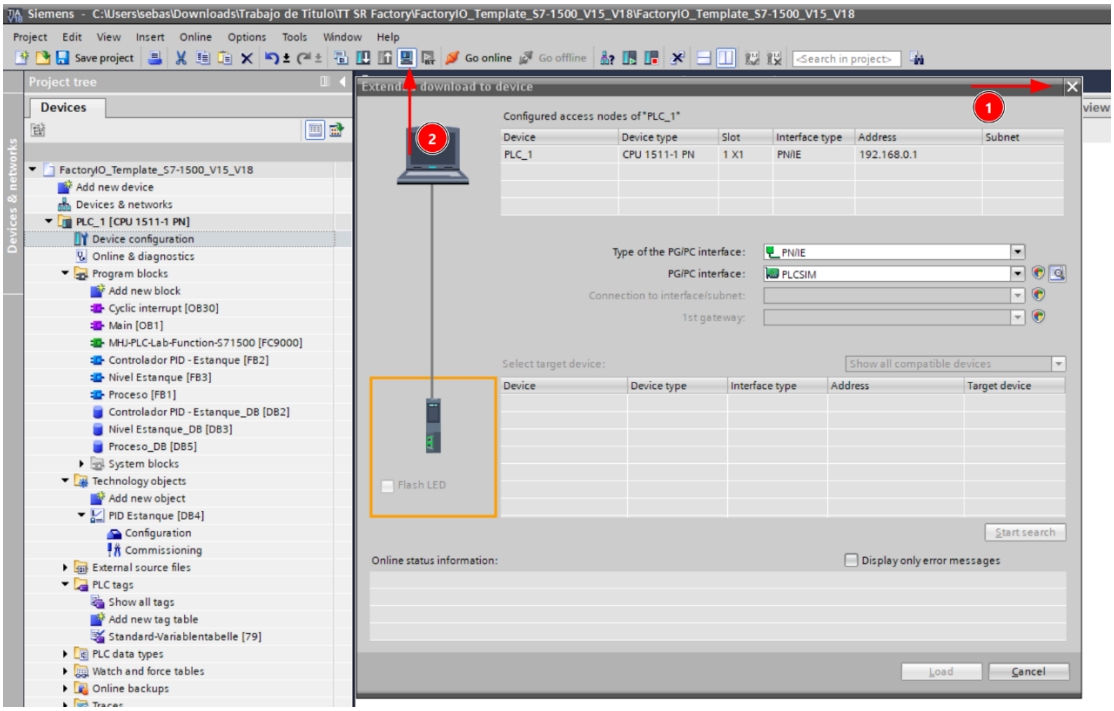
Como se indica en la figura 2.2, es necesario iniciar la simulación, para esto se debe generar la conexión con la extensión PLCSIM.



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.3 - Utilizar PLCSIM como interfaz online única.

Como se indica en la figura 2.3, aparecerá un mensaje avisando que se van a desactivar todas las demás interfaces online, se selecciona “OK”, ya que no se necesita de otras interfaces, solamente la de PLCSIM para generar el PLC virtual.



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.4 - Volver a iniciar simulación.

Como se indica en la figura 2.4, luego de la advertencia, se abrirá una pestaña, cuya función es descargar los datos hacia el dispositivo, como se debe descargar a un PLC virtual, es necesario cerrar la pestaña (1), para luego volver a iniciar la simulación (2).



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal PLCSIM V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.5 - Creación del PLC virtual.

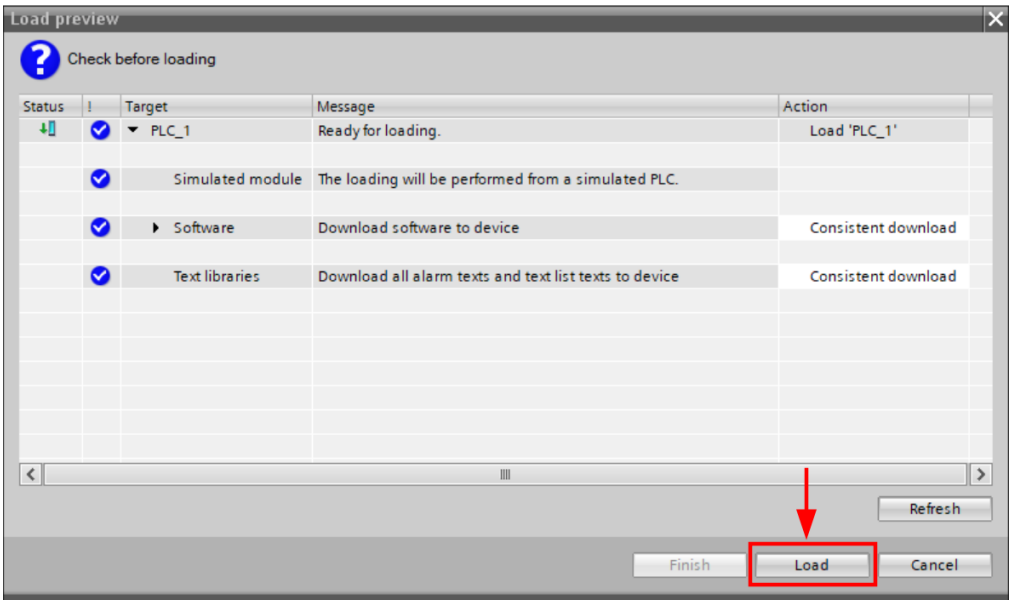
Como se indica en la figura 2.5, al iniciar simulación nuevamente, se abre la extensión PLCSIM, esta vez creando un PLC virtual, el cual se usa como hardware simulado.



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.6 - Establecer conexión hacia el dispositivo.

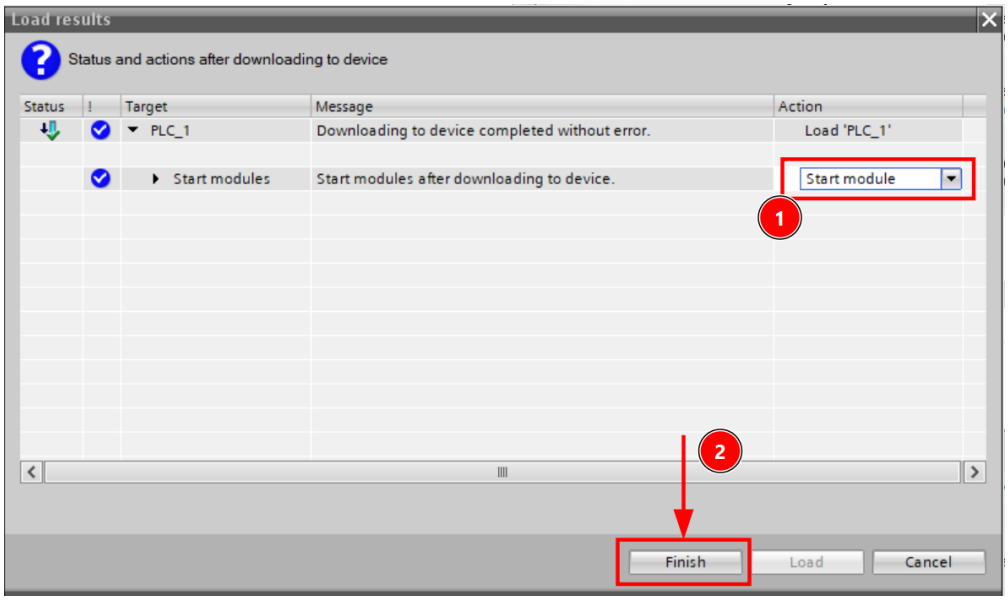
Como se indica en la figura 2.6, en TIA Portal se abrirá una pestaña, solicitando confirmación para la conexión con el dispositivo virtual generado por PLCSIM:



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.7 - Previsualización de la carga paso 1.

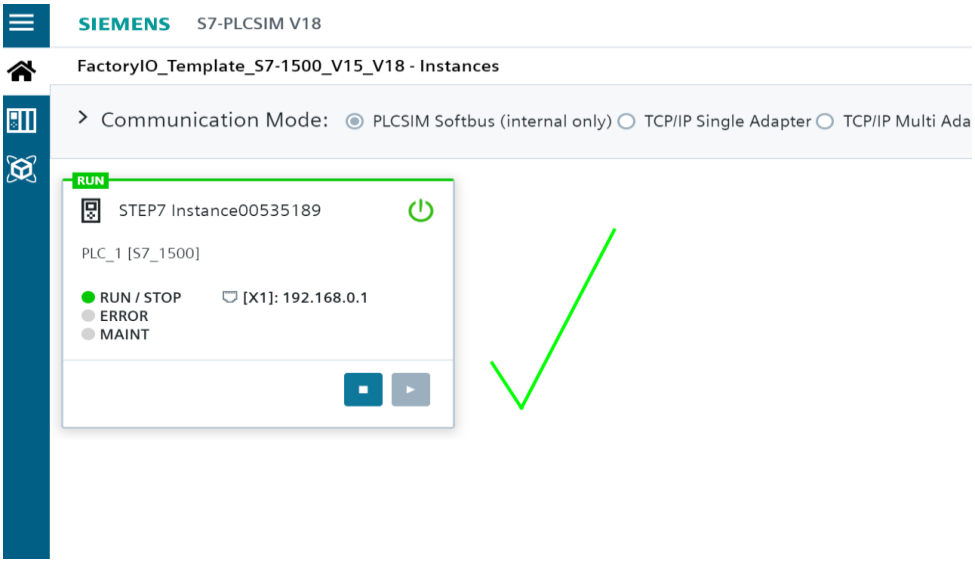
Como se indica en la figura 2.7, se abrirá una pestaña donde indicará una previsualización referente a chequeos realizados, indicando que no haya errores en la configuración a cargar, por ende, es necesario comprobar que todo esté correcto (azul), luego se selecciona “load”.



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.8 - Previsualización de la carga paso 2.

Como se indica en la figura 2.8, se define el estado antes de cargar la configuración hacia el dispositivo, en este caso se selecciona “Start module” (1), para que al cargar dicha información inicie directamente la programación en el PLC simulado, luego se selecciona “Finish” (2).

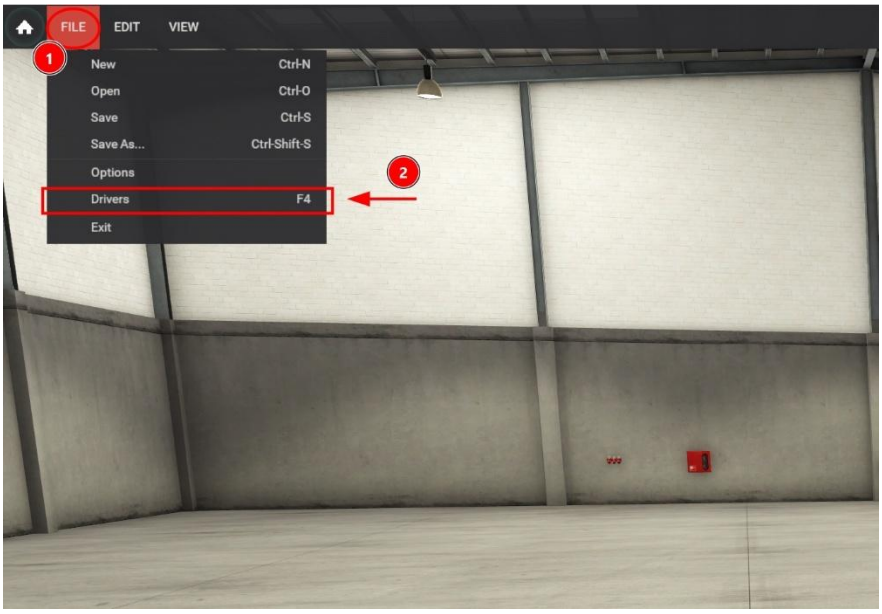


Fuente: captura de pantalla de TIA Portal PLCSIM V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.9 - Simulación PLC virtual funcionando.

Como se indica en la figura 2.9, luego de lo realizado anteriormente, la extensión PLCSIM debiese indicar que el PLC Virtual se encuentra ejecutando la programación, indicando una correcta vinculación con el Software de TIA Portal.

Lista la configuración TIA Portal – PLCSIM, ahora se procede a enlazar con el software de Factory I/O:



Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.10 - Acceso a las interfaces de comunicación.

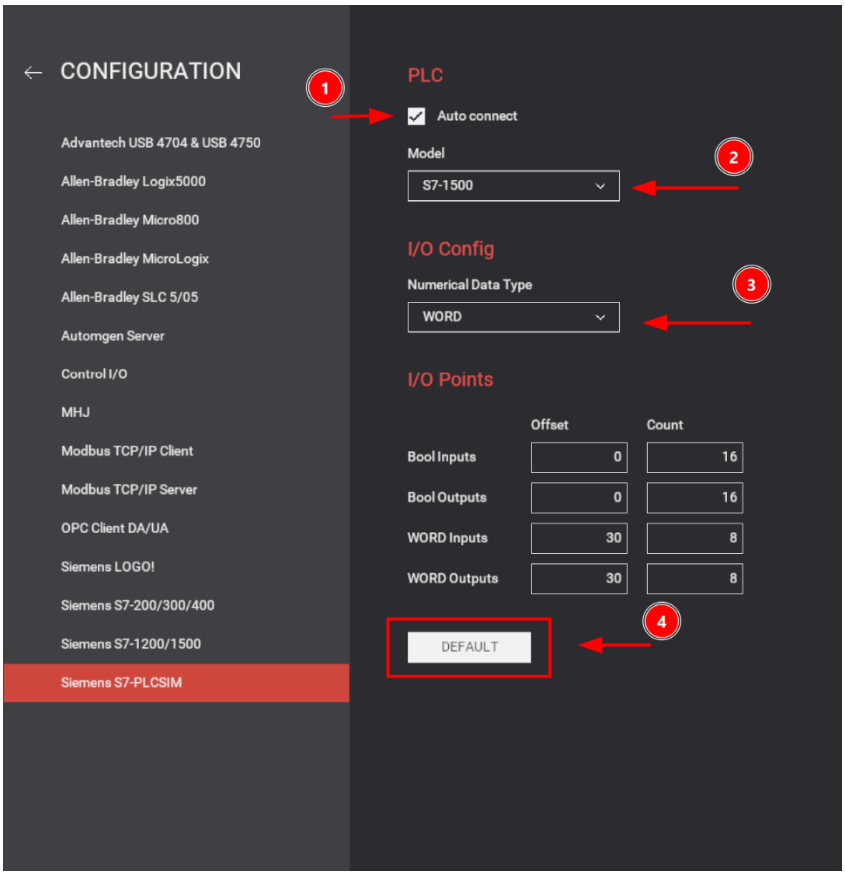
Como se indica en la figura 2.10, se abre el software de Factory I/O, se selecciona “File” (1), luego se selecciona “Drivers” (2), y así iniciar la configuración para el enlace.



Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.11 - Acceso a la configuración.

Como se indica en la figura 2.11, en la pestaña abierta, se selecciona la esquina superior derecha para acceder a la configuración (1). Y así definir parámetros específicos para el enlace.



Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.12 - Interfaz de configuración.

Como se indica en la figura 2.12, es necesario seleccionar “Siemens S7-PLCSIM”, debido a que se está vinculando a través de dicha extensión el PLC, luego activar “Auto connect” (1), esto permite que, al estar activada, Factory I/O va a intentar establecer conexión con el PLCSIM automáticamente cuando se inicie la simulación o se abra el controlador.

Luego se selecciona el modelo (2), necesario para la correcta compatibilidad, ya que cada familia del PLC gestiona la memoria y protocolos de comunicación de forma diferente.

A continuación, se define el tipo de dato numérico (3), donde el formato en el que Factory I/O debe enviar y recibir los valores analógicos.

Y finalmente en los puntos de entradas y salidas, se dejan en “predeterminado” (4), ya que esto alinea el controlador con la configuración que trae la plantilla oficial, asegurando que el mapa de memoria coincida correctamente.



Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

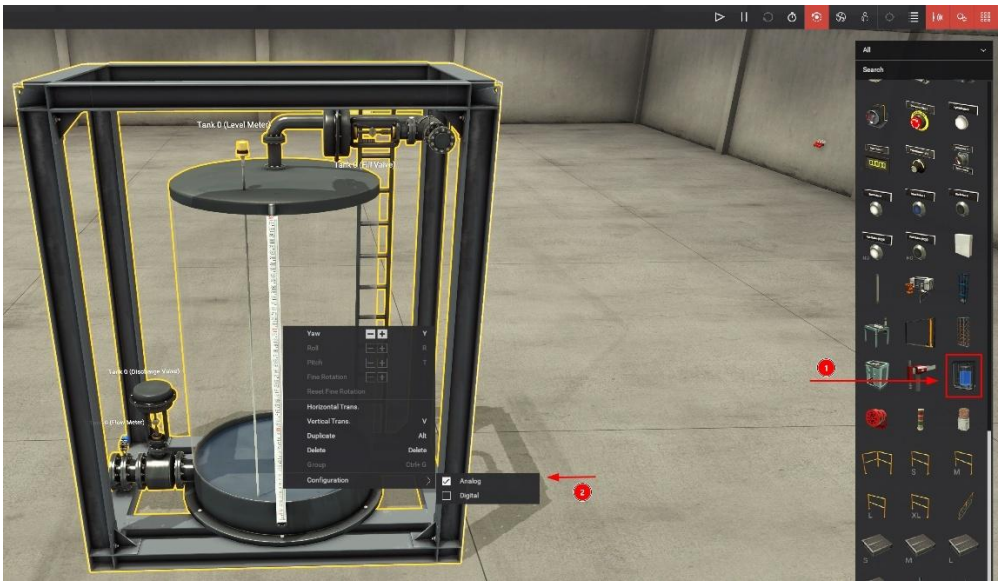
Figura 2.13 - Interfaz del controlador.

Como se indica en la figura 2.13, es crucial observar en la esquina superior izquierda, que aparezca el “check” en color verde, esto indica que se encuentra totalmente vinculado con la extensión PLCSIM.

Además, se puede observar cómo se presentan tanto las entradas como las salidas, que van a variar dependiendo de los elementos utilizados en la escena.

2.1.3 Creación de la escena en Factory I/O

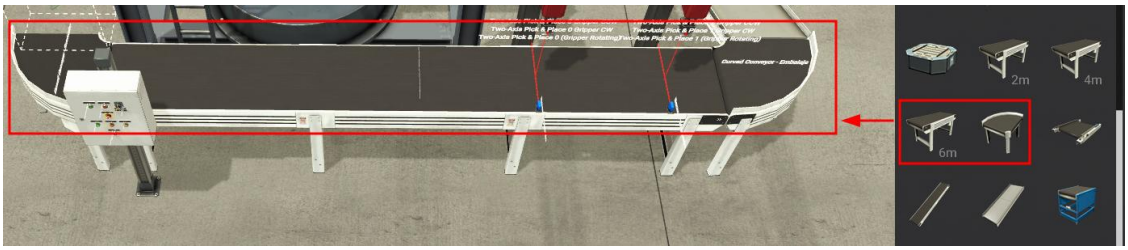
A continuación se detallan los pasos a seguir para la construcción de la escena necesaria para generar las entradas y salidas correspondientes que se requieren para realizar el proceso de control programado.



Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.14 - Configuración del estanque.

Como se indica en la figura 2.14, se selecciona el estanque de la librería aledaña (1), una vez desplazado a la escena posicionar en un lugar amplio, luego de eso hacer clic derecho para configurar dicho estanque como analógico (2), esto ayuda a crear las entradas y salidas analógicas necesarias para tener un control sobre este elemento en particular.

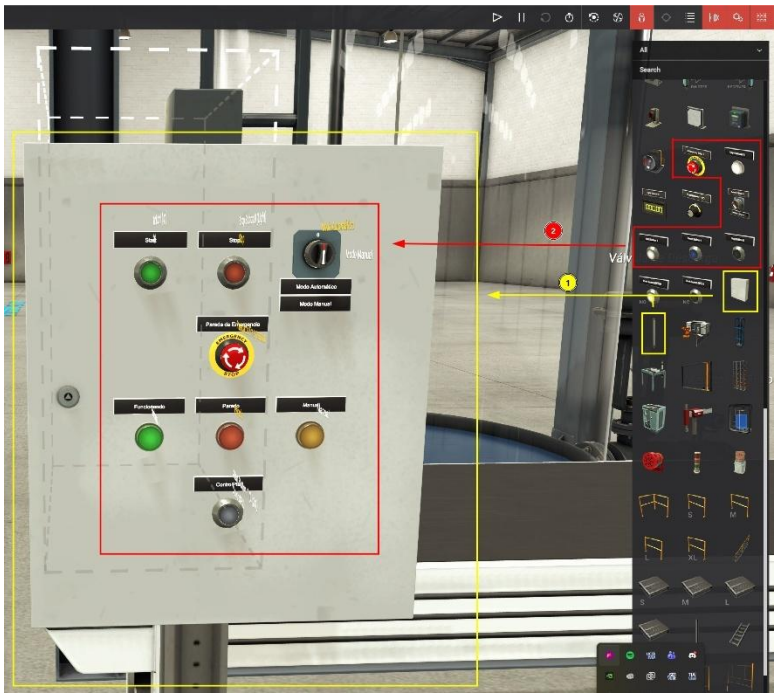


Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.15 - Implementación de la cinta transportadora.

Como se indica en la figura 2.15, se selecciona la cinta transportadora indicada, en este caso la extensión que cuenta con 6 metros y sus correspondientes esquinas, estas cintas

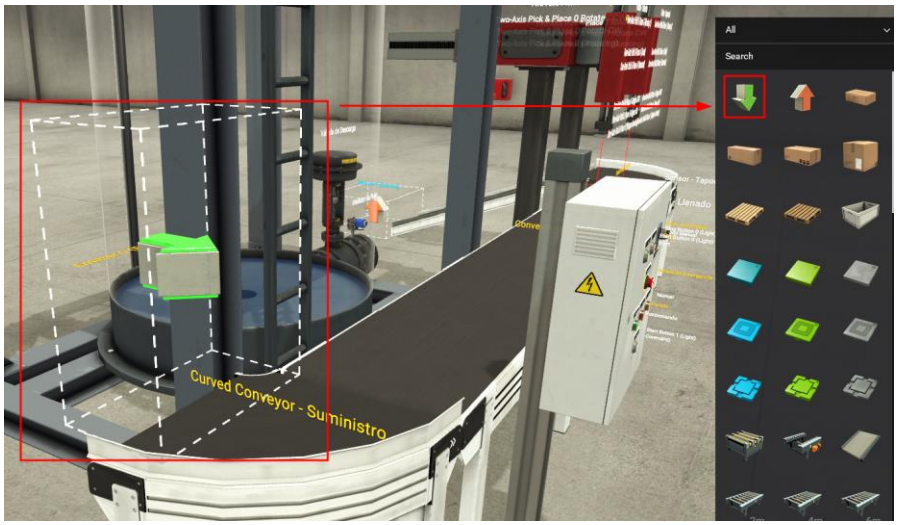
transportadoras cuentan con un motor cada una de ellas, cuyo accionamiento está pensado como una salida de valor discreto en su accionamiento para su control de manera independiente, sin embargo, se configuran para que estas vayan todas en una sola dirección.



Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.16 - Creación del tablero eléctrico.

Como se indica en la figura 2.16, se selecciona el vástago y el tablero correspondiente (1), para luego trasladar los pulsadores, luces piloto, paradas de emergencia y selectores correspondientes en base al modo de funcionamiento que se necesite dar en esta simulación (2), cabe destacar que cada elemento viene con su rotulado incluido el cual también es modificable.

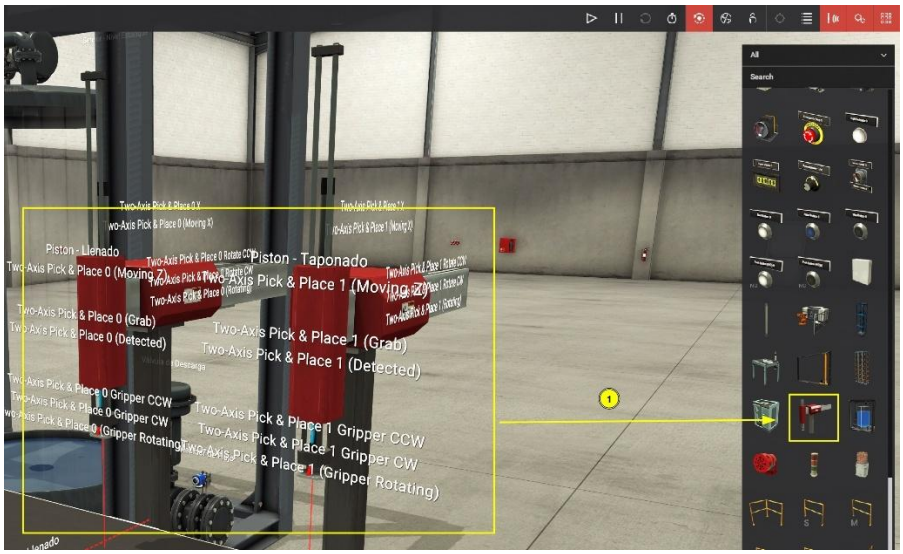


Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.17 - Función emisor.

Como se indica en la figura 2.17, se debe implementar el emisor, este se encarga de generar el producto o elemento sujeto a nuestro control, que en este caso por limitaciones de software, Factory I/O como tal no puede generar botellas, por ende, se dispondrá de cajas rectangulares para la simulación.

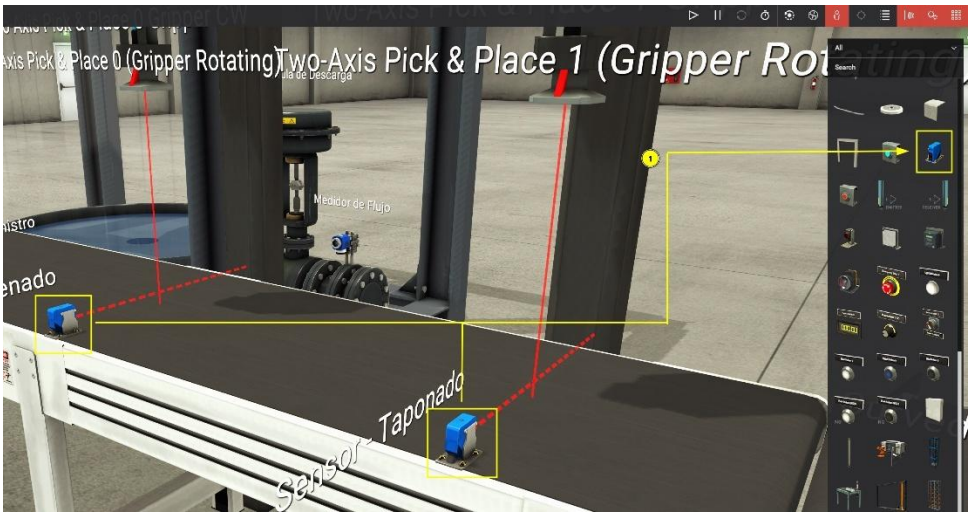
Este emisor es configurable, para ser accionado mediante la programación, simulando el proceso de suministro a la línea de producción.



Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.18 - Pistones de llenado y taponado.

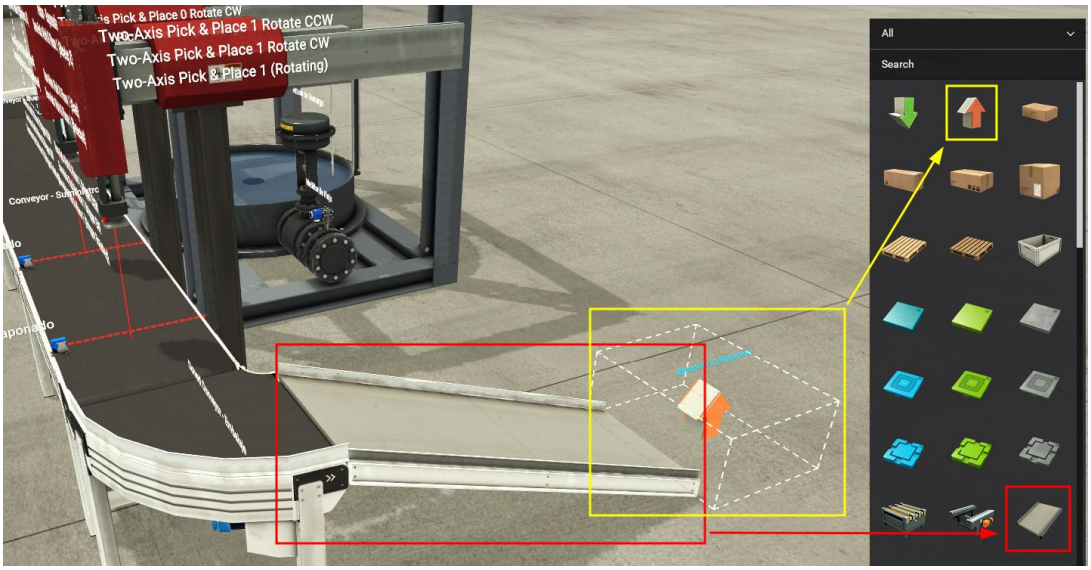
Como se indica en la figura 2.18, se seleccionan los pistones respectivos (1), donde en este caso solo se controla el pistón, necesario para simular tanto la inyección de líquido a las botellas, como el taponado de las botellas respectivas.



Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.19 - Sensores de posicionamiento llenado - taponado.

Como se indica en la figura 2.19, se deben implementar los sensores de posición (1), en este caso encargados de detectar cuando la botella llegue tanto al punto de llenado y al de taponado y así empezar a realizar el siguiente paso secuencial.

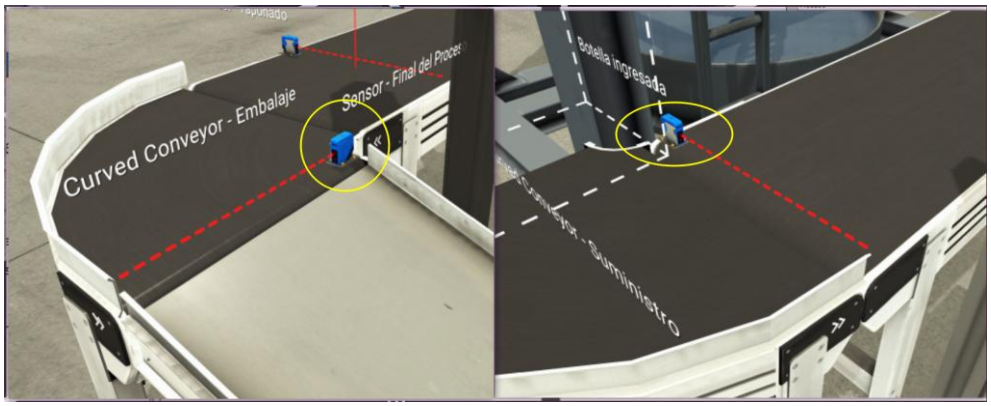


Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.20 - Rampa hacia el embalaje y removedor.

Como se indica en la figura 2.20, se implementa la sección de embalaje, donde se utiliza una rampa, la cual llevará las botellas hacia el removedor, el cual, es una herramienta que permite eliminar las botellas para que estas no se acumulen infinitamente, simulando el embalaje.

Luego se determinan dos sensores más, asociados al ingreso y salida de la línea de producción por parte de las botellas, los cuales son esenciales para la determinación y conteo de los parámetros de producción.



Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.21 - Sensor final proceso y sensor botella ingresada.

Con esto queda creada la escena, en la cual trabajar y traspasar la información respectiva:



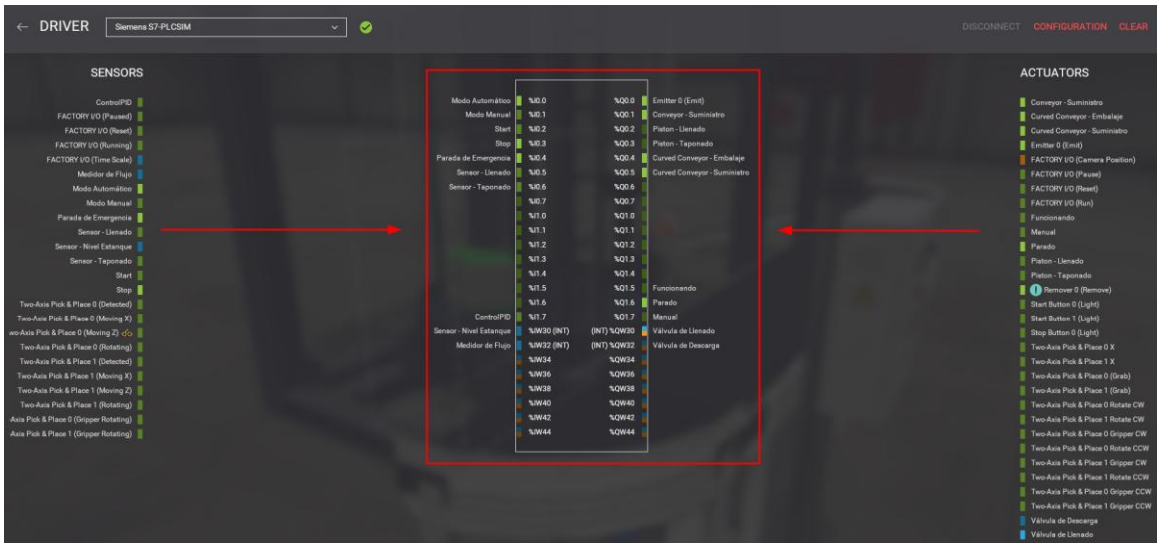
Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.22 - Escena final del proceso.

Como se indica en la figura 2.22, se observa la escena final, la cual contempla el proceso de embotellado, que representa los elementos de campo que se controlarán desde el PLC.

2.1.4 Traspaso de información a controlar

Con la escena creada, esto genera de manera automática las entradas y salidas asociadas a todos los elementos de la escena, haciendo de manera fácil e intuitiva implementarlas en las entradas y salidas del PLC tal como en la siguiente figura:

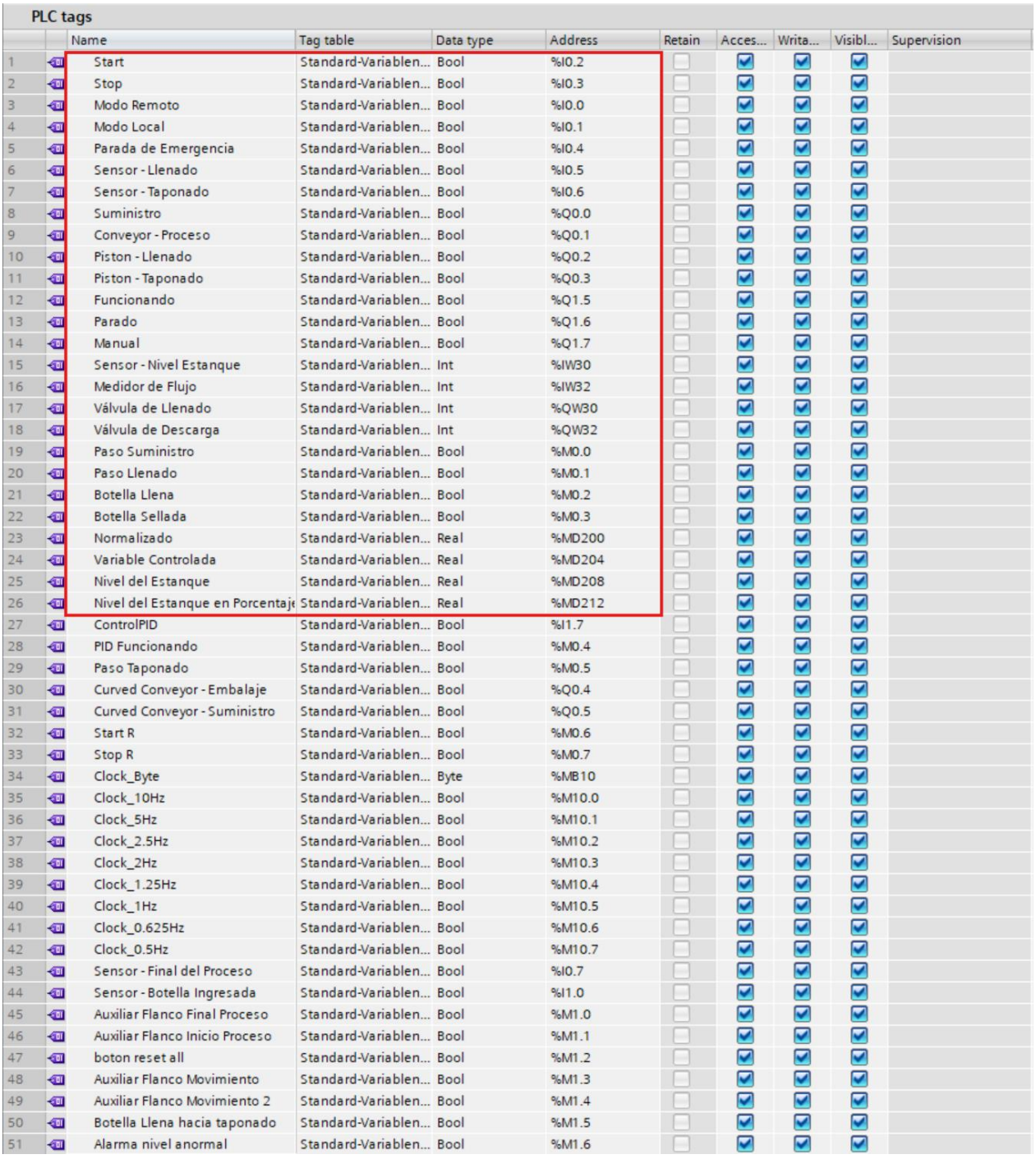


Fuente: captura de pantalla de Factory I/O [v2.5.8] (Real Games) con escena propia.

Figura 2.23 - Asignación de entradas y salidas.

Como se indica en la figura 2.23, con las entradas y salidas generadas automáticamente con los elementos de la escena, es necesario asociarlas a cada entrada y salida del PLC.

Luego de esto es necesario ir a TIA Portal para traspasar dicha información, ya que, son esas direcciones de salidas y entradas que se controlan y utilizan para la programación.



PLC tags

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervision
1	Start	Standard-Variablen...	Bool	%I0.2		☑	☑	☑	
2	Stop	Standard-Variablen...	Bool	%I0.3		☑	☑	☑	
3	Modo Remoto	Standard-Variablen...	Bool	%I0.0		☑	☑	☑	
4	Modo Local	Standard-Variablen...	Bool	%I0.1		☑	☑	☑	
5	Parada de Emergencia	Standard-Variablen...	Bool	%I0.4		☑	☑	☑	
6	Sensor - Llenado	Standard-Variablen...	Bool	%I0.5		☑	☑	☑	
7	Sensor - Taponado	Standard-Variablen...	Bool	%I0.6		☑	☑	☑	
8	Suministro	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.0		☑	☑	☑	
9	Conveyor - Proceso	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.1		☑	☑	☑	
10	Piston - Llenado	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.2		☑	☑	☑	
11	Piston - Taponado	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.3		☑	☑	☑	
12	Funcionando	Standard-Variablen...	Bool	%Q1.5		☑	☑	☑	
13	Parado	Standard-Variablen...	Bool	%Q1.6		☑	☑	☑	
14	Manual	Standard-Variablen...	Bool	%Q1.7		☑	☑	☑	
15	Sensor - Nivel Estanque	Standard-Variablen...	Int	%IW30		☑	☑	☑	
16	Medidor de Flujo	Standard-Variablen...	Int	%IW32		☑	☑	☑	
17	Válvula de Llenado	Standard-Variablen...	Int	%QW30		☑	☑	☑	
18	Válvula de Descarga	Standard-Variablen...	Int	%QW32		☑	☑	☑	
19	Paso Suministro	Standard-Variablen...	Bool	%M0.0		☑	☑	☑	
20	Paso Llenado	Standard-Variablen...	Bool	%M0.1		☑	☑	☑	
21	Botella Llena	Standard-Variablen...	Bool	%M0.2		☑	☑	☑	
22	Botella Sellada	Standard-Variablen...	Bool	%M0.3		☑	☑	☑	
23	Normalizado	Standard-Variablen...	Real	%MD200		☑	☑	☑	
24	Variable Controlada	Standard-Variablen...	Real	%MD204		☑	☑	☑	
25	Nivel del Estanque	Standard-Variablen...	Real	%MD208		☑	☑	☑	
26	Nivel del Estanque en Porcentaje	Standard-Variablen...	Real	%MD212		☑	☑	☑	
27	ControlPID	Standard-Variablen...	Bool	%I1.7		☑	☑	☑	
28	PID Funcionando	Standard-Variablen...	Bool	%M0.4		☑	☑	☑	
29	Paso Taponado	Standard-Variablen...	Bool	%M0.5		☑	☑	☑	
30	Curved Conveyor - Embalaje	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.4		☑	☑	☑	
31	Curved Conveyor - Suministro	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.5		☑	☑	☑	
32	Start R	Standard-Variablen...	Bool	%M0.6		☑	☑	☑	
33	Stop R	Standard-Variablen...	Bool	%M0.7		☑	☑	☑	
34	Clock_Byte	Standard-Variablen...	Byte	%MB10		☑	☑	☑	
35	Clock_10Hz	Standard-Variablen...	Bool	%M10.0		☑	☑	☑	
36	Clock_5Hz	Standard-Variablen...	Bool	%M10.1		☑	☑	☑	
37	Clock_2.5Hz	Standard-Variablen...	Bool	%M10.2		☑	☑	☑	
38	Clock_2Hz	Standard-Variablen...	Bool	%M10.3		☑	☑	☑	
39	Clock_1.25Hz	Standard-Variablen...	Bool	%M10.4		☑	☑	☑	
40	Clock_1Hz	Standard-Variablen...	Bool	%M10.5		☑	☑	☑	
41	Clock_0.625Hz	Standard-Variablen...	Bool	%M10.6		☑	☑	☑	
42	Clock_0.5Hz	Standard-Variablen...	Bool	%M10.7		☑	☑	☑	
43	Sensor - Final del Proceso	Standard-Variablen...	Bool	%I0.7		☑	☑	☑	
44	Sensor - Botella Ingresada	Standard-Variablen...	Bool	%I1.0		☑	☑	☑	
45	Auxiliar Flanco Final Proceso	Standard-Variablen...	Bool	%M1.0		☑	☑	☑	
46	Auxiliar Flanco Inicio Proceso	Standard-Variablen...	Bool	%M1.1		☑	☑	☑	
47	boton reset all	Standard-Variablen...	Bool	%M1.2		☑	☑	☑	
48	Auxiliar Flanco Movimiento	Standard-Variablen...	Bool	%M1.3		☑	☑	☑	
49	Auxiliar Flanco Movimiento 2	Standard-Variablen...	Bool	%M1.4		☑	☑	☑	
50	Botella Llena hacia taponado	Standard-Variablen...	Bool	%M1.5		☑	☑	☑	
51	Alarma nivel anormal	Standard-Variablen...	Bool	%M1.6		☑	☑	☑	

Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.24 - Asignación de tags TIA Portal.

Como se muestra en la figura 2.24, teniendo asociadas las entradas y salidas en Factory I/O en TIA Portal se debe migrar dicha información, con las mismas direcciones ingresadas anteriormente, esto para que el control sea posible.

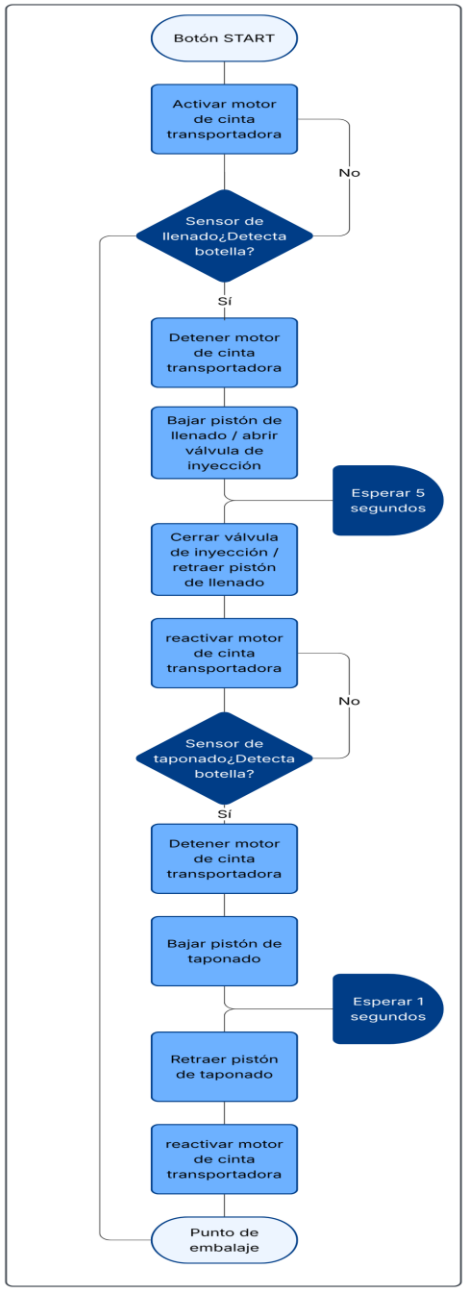
Las demás variables que se ven en la figura 2.24 que no están marcadas en el recuadro rojo, se añaden en procesos posteriores de la programación.

2.2 PROGRAMACIÓN DEL PROCESO

Se detalla la programación sobre la base de variables y entorno 3D simulado generados en la etapa previa.

2.2.1 Diagramas de flujo asociados a la rutina principal.

Este diagrama representa la secuencia operativa central y el comportamiento general del proceso automatizado, la cual es la encargada de gestionar el ciclo de producción continuo de la línea de embotellado.



Fuente: Creación propia.

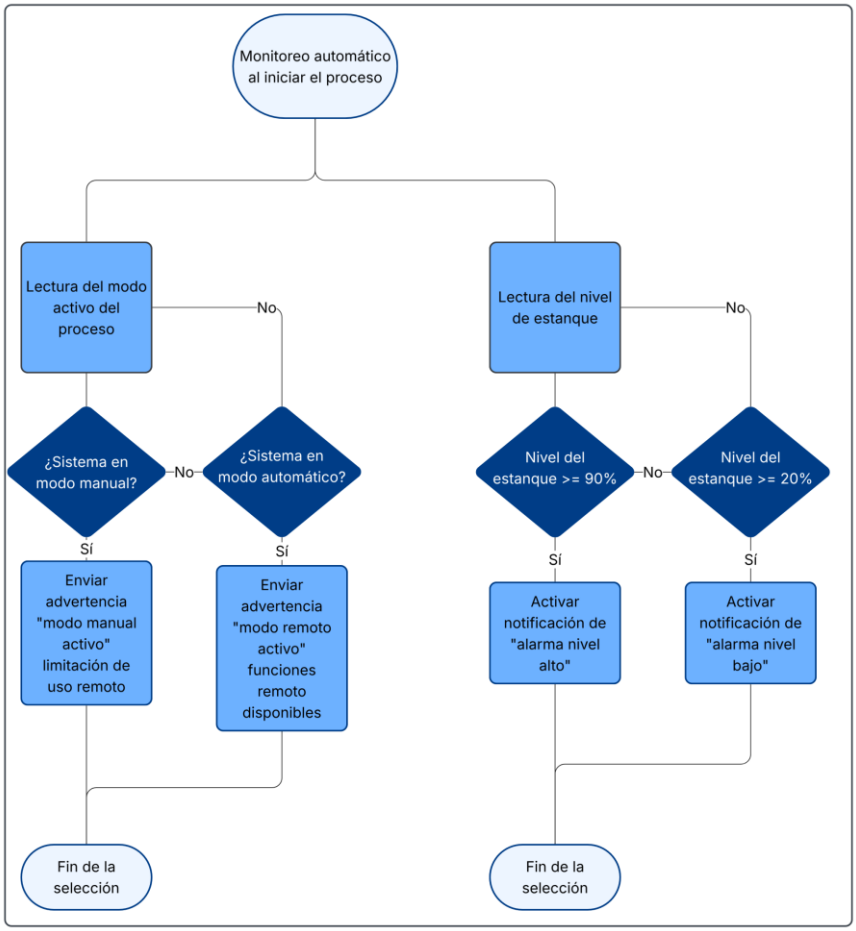
Figura 2.25 – Diagrama de flujo asociado a la rutina principal.

La lógica de la figura 2.25 describe cómo el sistema evalúa secuencialmente las señales de los sensores de posición para comandar el avance de las cintas transportadoras y la activación de los actuadores de llenado y taponado. Ambas estaciones, de llenado y taponado están a una

distancia distinta de la distancia a la que ingresan a la línea, por lo que nunca se sobrepondrán una sobre la otra.

2.2.2 Diagramas de flujo asociados a la rutina de advertencias / alarmas.

Este diagrama ilustra la lógica de diagnóstico, donde a diferencia del funcionamiento secuencial de la línea, esta rutina opera mediante decisiones en base a la variable a monitorear.



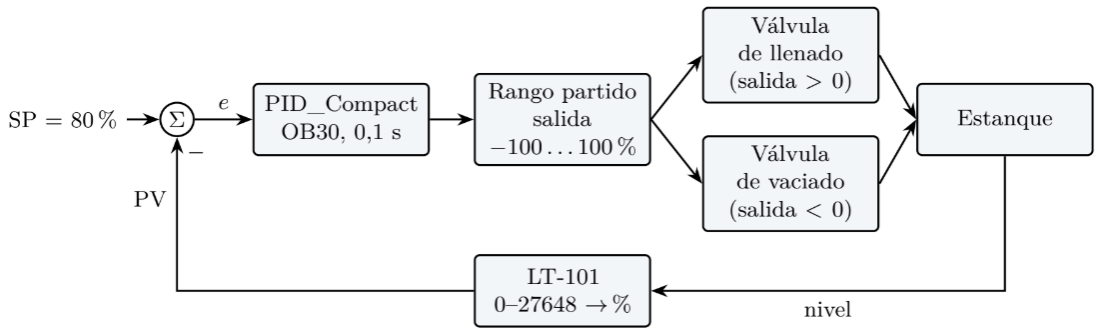
Fuente: Creación propia.

Figura 2.26 – Diagrama de flujo asociado a la rutina cíclica de advertencia / alarmas.

La lógica de la figura 2.26 describe cómo el controlador reacciona ante anomalías para indicar al operador mediante la pantalla HMI cuando una situación anómala o incorrecta de su estado está presente en el proceso y su acción sobre este.

2.2.3 Programación del control PID del estanque.

Para comprender la dinámica de regulación del estanque principal, resulta fundamental representar el comportamiento del sistema mediante un modelo gráfico de retroalimentación:

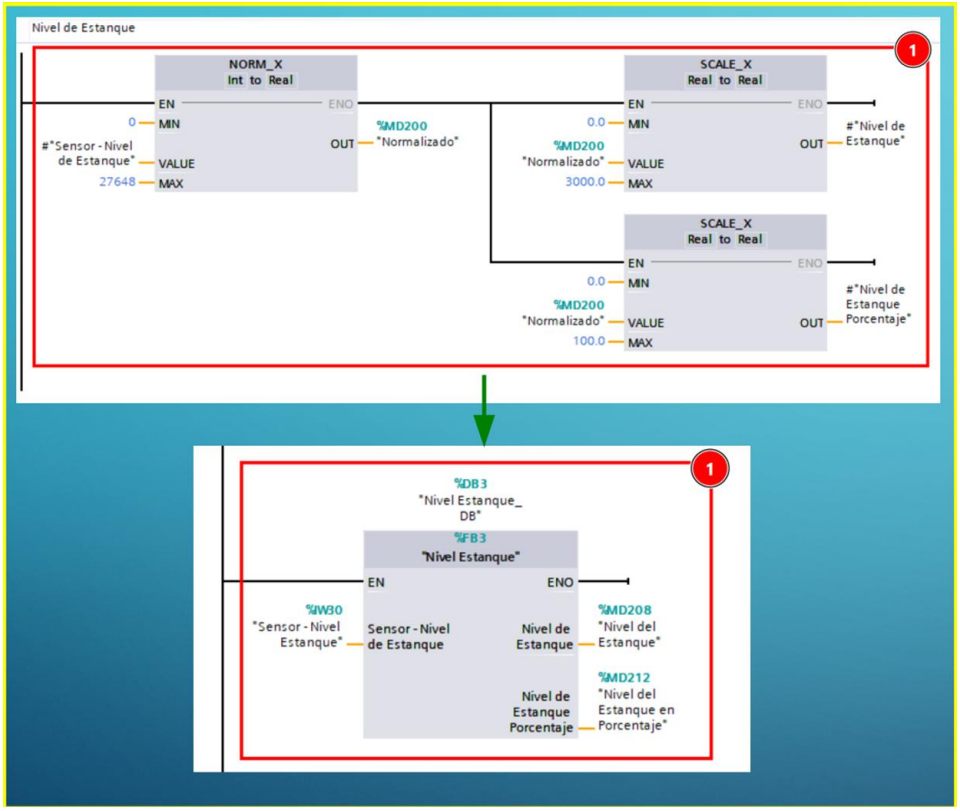


Fuente: Diseño propio.

Figura 2.27 – Diagrama de bloques de lazo de nivel.

Como se indica en la figura 2.27, se representa el diagrama de bloques funcional del lazo de control continuo de nivel. Este esquema detalla la arquitectura algorítmica y la interacción matemática entre la consiga establecida por el operador, el procesamiento de la señal de error a través del bloque PID en el controlador S7-1500, y la acción física sobre las válvulas para estabilizar el nivel del estanque.

Teniendo los tags creados, se procede con la programación, directamente con la configuración del control PID sobre el estanque, esto debido a que el sistema de control programado depende netamente de tener un control preciso sobre el suministro principal hacia la línea de producción.



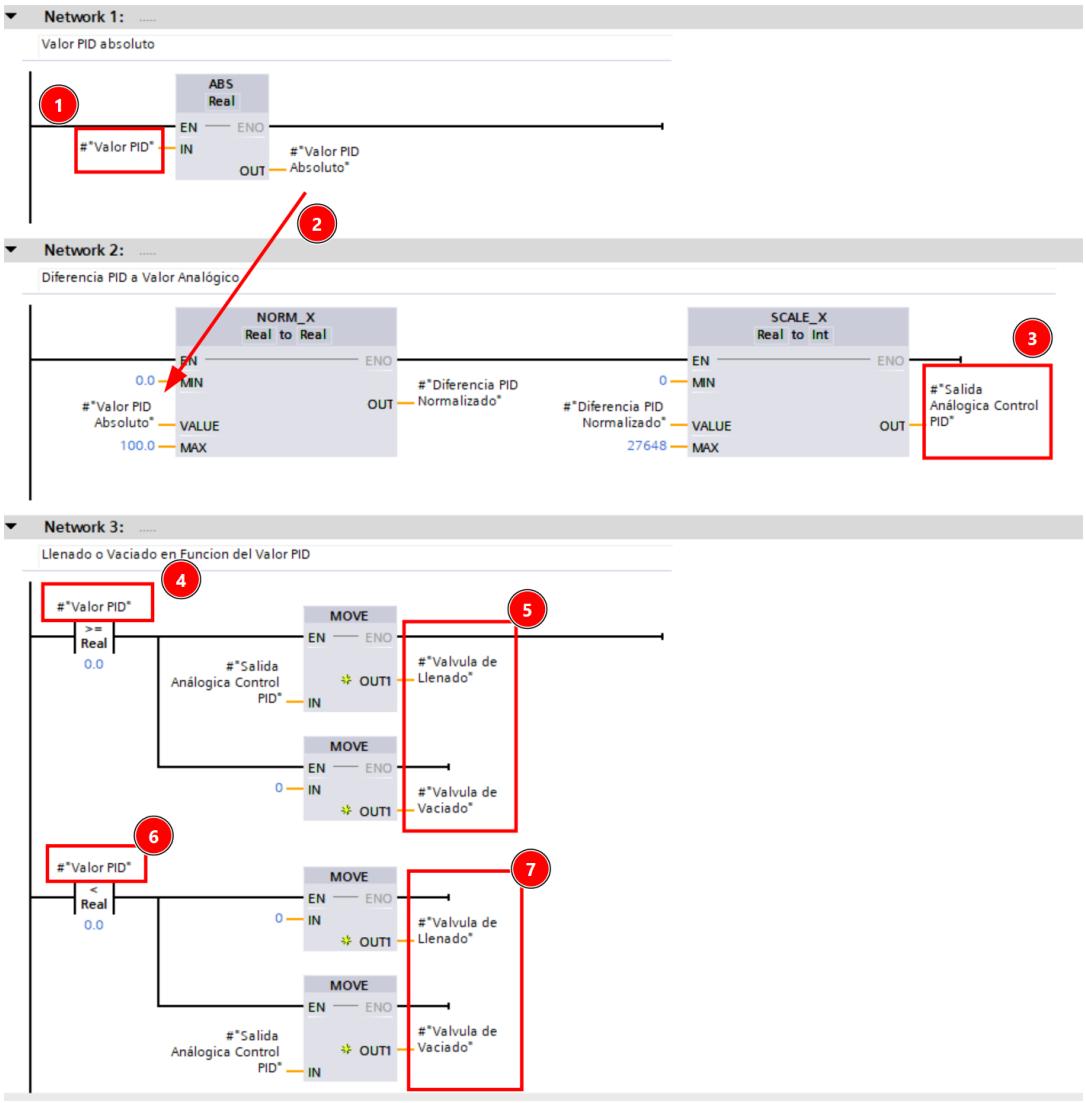
Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.28 - Programación nivel de estanque.

Como se indica en la figura 2.28, se crea un bloque de función en el cual se genera el control sobre la variable analógica de entrada asociada al sensor de nivel del estanque, la cual es entregada en un valor entero de 0 hasta 27648, esto se ajusta a un valor real normalizado, para luego realizar el escalamiento hacia su valor tanto en litros como en porcentaje, donde el valor máximo de litros viene definido por defecto en el estanque de Factory I/O.

Este mismo valor de la variable, permitirá generar más adelante la notificación a modo de alarma en la pantalla HMI detallando el límite inferior o superior que se configure.

Luego se asocian las variables al bloque de función DB general para que se vea representado de la forma más ordenada posible.



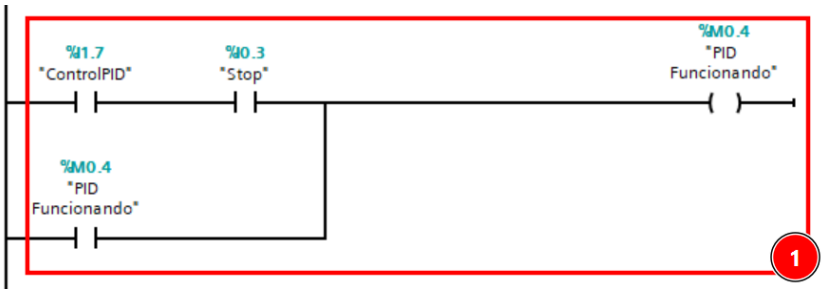
Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.29 - Programación del valor PID.

Como se indica en la figura 2.29, la salida del PID (1) puede ser positiva o negativa. Se toma su valor absoluto (2), que se normaliza entre 0 y 100% y se convierte en un entero (3) para la salida analógica de la válvula que corresponda, que permitirá la apertura de la válvula física que controlará el PID.

Se continúa con el control de vaciado y llenado del estanque, para esto primeramente con el valor PID (4), se controla en caso de que este sea mayor o igual a cero el llenado del estanque dará comienzo mientras que la válvula de vaciado se mueve a un valor 0 para cerrarla (5).

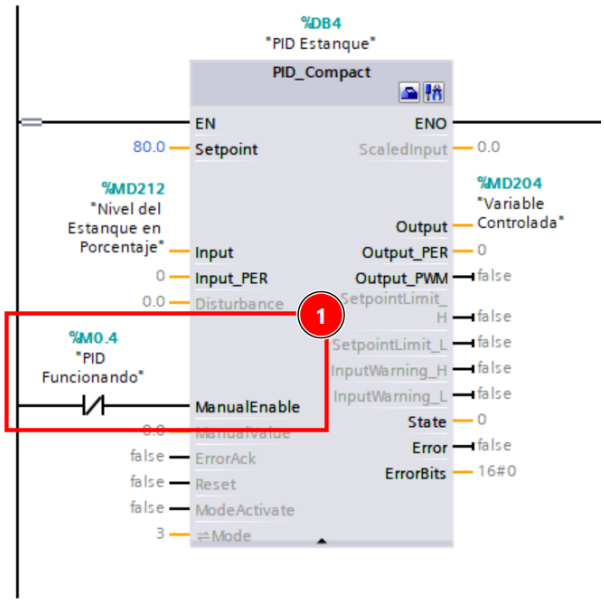
Luego sigue el control PID (6), en este caso cuando dicho valor sea menor a 0, el vaciado del estanque dará comienzo, mientras que la válvula de llenado se mueve a un valor definido por la salida analógica de control PID, para cerrarla en un valor determinado por el mismo control PID (7).



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.30 - Programación para habilitación del modo manual en el control PID.

Como se indica en la figura 2.30, esto permite al accionarlo actuar por sobre el bloque PID_Compact para habilitar el modo manual, el cual va a permitir abiertamente definir los parámetros de regulación en caso de que se requiera la calibración del Set Point de forma local, con una entrada analógica.



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.31 - Bloque PID_Compact.

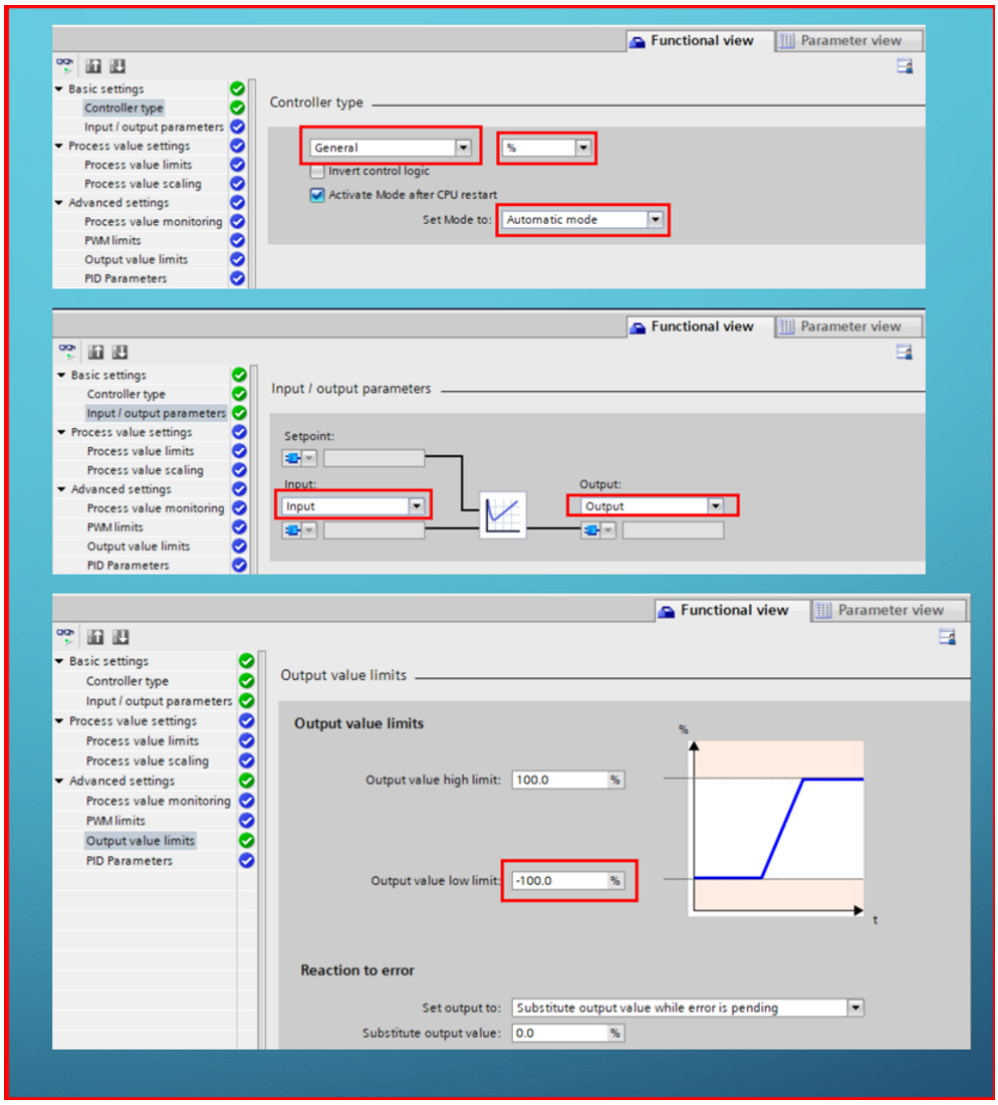
Como se muestra en la figura 2.31, se genera un bloque de organización cíclico (OB30), configurado a 0,1 s.

Luego ir a la librería e insertar el bloque PID_Compact, donde se insertan los valores generados anteriormente, correspondiente al Input en este caso, para el nivel del estanque en porcentaje, y como salida de la variable controlada.

Se destaca que el SetPoint se define en 80, esto debido a que es un valor técnico que previene el sobreimpulso, que se puede generar al trabajar con un estanque al 100% de su capacidad.

Como se define en la figura 2.31, el accionamiento del “ManualEnable” permite tomar el control y modificar parámetros clave.

Luego de esto se deben configurar los parámetros del Control PID, por lo que se ajusta la “caja de herramientas” en la esquina superior derecha.



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.32 - Configuración de parámetros control PID.

Como se indica en la figura 2.32, en la configuración básica se trabaja con el tipo de controlador en tipo volumen, esto mediante un control en porcentaje como es en este caso, además se configura el modo automático en caso de que el PLC se llegase a apagar y volver a encender o pasara del estado STOP a RUN, el control PID arrancará automáticamente en modo automático, y no tendrá que ser forzado mediante bits de arranque.

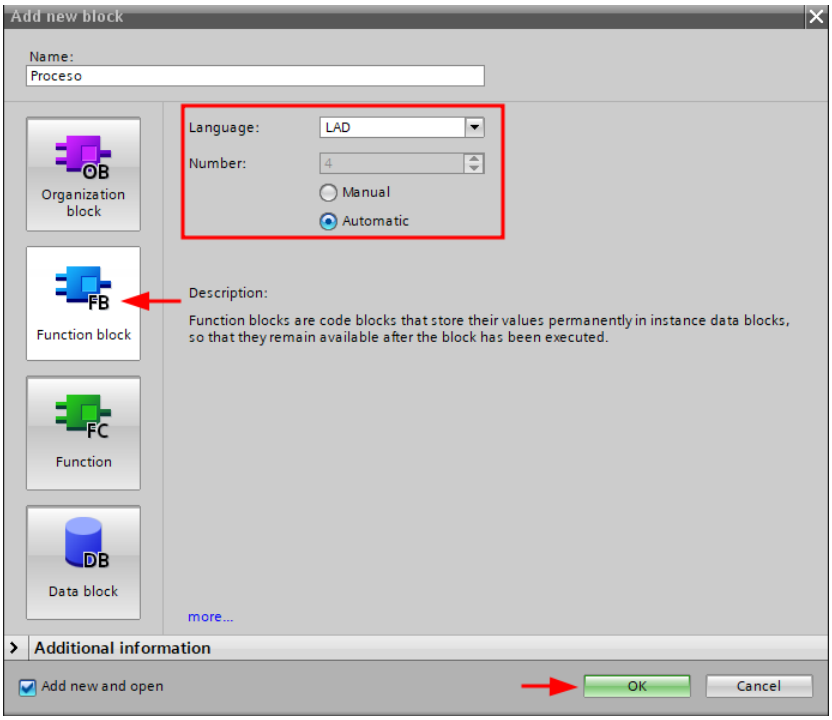
Se definen los parámetros de entrada y salida donde en Input (entrada) se define como un valor analógico ya escalado, definido por el usuario. En este caso output (salida), va con el mismo significado, debido a que entregará un valor real.

Finalmente, para definir los límites del valor de salida, se deja el límite alto como 100% y el límite bajo como -100%, eso debido al control bidireccional que va a actuar sobre límites positivos y negativos, haciendo que cuando entre en el rango positivo funcione la válvula de llenado, y cuando entre en el rango negativo funcione la válvula de vaciado.

2.2.4 Programación del proceso y accionamiento local.

Cabe destacar que todos los eventos de programación que se encuentren designados con un “HMI” en su nombre, son variables que se encuentran creadas específicamente para dicho tipo de operación y visualización, las cuales serán explicadas en el apartado específico de ello.

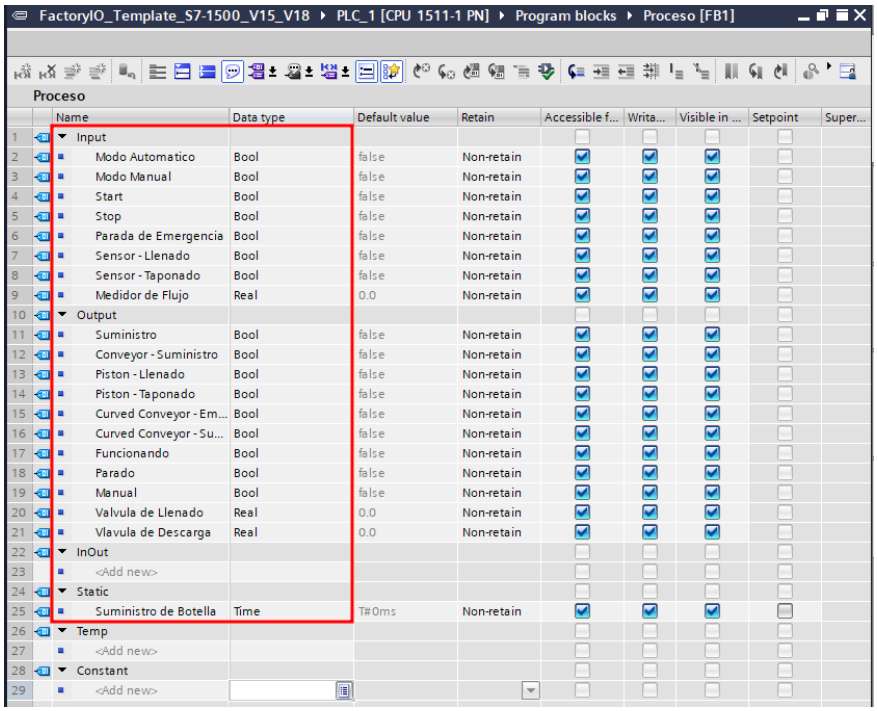
Entonces, con la escena creada, los controladores con sus entradas y salidas asignadas se procede a crear el bloque de función en el cual se trabajará, traspasando dichos valores de tags asignados y mostrados anteriormente:



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.33 - Configuración de bloque de función 1/3

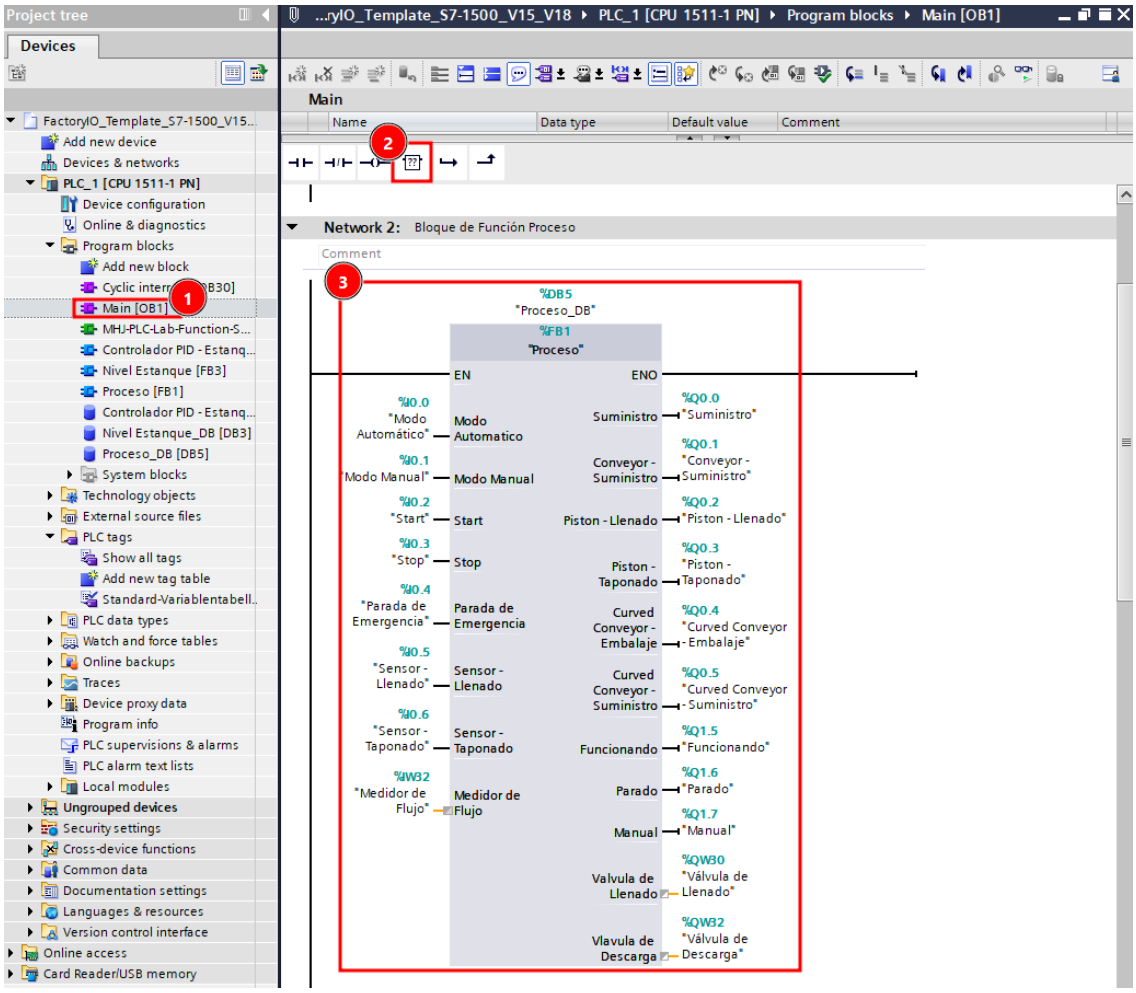
Como se indica en la figura 2.33, se debe crear un bloque de función, esto respecto a la programación del proceso siguiendo la configuración de la figura, para luego realizar doble clic sobre el bloque para desplegar las variables locales inherentes de cada bloque de función.



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.34 - Configuración de bloque de función 2/3

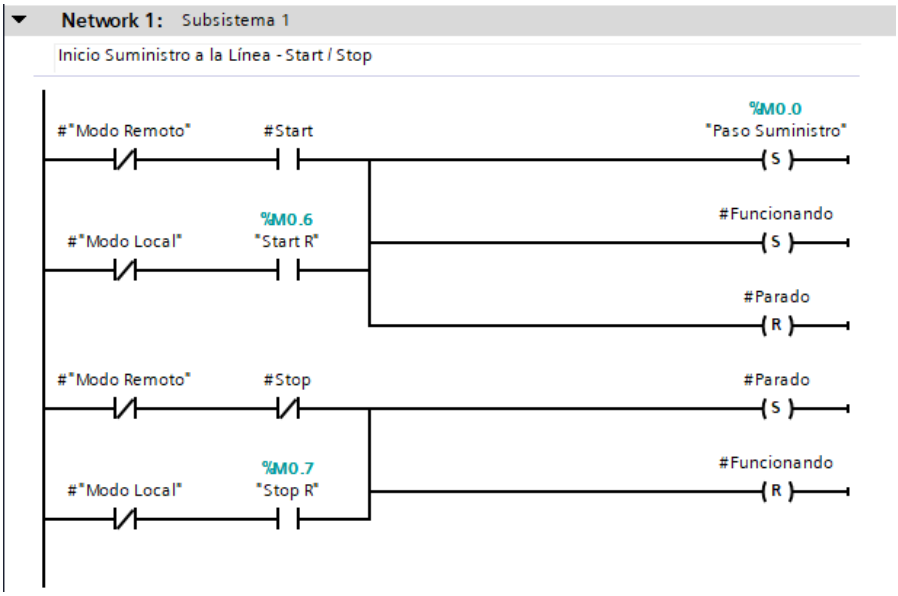
Como se indica en la figura 2.34, se deberán modificar las variables locales del bloque de función tal que se correspondan con las variables que se utilizarán para controlar el proceso.



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.35 - Configuración de bloque de función 3/3

Como se indica en la figura 2.35, una vez creadas las variables, se debe actualizar el mismo para crear todas las entradas y salidas del bloque, luego de eso, se deberá asignar dichas entradas y salidas a las creadas en el apartado de “tags”, donde se deberá visualizar tal como en la figura. Luego de lo anteriormente descrito, se deberán crear los segmentos (“Networks”) inherentes a cada subsistema de la siguiente manera:

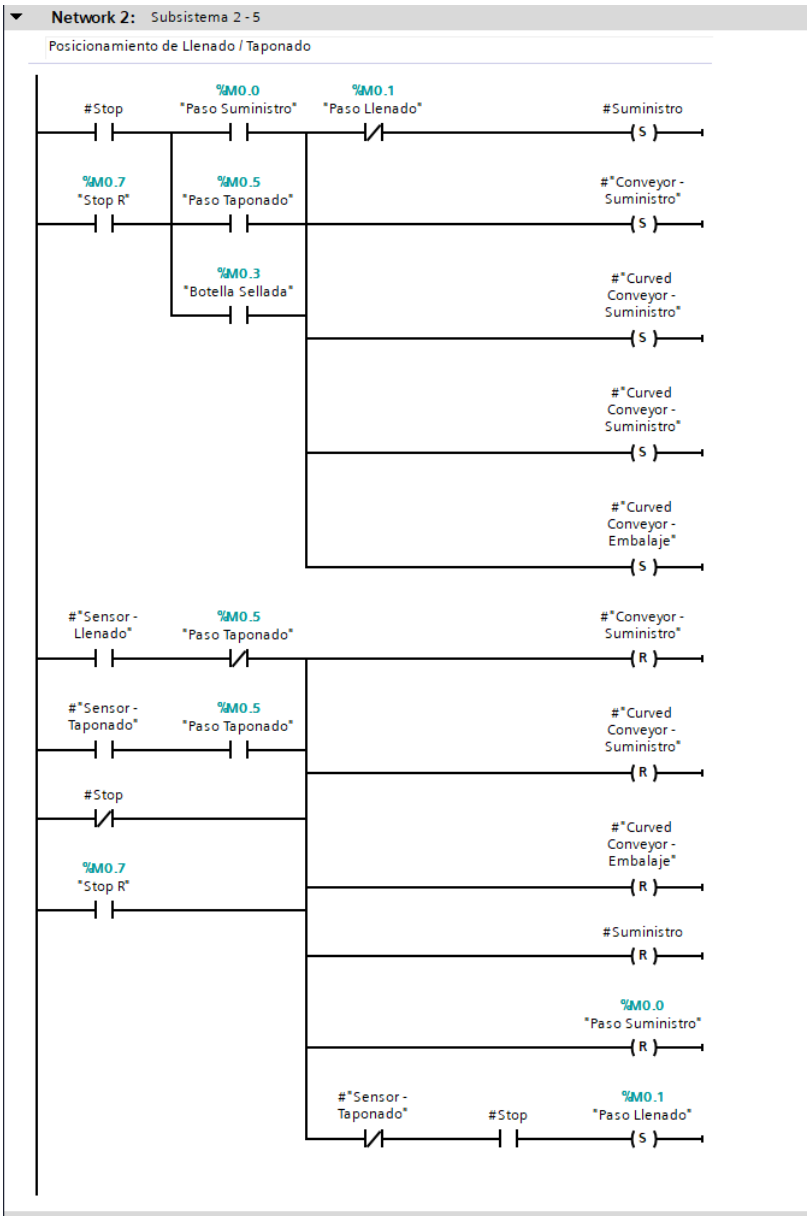


Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.36 - Subsistema 1 – Inicio de suministro.

Como se indica en la figura 2.36, se establecen condiciones de acuerdo con el método de operación del proceso, donde mediante el selector se define bajo qué entradas se accionará.

Dicho tablero va a operar con los pulsadores “Start” y “Stop”, o “Start R” y “Stop R” si es mediante la pantalla HMI, en esta “Network” se dio el paso hacia el inicio del suministro, esto para comenzar el llenado de la línea.



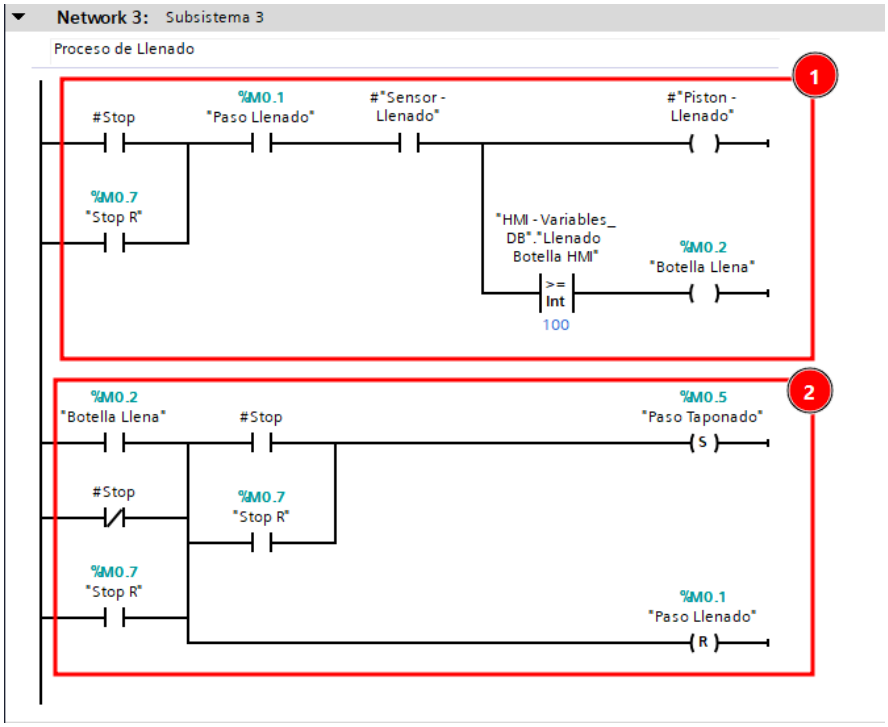
Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.37 - Subsistema 2-5 – Posicionamiento de llenado / taponado.

Como se indica en la figura 2.37, se tiene la puesta en marcha de tanto del suministro como del funcionamiento de los motores correspondientes a las cintas transportadoras del proceso, esto mediante los pasos de los subsistemas correspondientes, a fin de poder reanudar el funcionamiento entre paso y paso.

Luego se tiene la detención de las líneas de suministros en base a los sensores de llenado y taponado, esto debido a que cuando se llegue a la posición deseada, se necesita que la línea se detenga para que se pueda realizar el debido proceso ya sea de llenado o taponado.

Algunas de estas líneas de programación cuentan con condicionantes, para que no se activen, cuando un proceso está en marcha.

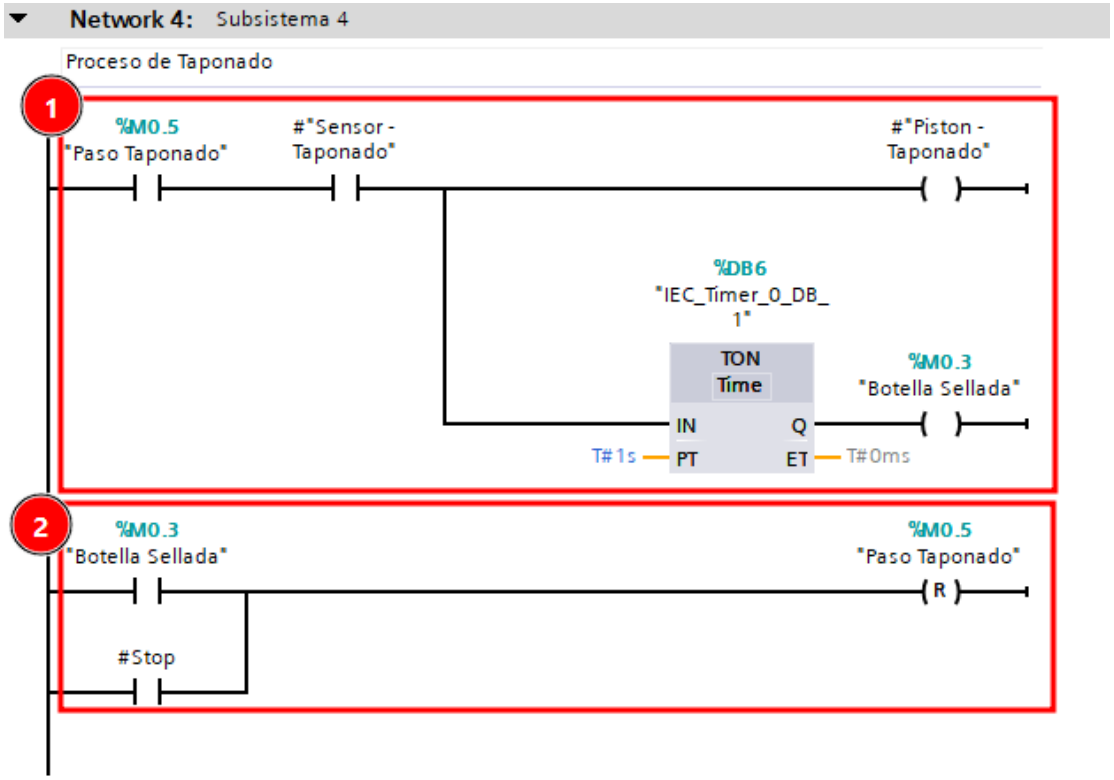


Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.38 - Subsistema 3 – Proceso de llenado.

Como se indica en la Figura 2.38, luego de que la línea de producción llegue al sensor de llenado, como estaba establecido en la figura 2.37, la línea se detendrá, para dar paso al llenado de la botella (1), donde, al estar posicionada, se accionará el pistón, y mediante un temporizador contará el tiempo respectivo, donde se abrirá la válvula vaciado hacia la estación de llenado.

Cuando el proceso de la figura 2.38 termine, mediante el tiempo determinado por la programación, se activará la memoria indicativa de “botella llena”, la cual finalizará el presente paso de llenado (2) para dar paso al de taponado.



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.39 - Subsistema 4 – Proceso de taponado.

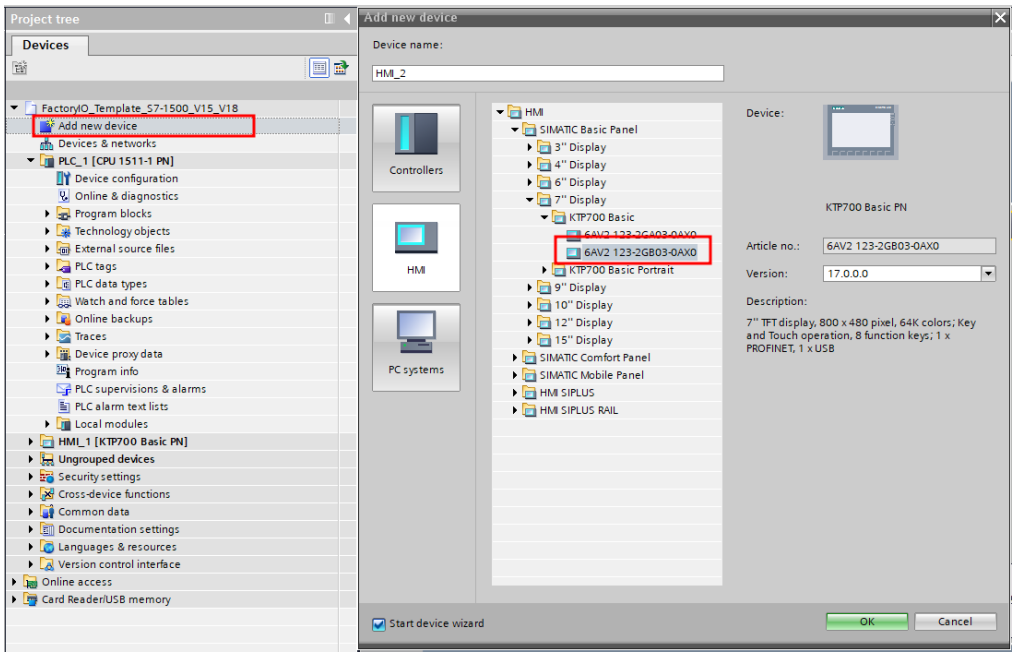
Como se indica en la Figura 2.39, en el “paso de taponado” (1) se opera la salida correspondiente al pistón respectivo, durante el tiempo definido por el temporizador configurado, luego de dicho tiempo se activa la salida correspondiente a una memoria designada como “botella sellada”.

Luego de esto dicha memoria (2) se encargará de reiniciar el paso activo y reiniciar el ciclo respectivo para derivar la botella hacia el embalaje y continuar con la línea de producción.

Por tanto, en base a lo descrito anteriormente el funcionamiento del proceso en el modo local estaría realizado. Lo siguiente es configurar la pantalla HMI y habilitar, programar y configurar esta para el modo remoto.

2.2.5 Pantalla HMI – adición y consideraciones

Se añadió la pantalla a programar mediante la opción de “add new device”:

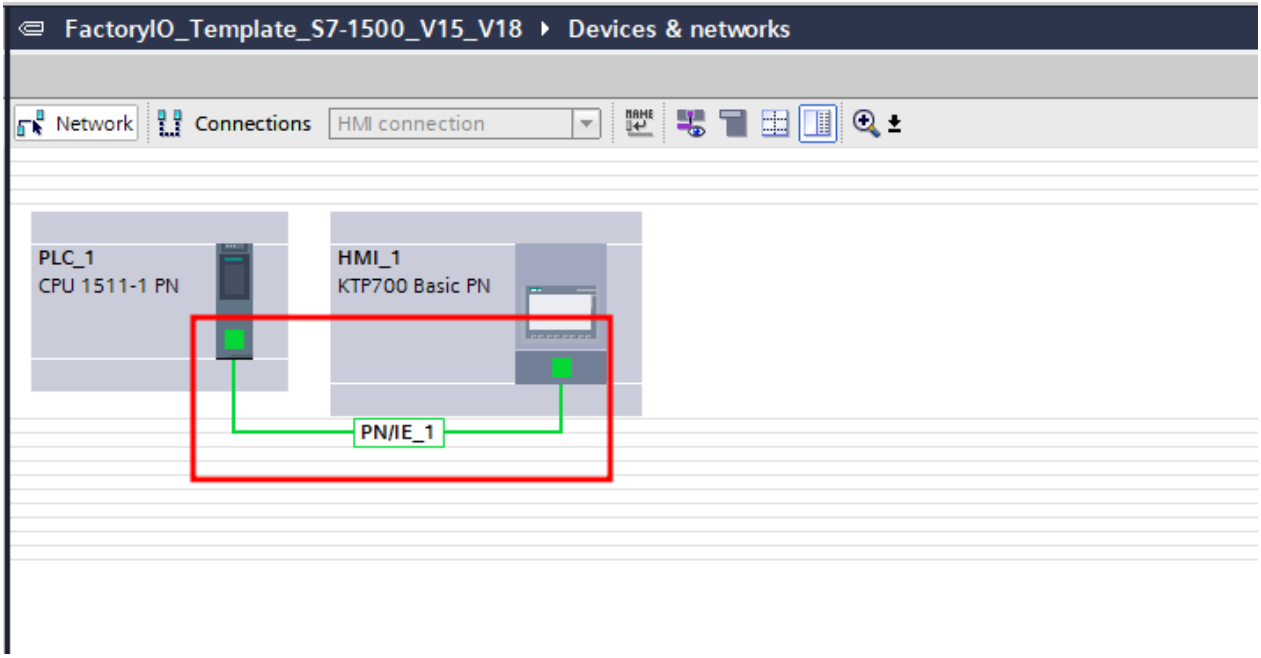


Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.40 - Adición de la pantalla HMI.

Como se indica en la figura 2.40, se debe añadir un nuevo dispositivo, y procurando que sea el modelo 6AV2123-2GB03-0AX0 con la entrada PN (PROFINET), esto debido a que el controlador tiene un puerto PROFINET integrado de fábrica.

Luego de ser agregado, se debe verificar que se encuentre conectado el puerto de comunicación PN, esto para enlazar y permitir la comunicación entre ambos dispositivos:

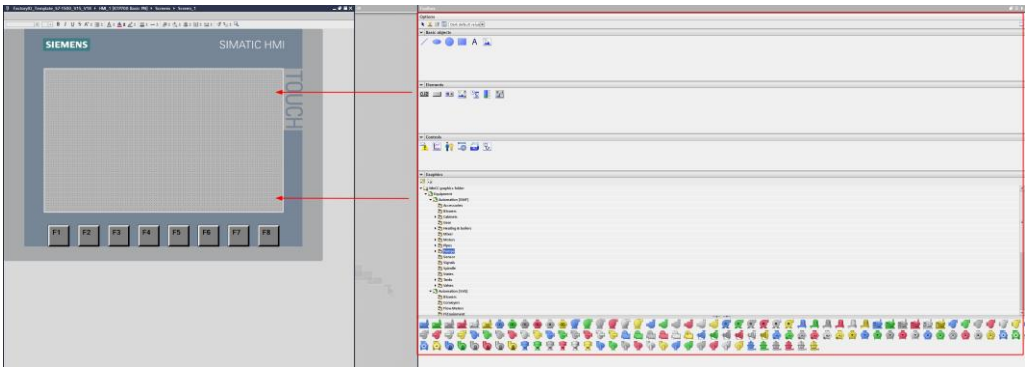


Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.41 - Conexionado de la red.

Como se indica en la figura 2.41, en la vista de redes se conecta la interfaz PROFINET de la HMI con la de la CPU y se le asignan direcciones IP de la misma subred (192.168.0.1 y 192.168.0.3)

Para la pantalla HMI, se pueden crear diversas pantallas en la sección de “screens”, las cuales pueden ser personalizables de acuerdo con la librería integrada en Tia Portal, que permite seleccionar elementos y asignar eventos en función de las variables asociadas al proceso:



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

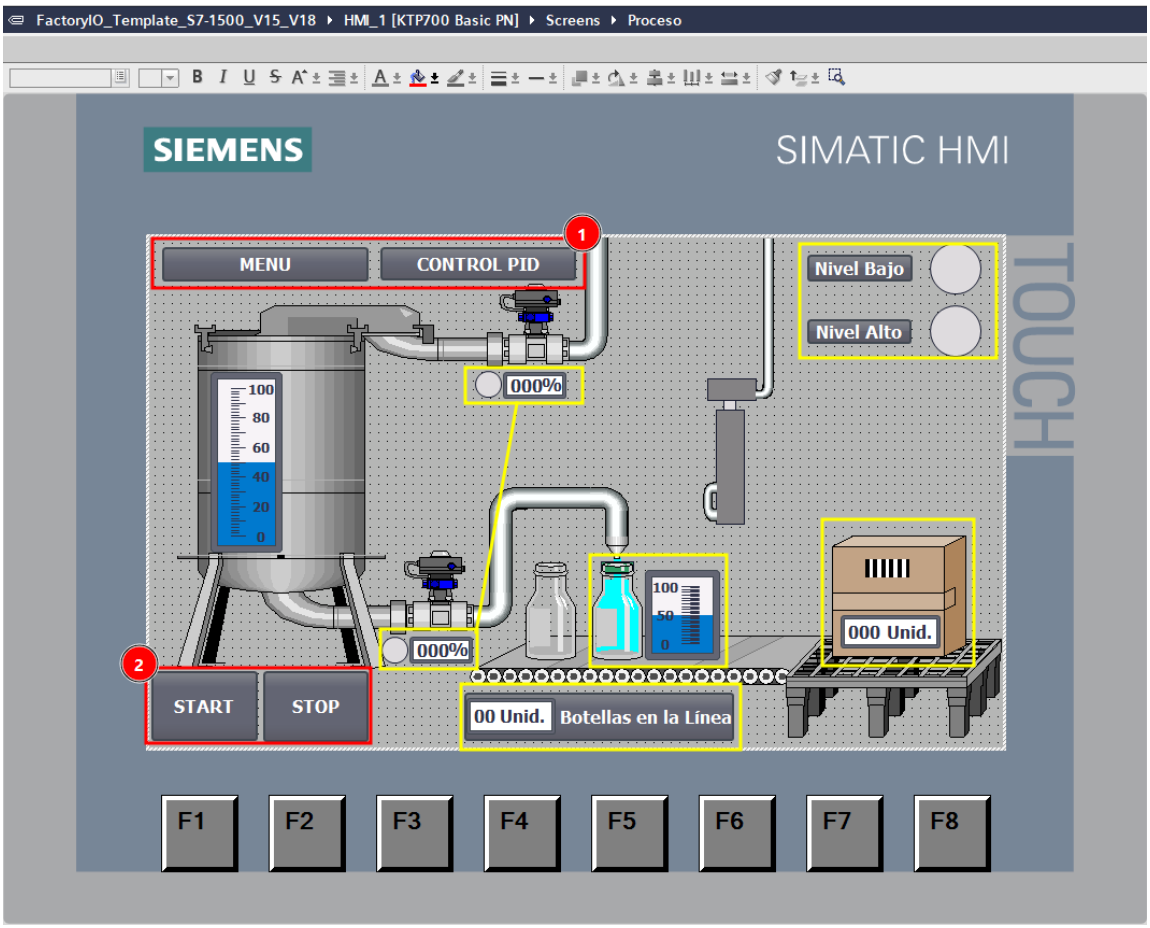
Figura 2.42 - Pantalla HMI y elementos de configuración.

La figura 2.42 detalla la visualización de la pantalla en TIA Portal y los elementos, carpetas y opciones posible a implementar en esta.

2.2.6 Pantalla HMI – proceso

En este caso, se diseñó con 3 pantallas HMI, las cuales son definidas como: Menú Principal, Proceso y Control PID.

Para la configuración de la pantalla de proceso:

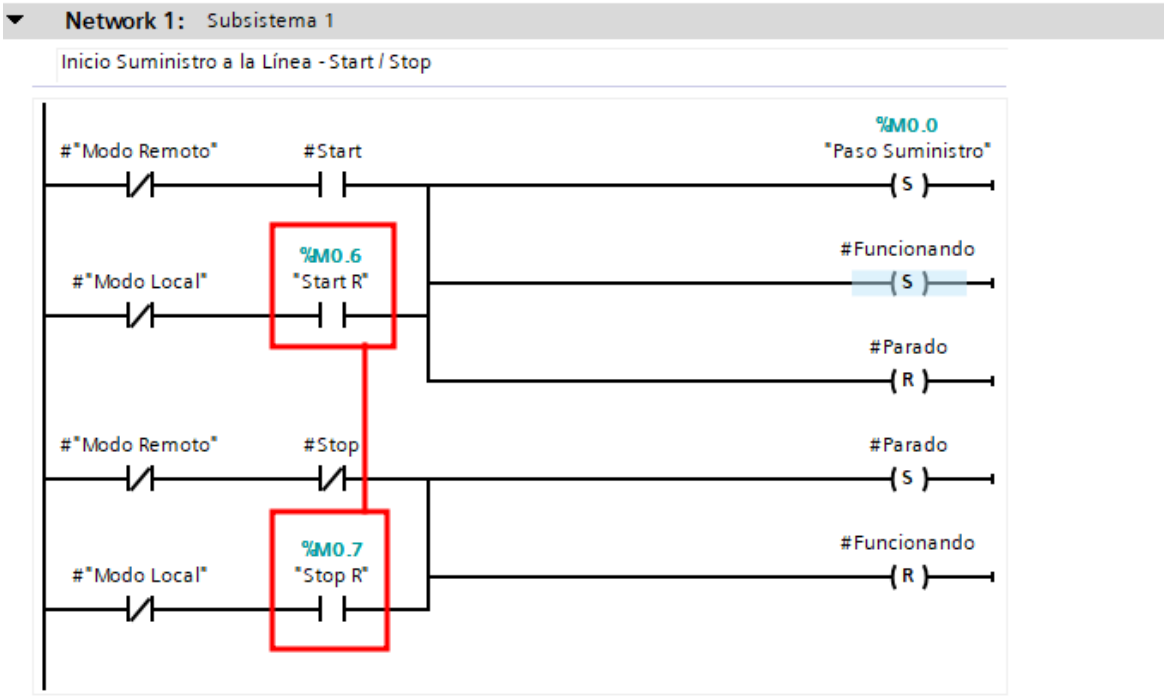


Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.43 - Elementos de acción / reacción y visualización – proceso.

Como se indica en la figura 2.43, se destacan los elementos para esta pestaña que puede presionar el usuario y generan una acción en la pantalla o proceso marcados de color rojo, y a su vez se señalan los elementos a los que el usuario puede solamente visualizar, marcados de color amarillo. En este caso, los botones superiores (1), para la navegación entre pantallas y en los botones inferiores (2), la operación del proceso desde la pantalla.

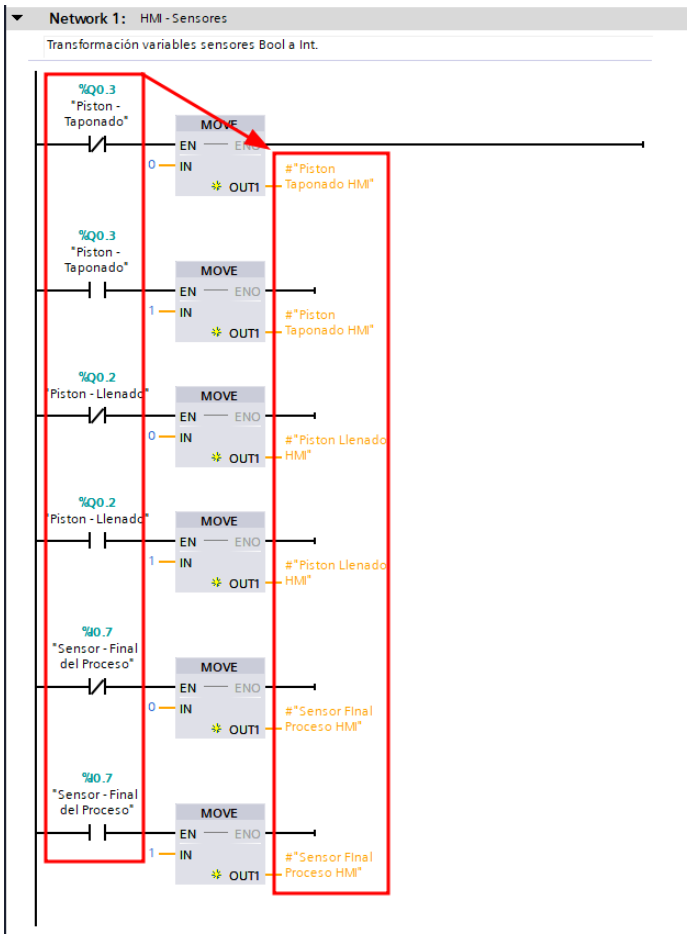
Para operar el proceso desde la pantalla, los botones “START” y “STOP” se vinculan a las variables “Start R” y “Stop R” respectivamente (Figura 2.44).



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.44 - Lógica de programación de los elementos de acción.

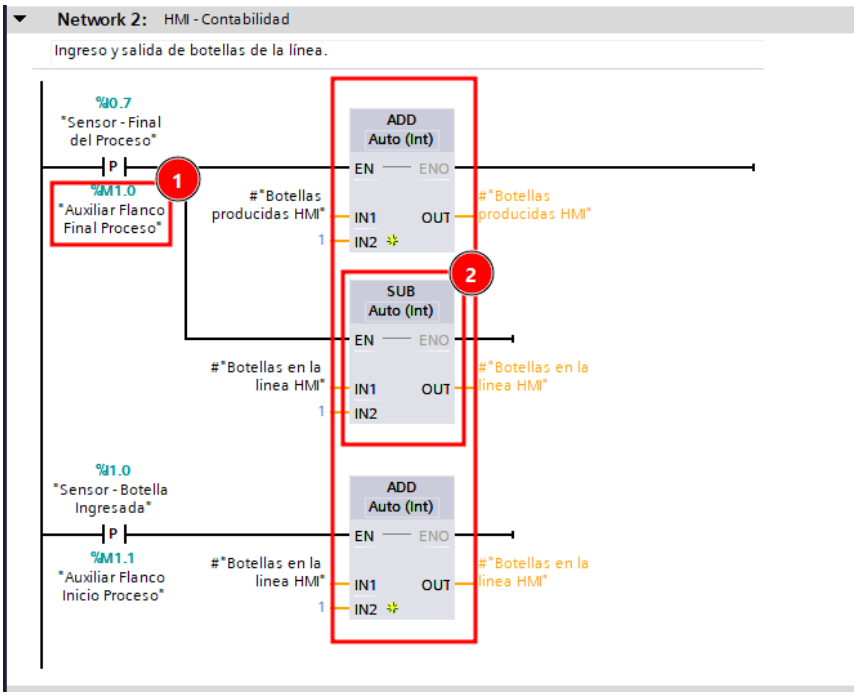
Para los elementos de visualización, se deben transformar las variables Bool a Int, para que estas reaccionen en función del estado del bit en el que se encuentra. Para eso se define el bloque de función denominado “HMI – variables”, donde en dicho bloque la configuración se detalla de la siguiente forma:



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.45 - Lógica para acondicionamiento de señales hacia HMI

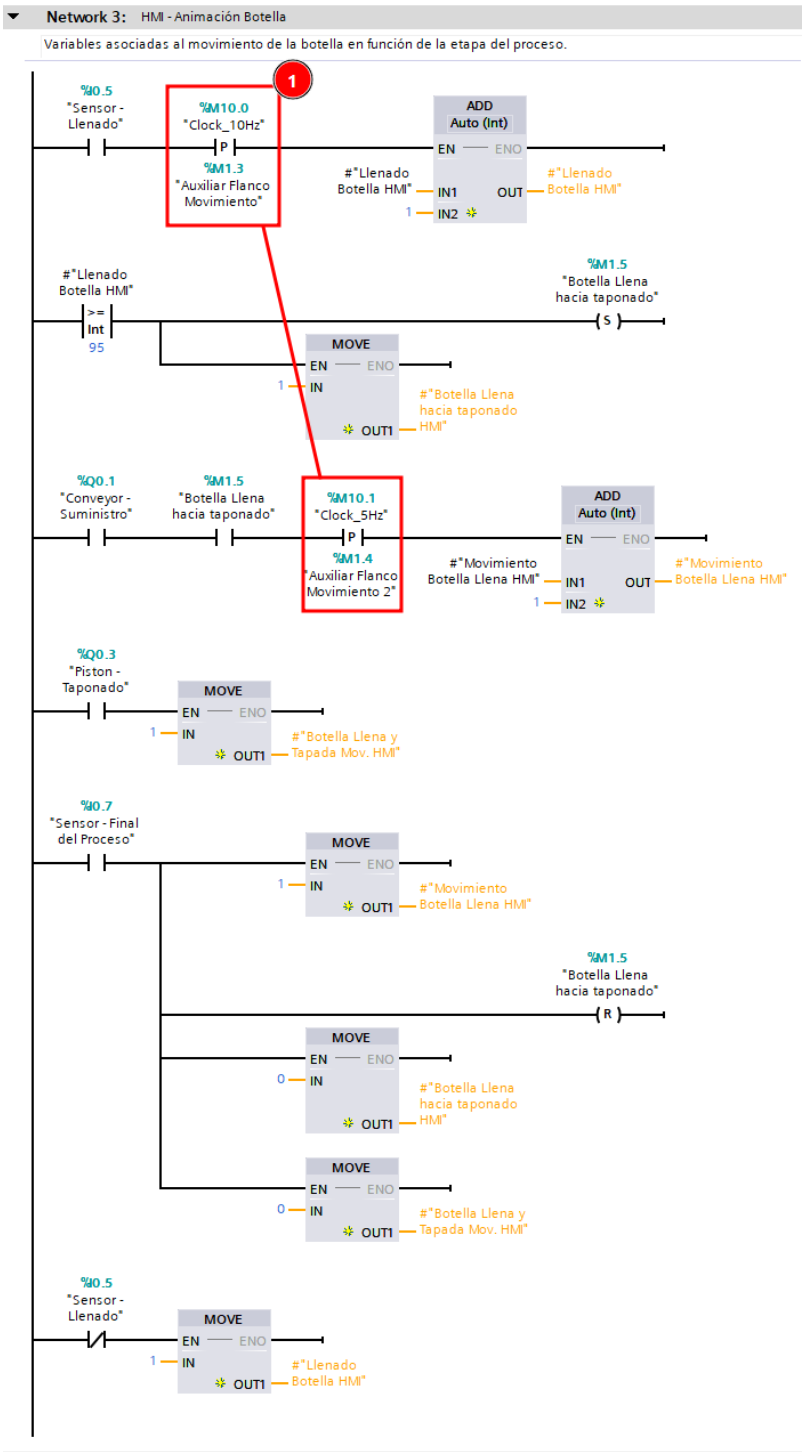
Como se visualiza en la figura 2.45, se añade un bloque MOVE en función de la señal de sensor Bool y es que en base al estado de esta se modifica la nueva variable en el valor int de 0 o 1. Luego se determina la programación para las variables de contabilidad del proceso:



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.46 - Lógica de conteo discreto y trazabilidad.

Como se visualiza en la figura 2.46, se define una suma y resta (2) mediante bloques de función, esto en base a las botellas que van ingresando y saliendo de la línea, gracias al registro realizado por los sensores al inicio y final de esta. Para la mitigación de los errores de lectura, se utilizan los flancos de subida (1), filtrando el tiempo que la botella bloquea el haz de luz del sensor, y cuente discretamente un solo valor por pulso. También se establecen las variables asociadas a la lógica de movimiento de la botella en la pantalla HMI.

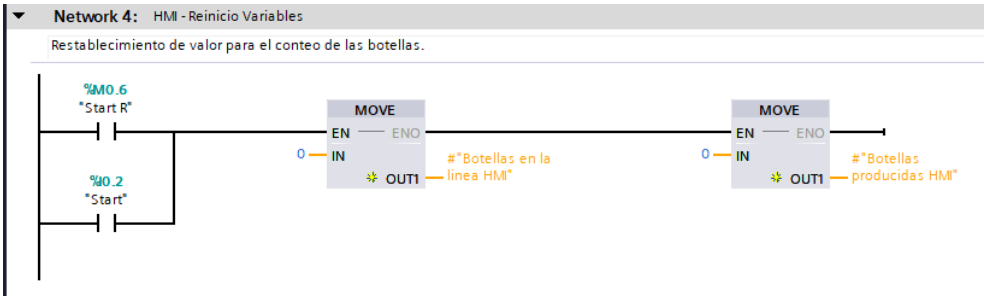


Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.47 - Lógica de desplazamiento dinámico y cambios de estado.

Como se visualiza en la Figura 2.47, se define el rango de movimiento de los elementos en función de “clocks” internos, esto para sincronizar el tiempo virtual de la pantalla con el tiempo físico de Factory I/O (Sensores). Donde también se programó la transición de los estados en función de la etapa en la que se encuentran, definiendo un movimiento preciso y cercano a la realidad.

Y finalmente para la pantalla de proceso se define un reinicio simple para conceptos de simulación de las variables almacenadas mediante un reinicio condicionado en función del inicio del proceso, esto para que al presionar desde la pantalla o físicamente en el tablero, el valor del conteo parta desde 0 como base:



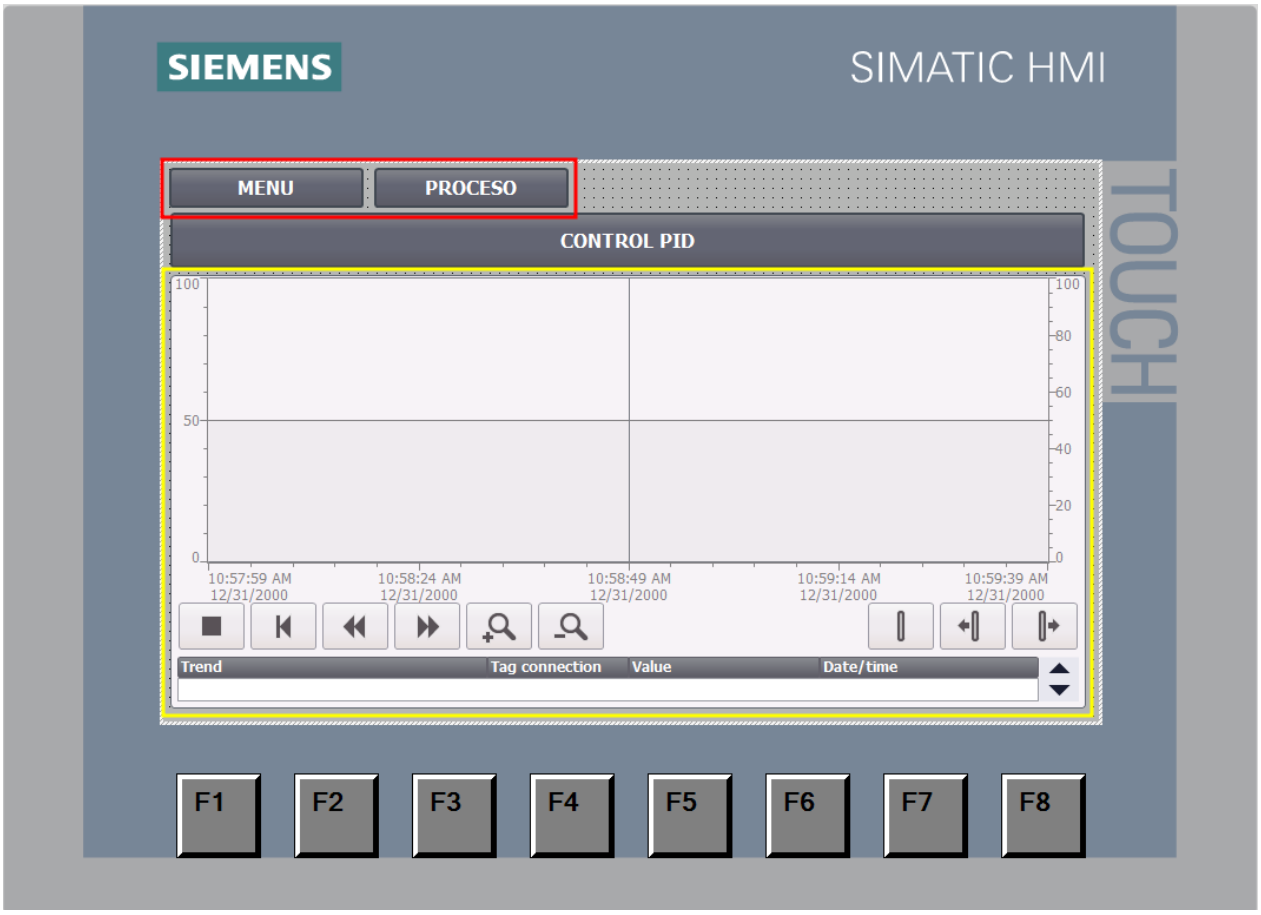
Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.48 - Lógica de reinicio de conteo.

Ya teniendo las variables a visualizar, se configura el método de acción, ya sea por visibilidad, cambio de color y desplazamiento horizontal para las variables que así se definieron. Esto se realiza seleccionando la variable y en sus propiedades se asocia el rango de acción en caso de que así se requiera.

2.2.7 Pantalla HMI – control PID

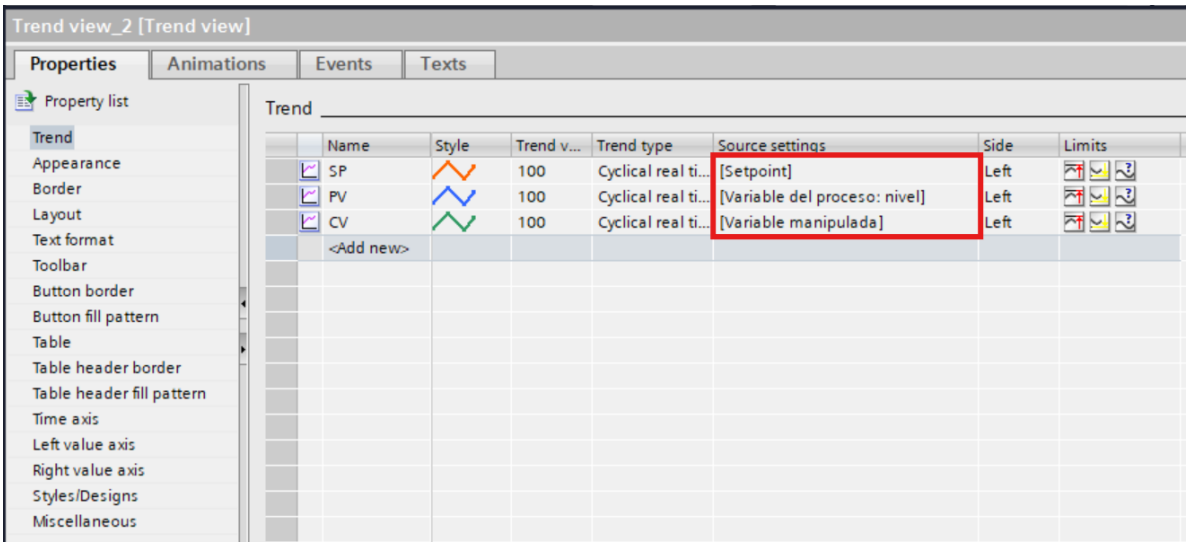
La funcionalidad de esta pantalla es brindar información acerca del estado actual del proceso de control PID sobre el estanque de agua:



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.49 - Elementos de acción / reacción y visualización – control PID.

Como se visualiza en la Figura 2.49, se dejan los botones de acción para navegación entre las pantallas, y se genera un gráfico de visualización que fueron asociadas las variables definidas como SP (Setpoint), PV (Variable del proceso) y CV (Variable controlada):



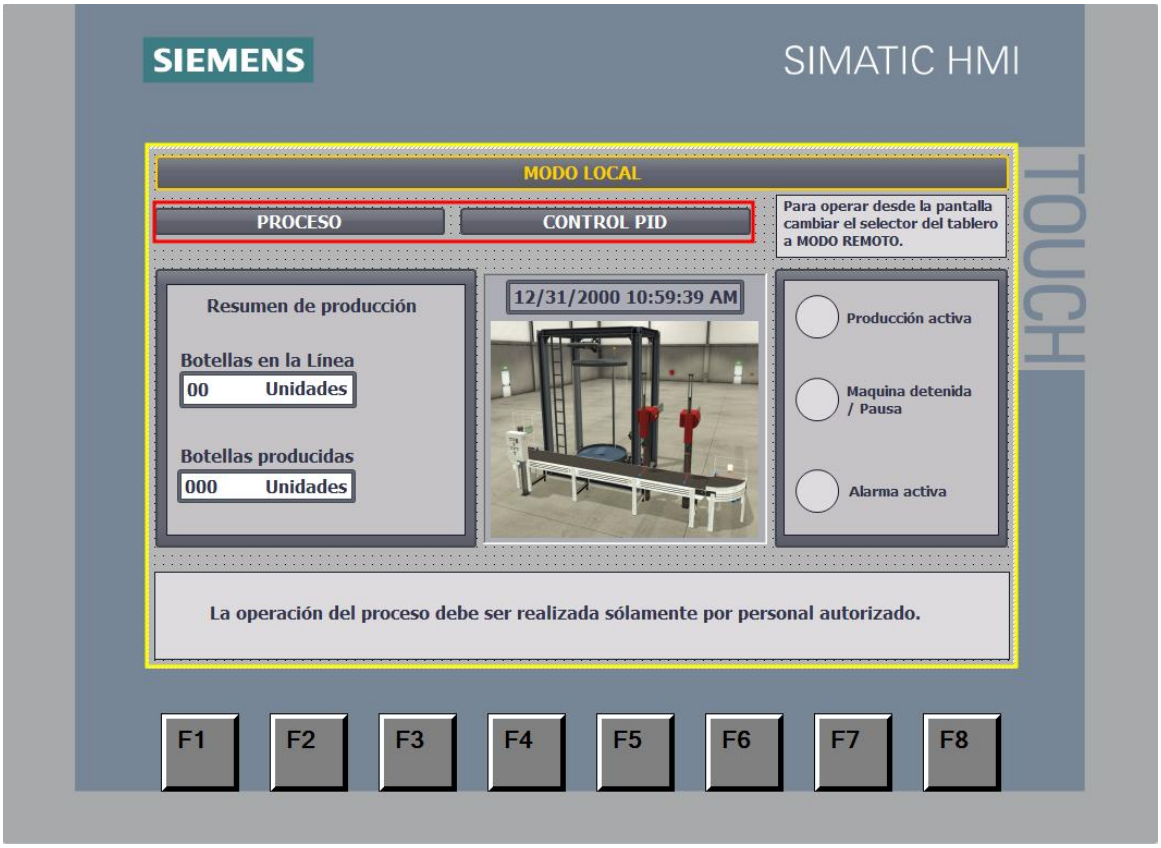
Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.50 - Enlace de variables control PID.

Como se visualiza en la figura 2.50, se debe ir a propiedades de la gráfica, y en la propiedad de “Trend”, se definen y configuran las líneas de tendencia para las variables deseadas.

2.2.8 Pantalla HMI – menú principal

El menú principal se realiza después de terminar todas las demás pantallas, esto debido a que este corresponde al resumen y entrada a lo ya configurado, quedando de la siguiente forma:



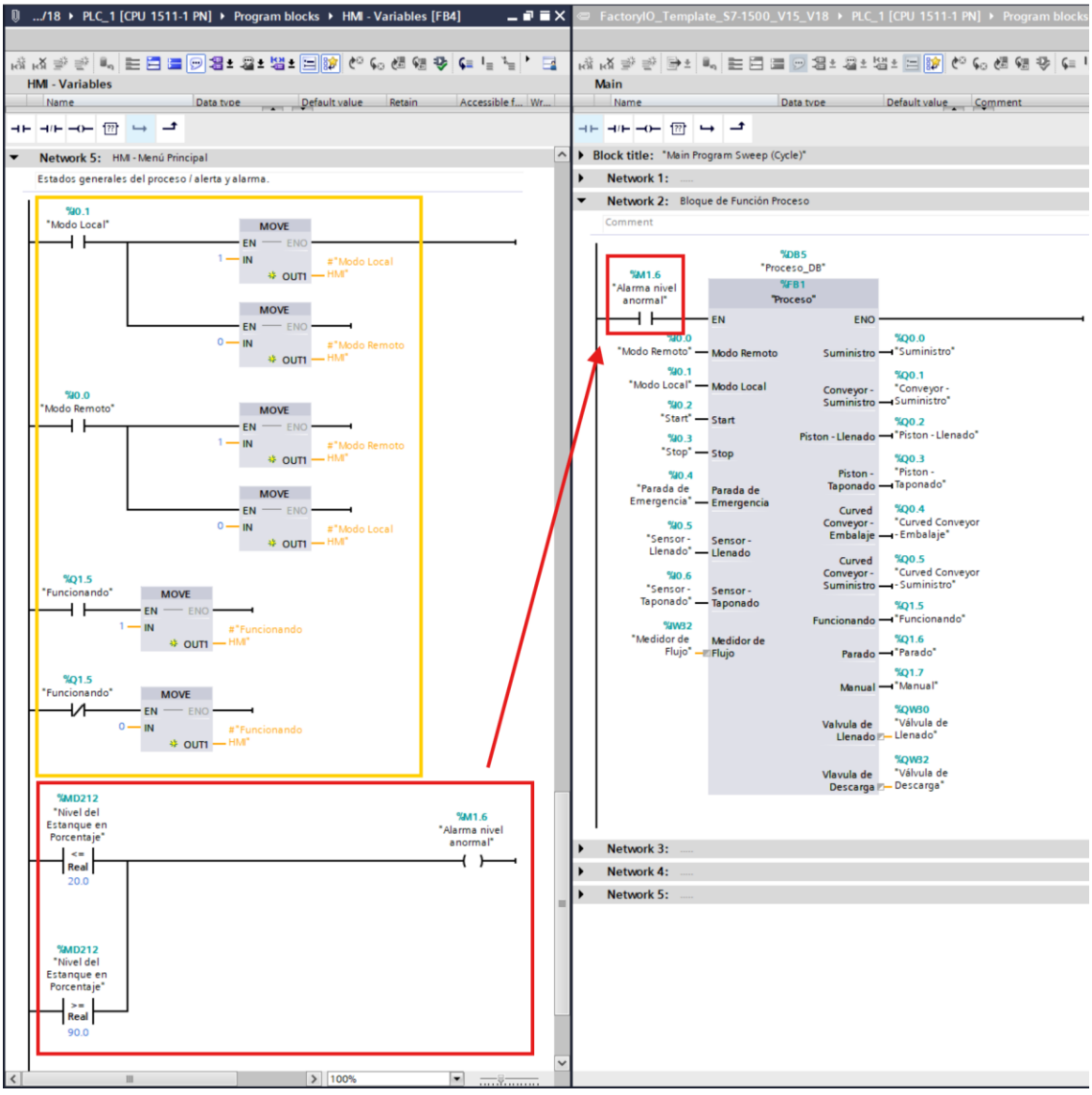
Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.51 - Elementos de acción / reacción y visualización – menú principal.

Como se visualiza en la figura 2.51, se encuentran los respectivos botones de acción para la navegación entre pantallas, y se determinan elementos de visualización y estado general del proceso, además de advertencias y consideraciones, como se puede visualizar en la parte de arriba, donde se configura la visualización de modo remoto o local en base a la posición del

selector del tablero. También en la imagen que se visualiza, se mostrará una imagen descriptiva del estado, en caso de que se encuentre funcionando o detenido.

Para esta pantalla, también se considera la generación de la siguiente lógica para la generación de las variables a modo de advertencia y alarmas que se mostrarán en la pantalla HMI y que tendrá acción en el proceso:



Fuente: captura de pantalla de TIA Portal V18 (Siemens AG) con proyecto propio.

Figura 2.52 - Lógica asociada al estado actual y general del proceso (Advertencias y alarmas).

Como se visualiza en la figura 2.52, se definen genera las variables a modo de advertencia para la pantalla HMI, configuradas con el bloque MOVE para poder implementar el cambio de estado en dicha pantalla.

También se define la alarma que funcionará en base al bloque lógico que permite saber el nivel del estanque en porcentaje, donde esta solo iniciará si el estanque se encuentra en un nivel optimo para su operación.

CAPÍTULO 3: PRESUPUESTO ASOCIADO AL DISEÑO Y SIMULACIÓN

3 PRESUPUESTO ASOCIADO AL DISEÑO Y SIMULACIÓN

Los costos asociados al completo diseño y simulación del proceso de control se detallan en el presente capítulo.

3.1 INTRODUCCIÓN Y SUPUESTOS DEL PRESUPUESTO

Este presupuesto se presenta como los costos asociados al desarrollo del diseño de la simulación, ya que hay múltiples elementos que componen la arquitectura del sistema, abarcando en este caso desde las licencias internacionales de software industrial y el equipamiento físico requerido para el procesamiento de dichas herramientas de software, además del tiempo de ingeniería de diseño para la creación de la programación e integración en la maqueta de simulación.

Además, se considera lo siguiente para la creación de este presupuesto:

- Moneda de estandarización: Los costos para este presupuesto van indicados en dólares estadounidenses (USD), con el principal objetivo de poder estandarizar las tarifas internacionales de las licencias de software como lo son en este caso para Siemens, RealGames y el equipamiento de hardware, esto para evitar la variación del tipo de cambio.
- Valorización del tiempo de ingeniería: El costo asociado a las HH (Horas Hombre), ha sido calculado teniendo en cuenta el valor estándar y aproximado de remuneración, para este caso se toma como punto intermedio un ingeniero en electricidad, cuyo sueldo base promedio tomando en consideración solamente el primer año es de $1.872.000 aproximadamente, esto según el portal MiFuturo.cl.



Fuente: https://www.mifuturo.cl/buscador-de-estadisticas-por-carrera/

Figura 3.1 - Sueldo bruto promedio – ingeniero en electricidad a septiembre del año 2026.

Según lo que indica la figura 3.1 se escoge el sueldo promedio de Ingeniero en Electricidad, porque es el supuesto más cercano a lo correspondiente a una ingeniería de diseño y simulación, además por la limitante de carreras que se encuentran en el portal oficial.

3.2 PRESUPUESTO DE SOFTWARE

Para esta sección se detallan los costos asociados a las licencias de software industrial necesarias para el desarrollo, programación y simulación del Sistema de Control Programado. Dado que el diseño de la simulación contempla la utilización de un controlador de gama alta y un entorno virtual 3D, es que se requirió la adquisición de licencias comerciales que cumplan con tales requerimientos.

- TIA Portal STEP 7 Professional V18: Se seleccionó la versión Professional debido a que es requerido para poder programar y configurar la CPU S7-1500 utilizada en la

arquitectura de control. También es necesario destacar que incluye de manera nativa la herramienta S7-PLCSIM estándar, la cual es suficiente para realizar la simulación del controlador lógico.

- Factory I/O (Edición Siemens): Para la representación del entorno industrial y la cinemática asociada al funcionamiento de una embotelladora, se determinó el uso de Factory I/O, en este caso la licencia perpetua en su edición exclusiva para el ecosistema Siemens, la cual permite el enlace directo con el controlador lógico virtual simulado proporcionado por PLCSIM.

Cabe destacar que, para las secciones de los presupuestos por sección, estarán definidas con costes unitarios, para que en el presupuesto total consolidado se determine su valor final considerando 7 puestos de trabajo, donde un puesto estará encargado del diseño y los otros seis puestos a la programación, pruebas y documentación de la simulación.

La tabla 3.2 detalla el presupuesto asociado a esta sección:

PRESUPUESTO						
Ítem	Producto / Servicio	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
SOFTWARE						
1	Tia Portal S7 V18 Professional / S7 PLCSIM	Licencia Permanente de uso Software Siemens de	Un.	7	400,0	2.800,0
2	Factory I/O Edición Siemens	Licencia permanente de uso Software Factory I/O - Exclusivo	Un.	7	470,0	3.290,0
TOTAL						6.090,0

Fuente: Creación Propia

Tabla 3.2 - Presupuesto - software

3.3 PRESUPUESTO DE HARDWARE

En este apartado se detalla el equipamiento informático requerido para la ejecución y desarrollo de la simulación, correr entornos de programación robusta en paralelo con simulaciones 3D exigentes. Por tanto, para garantizar la estabilidad del sistema y evitar problemas de funcionamiento y ralentizaciones que mermen la productividad a la hora de diseñar y simular la lógica programada es que se establecieron las siguientes especificaciones técnicas:

- Estación de trabajo (WorkStation / PC / Notebook): Se determinó el uso de equipo con un procesador Intel Core i7 o AMD Ryzen 7, debido a que la compilación de bloques y emulación de las comunicaciones requieren un alto poder multinúcleo. Asimismo, para la memoria RAM se determina una recomendada de 32 GB para soportar la carga simultánea de TIA Portal, PLCSIM y Factory I/O sin saturar la memoria del sistema y causar cierres esporádicos, también se definió una tarjeta gráfica dedicada de RTX Serie 30 y un almacenamiento SSD recomendado de 1 TB.

- Monitores y Periféricos: Este apartado es una recomendación en caso de que se tenga un notebook, pero necesario en caso de optar por un PC de escritorio. Donde se incluyen 2 monitores de 24”, ya que el trabajo simultáneo con varios programas amerita dicha función como un plus muy recomendable.

La tabla 3.3 detalla el presupuesto asociado a esta sección:

PRESUPUESTO						
Ítem	Producto / Servicio	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
HARDWARE						
1	WorkStation Laptop / Desktop PC	PC bajo las siguientes carácterísticas: CPU I7/Ryzen 7,	Un.	7	1.750,0	12.250,0
2	Monitores (Si aplica)	Monitor de 24".	Un.	14	200,0	2.800,0
3	Periféricos (Si aplica)	Mouse y Teclado ergonómico.	Un.	7	40,0	280,0
TOTAL						15.330,0

Fuente: Creación Propia

Tabla 3.3 - Presupuesto - hardware

3.4 PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA (HORAS HOMBRE) Y PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES

3.4.1 Carta Gantt y planificación del diseño y programación de la simulación

Para garantizar la correcta ejecución, gestión y trazabilidad del diseño de la simulación, se estructuró una carta Gantt que detalla la distribución operativa de las HH que son presupuestadas.

CARTA GANTT SIMULACIÓN: SISTEMA DE CONTROL INDUSTRIAL MEDIANTE FACTORY I/O Y SOFTWARE SIEMENS								
Actividad	Objetivos por actividad	Responsable	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3 Y 4	DÍA 5	DÍA 6 Y 7	DÍA 8 Y 9
Ingeniería de detalle	Diseño del entorno en Factory I/O	Persona 1 (Diseño)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10					
	Enlace de variables a Tia Portal	Persona 2 (Ejecución)		11 12 13 14				
	Pruebas de comunicación	Persona 3 (Ejecución)		15 16 17 18				
Diseño de la simulación	Diseño del entorno en Factory I/O	Persona 1 (Diseño)			19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30			
	Enlace de variables a Tia Portal	Persona 7 (Ejecución)			31 32 33 34 35			
Programación	Programación en Ladder Tia Portal	Persona 4 y 5 (Ejecución)				36 37 38 39 40 41	42 43 44 45 46 47	
	Configuración pantalla HMI	Persona 6 y 3 (Ejecución)					48 49 50	
	Pruebas de programación	Persona 2 y 7 (Ejecución)					51 52 53 54 55	
Documentación	Pruebas finales, adjunte de información y pulido del proyecto	Persona 2 (Ejecución)						56 57 58 59 60 61 62 63 64 65

Fuente: Creación Propia

Tabla 3.4 – Carta Gantt asociada al diseño y programación de la simulación.

La tabla 3.4 muestra la carta Gantt que asegura la estructuración operativa de las tareas críticas, garantizando el cumplimiento de los plazos para los objetivos a desarrollar en el diseño y programación de la simulación.

3.4.2 Presupuesto asociado a las HH (Horas Hombre)

Para esta sección se cuantifica y valoriza el tiempo de ingeniería requerido para el desarrollo íntegro de la simulación y lógica programada para el proceso de la línea de embotellado, para esto se definieron los siguientes parámetros de cálculo:

Sueldo referencial: Se tomó como base una remuneración de 1.872.000 CLP, valor correspondiente al ingreso promedio de mercado para el perfil de ingeniería requerido.

Jornada laboral: El cálculo se estructuró sobre una base de 182 horas operativas mensuales, apegado a la normativa vigente que establece la jornada laboral de 42 horas semanales.

Tasa de cambio: Con el objetivo de unificar la moneda del presupuesto, se aplica una tasa de conversión referencial de 940 CLP por dólar (USD) esto a fecha del 13/09/2026.

Cálculo asociado a las HH:

$$Sueldo\ Mensual\ ref: 1.872.000\ CLP$$
$$Horas\ laborales\ mensuales: 182\ horas\ mensuales.$$

$$Costo\ por\ hora: \frac{1.827.000\ CLP}{182\ horas} = 10.038\ CLP\ por\ hora\ de\ trabajo.$$

$$Conversión\ de\ USD\ referencial\ (940 CLP = 1\ USD): \frac{10.038}{940} \cong 10{,}67\ USD$$

Por consiguiente, para la estimación económica de las etapas de diseño y programación, se fijó una tarifa estandarizada de 10,67 USD por HH. Además se considera lo siguiente:

- Ingeniería de detalle: Contempla el análisis preliminar de la planta, selecciones variables del sistema, elaboración del diagrama P&ID y la definición de la lógica de control aplicada.

- Programación: Corresponde al desarrollo estructurado del código en lenguaje Ladder dentro del entorno Tia Portal, incluyendo parametrización del control PID, lógica secuencial y configuración de la pantalla HMI.

- Diseño de simulación: Abarca la construcción tridimensional de la planta en Factory I/O, posicionamiento de los diversos sensores y actuadores, asociación de estos mismos y el enlace de comunicación hacia el PLC virtual.

- Documentación: Comprende el registro de la configuración y la ejecución de pruebas de validación del sistema.

La tabla 3.5 detalla el presupuesto asociado a esta sección:

PRESUPUESTO						
Ítem	Producto / Servicio	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
HORAS HOMBRE						
1	Ingeniería de Detalle	Lógica de Control, Diagrama P&ID y selección de variables.	HH	18	10,7	192,1
2	Programación	Desarrollo del Código Ladder.	HH	20	10,7	213,4
3	Diseño de Simulación	Construcción de la planta de simulación, simulación y	HH	15	10,7	160,1
4	Documentación	Redacción de informe y pruebas.	HH	12	10,7	128,0
TOTAL						693,6

Fuente: Creación Propia

Tabla 3.5 - Presupuesto – horas hombre

El presupuesto de mano de obra cuantifica el esfuerzo de ingeniería y programación requerido para el desarrollo de la solución matriz. Las HH corresponden a una estimación fija para el desarrollo de la solución base.

3.5 PRESUPUESTO TOTAL CONSOLIDADO

En esta sección se agrupa la totalidad de los costos directos, indirectos y tributarios asociados al diseño de la simulación. A la agrupación que comprende este subtotal se añaden las siguientes secciones:

- Margen de imprevistos: Se incorpora un factor de contingencia técnico y comercial para absorber posibles fluctuaciones en el tipo de cambio de las licencias, variaciones en el valor de los componentes de hardware y/o tiempos de desarrollo no previstos en cualquier etapa de la simulación.

- Impuesto al valor agregado (IVA): Se incorpora para dar cumplimiento a las normativas tributarias vigentes para la adquisición en este caso de bienes físicos, licencias y servicios digitales.

El presupuesto total consolidado comprende la mano de obra cuantificada hacia el esfuerzo de ingeniería y programación requerido para el desarrollo del diseño y la simulación, donde está incluido el costo de diseño y la habilitación de los puestos de trabajo adicionales, que en este caso comprende un puesto asociado al diseño y seis puestos asociados al trabajo de programación, pruebas y documentación.

La suma integral de todo lo considerado anteriormente define el presupuesto total consolidado:

PRESUPUESTO						
Ítem	Producto / Servicio	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
SOFTWARE						
1	Tia Portal S7 V18 Professional / S7 PLCSIM	Licencia Permanente de uso Software Siemens de	Un.	7	400,0	2.800,0
2	Factory I/O Edición Siemens	Licencia permanente de uso Software Factory I/O - Exclusivo	Un.	7	470,0	3.290,0
TOTAL						6.090,0
HARDWARE						
1	WorkStation Laptop / Desktop PC	PC bajo las siguientes carácterísticas: CPU I7/Ryzen 7,	Un.	7	1.750,0	12.250,0
2	Monitores (Si aplica)	Monitor de 24".	Un.	14	200,0	2.800,0
3	Periféricos (Si aplica)	Mouse y Teclado ergonómico.	Un.	7	40,0	280,0
TOTAL						15.330,0
HORAS HOMBRE						
1	Ingeniería de Detalle	Lógica de Control, Diagrama P&ID y selección de variables.	HH	18	10,7	192,1
2	Programación	Desarrollo del Código Ladder.	HH	20	10,7	213,4
3	Diseño de Simulación	Construcción de la planta de simulación, simulación y	HH	15	10,7	160,1
4	Documentación	Redacción de informe y pruebas.	HH	12	10,7	128,0
TOTAL						693,6
RESUMEN FINANCIERO						
1	Subtotal de costos directos					22.113,6
2	Margen de imprevistos (Se considera un 10% del costo directo total)					2.211,4
3	Subtotal Neto					24.324,9
4	IVA (Se considera el 19% del valor Neto)					4.621,7
COSTO TOTAL DEL PRESUPUESTO						28.946,6
NOTA: *Los valores presentados son representados en dólares para la estandarización de los costos en relación a las licencias internacionales de Software como también los costos asociados al Hardware. Asimismo para la*						

Fuente: Creación Propia

Tabla 3.6 - Presupuesto total consolidado

CONCLUSIONES

El desarrollo de la presente simulación ha permitido comprobar de manera integral la viabilidad técnica y económica de la automatización de una línea de embotellado, demostrando el alto valor estratégico que poseen los entornos de simulación virtual en la ingeniería de proyectos moderna. Con base en lo documentado se destaca lo siguiente:

Respecto del objetivo general se diseñó y simuló un sistema de control para una línea de embotellado que integra TIA Portal V18, S7-PLCSIM y Factory I/O, sin necesidad de equipos físicos.

En cuanto a la escena y vinculación (objetivos a y b) se documentó la vinculación de los tres programas mediante la plantilla oficial de Factory I/O y se construyó una escena con 10 entradas, 9 salidas digitales, 2 entradas y 2 salidas analógicas.

Para la lógica de control y HMI (objetivos c y d) la secuencia se programó en 15 segmentos Ladder y el nivel del estanque se reguló con PID_Compact ($K_p = 11{,}73002$; $T_i = 4{,}618844\ s$). La HMI permite operar en modo local y remoto, y visualizar el estado del proceso y la tendencia del lazo.

El análisis económico (objetivo e) muestra que el costo total es de 28.947 USD (IVA incluido), del cual el 21,03% corresponde a licencias y hardware para siete puestos de trabajo.

En definitiva, la ejecución de esta simulación valida categóricamente que el diseño de sistemas automatizados no es únicamente una herramienta académica, sino un estándar industrial altamente necesario, ya que entrega un entorno 3D apegado a la realidad, que nos puede garantizar soluciones de ingeniería robustas, seguras y económicamente viables para el sector industrial.

Y destacar finalmente que las licencias oficiales utilizadas en este proyecto fueron las otorgadas mediante el mes de prueba de cada desarrollador.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Siemens AG. (s.f.). Data sheet 6AV2123-2GB03-0AX0: SIMATIC HMI KTP700 Basic, PROFI-NET interface. https://support.industry.siemens.com/teddatasheet/?format=pdf&caller=SIOS&mlfbs=6AV2123-2GB03-0AX0&language=en*
2. *Siemens AG. (s.f.). Data sheet 6AV2123-2GA03-0AX0: SIMATIC HMI KTP700 Basic DP, PROFIBUS interface. https://support.industry.siemens.com/teddatasheet/?format=pdf&mlfbs=6AV2123-2GA03-0AX0&language=en&caller=SIOS*
3. *Siemens AG. (s.f.). Escalado de productos en TIA Portal. TIA Portal V21, Descripción del sistema. https://docs.tia.siemens.cloud/r/es-es/v21/descripcion-del-sistema-tia-portal/escalado-de-productos-en-tia-portal*
4. *Siemens AG. (s.f.). Description of PID_Compact V3 (S7-1200, S7-1500). https://docs.tia.siemens.cloud/r/en-us/v20/pid_compact-s7-1200-s7-1500/pid_compact-as-of-v2-s7-1200-s7-1500/description-of-pid_compact-v3-s7-1200-s7-1500*
5. *Siemens AG. (s.f.). Static tags of PID_Compact as of V2 (S7-1200, S7-1500). https://docs.tia.siemens.cloud/r/en-us/v20/pid_compact-s7-1200-s7-1500/pid_compact-as-of-v2-s7-1200-s7-1500/static-tags-of-pid_compact-as-of-v2-s7-1200-s7-1500*
6. *Real Games. (s.f.). Setting up S7-PLCSIM V13-19. Factory I/O Docs. https://docs.factoryio.com/tutorials/siemens/setting-up-s7-plcsim-v13/*
7. *Real Games. (s.f.). Factory I/O: editions. https://factoryio.com/*
8. *Dirección del Trabajo. (s.f.). Minisitio 40 horas: ¿Desde cuándo rige la rebaja de 44 a 42 horas? https://www.dt.gob.cl/portal/1626/w3-propertyname-2556.html*