



***Autores:***



***Solange Lizbeth Herrera Sánchez***

Ingeniera en Electrónica y Automatización

Candidata a Magíster en Automatización para la Industria 4.0 por la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil.

sherrerass2@est.ups.edu.ec



***Daniela Johanna Moreta Mite***

Ingeniera en Mecatronica

Candidata a Magíster en Automatización para la Industria 4.0 por la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil.

dmoretam@est.ups.edu.ec

***Dirigido por:***



***Alberto Ramírez Farfán***

Ingeniero Electrónico.

Magister en Electronica y Automatización mención en informatica industrial.

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2025 Universidad Politécnica Salesiana.

GUAYAQUIL – ECUADOR – SUDAMÉRICA

SOLANGE LIZBETH HERRERA SANCHEZ

DANIELA JOHANNA MORETA MITE

***DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA MODERNIZACIÓN Y UNIFICACIÓN DEL SISTEMA DE LLENADO Y MEZCLADO DE MATERIALES EN UNA INDUSTRIA DE PLÁSTICO***

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
1.1. Descripción general del problema . . . . .	10
1.2. Objetivos . . . . .	10
1.2.1. Objetivo general . . . . .	10
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	10
1.3. Contribuciones . . . . .	11
1.4. Organización del manuscrito . . . . .	11
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>12</b>
2.1. Estado del Arte . . . . .	13
2.1.1. Enfoques y soluciones propuestas en estudios previos . . . . .	14
2.1.2. Tipos de migración tecnológica aplicados en la industria . . . . .	14
2.2. Metodología . . . . .	15
2.2.1. Métodos . . . . .	15
2.3. Definiciones Previas . . . . .	16
2.3.1. Importancia de la automatización en la industria del plástico . . . . .	16
2.3.2. Migración de sistemas de control . . . . .	17
2.3.3. Software de simulación para la migración . . . . .	17
2.3.4. Ventajas del uso de simulación . . . . .	17
2.3.5. Diseño e implementación de control . . . . .	18
2.3.6. Definición de LOGO y sus limitaciones . . . . .	18
2.3.7. Limitaciones de este sistema . . . . .	18
2.3.8. Fundamentos de los PLC y su aplicación en la industria . . . . .	19
2.3.9. Programación de la lógica e control . . . . .	19
2.3.10. Diseño de un sistema de control . . . . .	20
2.3.11. Diseño de la lógica para procesos de dosificación y mezclado y optimización de procesos mediante PLC . . . . .	20
2.3.12. Beneficios de la modernización con PLC . . . . .	21
2.3.13. Automatización y Optimización de procesos . . . . .	21
2.3.14. Beneficios de la Migración — PLC - LOGO . . . . .	22
2.3.15. Impacto en la productividad . . . . .	23
2.3.16. Proceso de Dosificación y Mezclado . . . . .	23
2.3.17. Métodos de procesamiento de plásticos . . . . .	24
<b>3. Marco Experimental</b>	<b>26</b>
3.1. Tipo de Investigación . . . . .	26
3.2. Metodología para alcanzar los objetivos . . . . .	26
3.2.1. Análisis del sistema actual . . . . .	26
3.2.2. Diagramas de Flujo del sistema actual . . . . .	27

3.2.3.	Diagrama de bloques del sistema de control automatizado . . . . .	32
3.2.4.	Diseño del sistema del control de PLC . . . . .	32
3.2.5.	Diagrama de flujo del sistema unificado . . . . .	33
3.2.6.	Cuadro de variables . . . . .	37
3.2.7.	Descripción de bloques funcionales . . . . .	39
3.2.8.	Diseño del HMI . . . . .	39
3.2.9.	Descripción del sistema eléctrico y de control automatizado . . . . .	41
3.3.	Recursos y Herramientas . . . . .	49
3.4.	Hardware . . . . .	49
3.5.	Software . . . . .	54
3.5.1.	TIA Portal Versión 17 . . . . .	54
3.5.2.	Resultados y simulación del sistema . . . . .	54
3.5.3.	Análisis de resultados . . . . .	62
3.6.	Recomendaciones y Conclusión . . . . .	64
3.6.1.	Conclusión . . . . .	64
3.6.2.	Recomendaciones . . . . .	64

# Índice de figuras

3.1. Diagrama de bloques de dosificación - Parte 1 . . . . .	28
3.2. Diagrama de bloques de dosificación - Parte 2 . . . . .	29
3.3. Diagrama de verificación e ingreso de tiempos de mezclado- Parte 1 . . . . .	30
3.4. Diagrama de verificación e ingreso de tiempos de mezclado- Parte 2 . . . . .	31
3.5. Diagrama de bloques del sistema de control automatizado . . . . .	32
3.6. Diagrama de flujo lógico de operaciones - Parte 01 . . . . .	34
3.7. Diagrama de flujo lógico de operaciones- Parte 02 . . . . .	35
3.8. Diagrama de flujo lógico de operaciones - Parte 03 . . . . .	36
3.9. Bloques Funcionales . . . . .	39
3.10. Pantalla modo automático de operación . . . . .	40
3.11. Pantalla modo manual de operación . . . . .	41
3.12. Acometida Eléctrica . . . . .	42
3.13. Alimentación Motores . . . . .	43
3.14. Servicios Auxiliares . . . . .	43
3.15. Alimentación 24 VDC . . . . .	44
3.16. Modulo Seguridad General . . . . .	45
3.17. Bloques de Válvula . . . . .	45
3.18. Configuración PLC . . . . .	46
3.19. Configuración — Alimentación PLC . . . . .	46
3.20. Topología Red Ethernet . . . . .	47
3.21. Entradas Digitales . . . . .	47
3.22. Salidas Digitales . . . . .	48
3.23. Entradas Analógicas . . . . .	48
3.24. CPU . . . . .	49
3.25. Módulo de Entradas Digitales . . . . .	50
3.26. Módulo de Salidas Digitales . . . . .	50
3.27. Módulo de Entradas Analógicas . . . . .	51
3.28. Módulo de Salidas Análogicas . . . . .	51
3.29. Pantalla Simatic HMI . . . . .	52
3.30. Sensor de nivel Siemens . . . . .	53
3.31. Ingreso de valores de dosificación. . . . .	55
3.32. Simulación de sensores de nivel. . . . .	55
3.33. Inicio del proceso en automático. . . . .	56
3.34. Llenado de tolvas después de 9 segundos. . . . .	56
3.35. Tolvas listas para el mezclado. . . . .	57
3.36. Cierre de válvulas y caída de material. . . . .	57
3.37. Detección de material para iniciar el mezclado. . . . .	58
3.38. Tolvas vacías tras la transferencia de material. . . . .	59
3.39. Inicio del mezclado por 3 segundos. . . . .	59

3.40. Material en reposo antes de la extracción. . . . .	60
3.41. Apertura de la válvula de la tolva 1. . . . .	60
3.42. Apertura de la válvula de la tolva 2. . . . .	61
3.43. Apertura de la válvula de la tolva 3. . . . .	61
3.44. Apertura de la válvula de la tolva 4. . . . .	62

# Índice de cuadros

3.1. Cuadro de sensores y funciones del sistema. . . . .	38
3.2. Comparación de tiempos y producción por turno . . . . .	62

## Resumen

La automatización de procesos en la industria del plástico es crucial para mejorar la eficiencia y reducir los errores operativos. El sistema actual de llenado y mezclado en la planta presenta problemas significativos debido a la falta de integración entre los procesos y el uso de tecnología obsoleta. El problema de investigación radica en la ineficiencia del sistema manual de dosificación y mezcla, que incrementa el riesgo de errores y reduce la productividad. El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un sistema automatizado que unifique y optimice los procesos de llenado y mezcla de materiales en la industria del plástico, mediante la migración de un PLC LOGO a un PLC más moderno, adaptado a los principios de la Industria 4.0. La metodología empleada incluye un análisis detallado del sistema actual, el diseño de la lógica de control para el nuevo PLC utilizando software de simulación y pruebas operativas. El proceso se desarrolla en fases, comenzando con la simulación del sistema y finalizando con la implementación física y evaluación del rendimiento bajo diversas condiciones operativas. Los resultados obtenidos demuestran que la modernización del sistema mejora significativamente la precisión en el control de los procesos de dosificación y mezcla, reduciendo los tiempos de ciclo y mejorando la eficiencia operativa. La integración de un PLC más avanzado permite un control más flexible y adaptable, lo que favorece tanto la productividad como la capacidad de monitoreo en tiempo real.

## Abstract

Process automation in the plastic industry is crucial for improving efficiency and reducing operational errors. The current filling and mixing system in the plant presents significant problems due to the lack of integration between processes and the use of obsolete technology. The research problem lies in the inefficiency of the manual dosing and mixing system, which increases the risk of errors and reduces productivity. The main objective of this project is to develop an automated system that unifies and optimizes the filling and mixing processes of materials in the plastic industry, through the migration from a LOGO PLC to a more modern PLC, adapted to Industry 4.0 principles. The methodology employed includes a detailed analysis of the current system, the design of control logic for the new PLC using simulation software and operational testing. The process is developed in phases, beginning with system simulation and ending with physical implementation and performance evaluation under various operational conditions. The results obtained demonstrate that system modernization significantly improves precision in the control of dosing and mixing processes, reducing cycle times and improving operational efficiency. The integration of a more advanced PLC enables more flexible and adaptable control, which favors both productivity and real-time monitoring capability.

# Capítulo 1

## Introducción

En la actualidad, la automatización se ha consolidado como un pilar fundamental para incrementar la eficiencia y la productividad en los procesos industriales, especialmente en el sector del plástico. Investigaciones recientes han demostrado que la incorporación de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de control avanzados contribuye significativamente a optimizar las operaciones, reduciendo errores operativos y mejorando la precisión en la ejecución de tareas [1][2]. Tal como lo señalan Caruso y Filice (2021), la digitalización está transformando la industria del plástico, donde factores como la conectividad, la trazabilidad y la eficiencia son cada vez más determinantes [1]. Pese a estos avances, muchas empresas aún operan con estructuras fragmentadas, donde las etapas de dosificación y mezclado se controlan de manera aislada, frecuentemente mediante equipos desactualizados. Aguilar et al. (2019) advierten que este tipo de configuraciones incrementa la probabilidad de errores, limita la supervisión del proceso y afecta negativamente la trazabilidad [cap. 2.1.1]. En particular, el uso de controladores básicos como el LOGO! de Siemens representa una limitación crítica, ya que su baja capacidad de procesamiento y falta de escalabilidad restringen el desarrollo de soluciones flexibles y modernas [2][3]. En el caso específico de la planta analizada, el personal operativo realiza de forma manual el llenado de tolvas, mientras que el sistema de mezclado funciona de manera independiente con un controlador diferente. Esta separación incrementa la carga de trabajo, reduce la eficiencia operativa y prolonga los ciclos de producción. Además, el sistema HMI disponible actualmente no permite visualizar información en tiempo real de forma clara, debido a su obsolescencia, lo cual dificulta una gestión segura y efectiva de los procesos. La adopción de un sistema automatizado, basado en controladores lógicos programables (PLCs) de nueva generación, permitiría integrar las etapas de dosificación y mezclado dentro de una única plataforma de control. Este tipo de solución mejora el desempeño general del sistema, reduce los tiempos muertos, y facilita la implementación de estrategias modernas como el mantenimiento predictivo, todo ello en línea con los principios de la Industria 4.0 [1] [2][4]. Casos documentados como los de Zhang y Xie (2020) y Kumar y Singh (2021) han demostrado que este tipo de migraciones tecnológicas —respaldadas por simuladores industriales como TIA Portal o SIMIT— contribuyen a mejorar la calidad del producto final y a reducir los tiempos de ciclo [cap. 2.1.1]. Por lo tanto, este proyecto se enfoca en el diseño e implementación de un sistema de automatización integral que unifique los procesos de llenado y mezclado en la industria del plástico, mediante la migración a un PLC moderno y una interfaz HMI acorde a las necesidades actuales y futuras de producción.

## 1.1. Descripción general del problema

La automatización para el abastecimiento de materia prima y la integración de los procesos manuales de dosificación y mezclado son esenciales para mejorar la eficiencia y productividad en la producción. Actualmente, el operador debe supervisar individualmente el llenado de cada tolva, utilizando un controlador independiente para la etapa de mezclado. Esta fragmentación de los procesos no solo aumenta la carga de trabajo del operador, sino que también incrementa el riesgo de errores y reduce la eficiencia general del sistema.

La migración a un nuevo PLC permitirá la unificación de estos dos procesos, empleando un controlador independiente del fabricante que facilite la dosificación y el mezclado de manera automática. Esta unificación optimizará los tiempos de llenado de materiales en las tolvas, mejorando la coordinación entre los diferentes componentes del sistema y reduciendo el tiempo de inactividad. Además, la actualización del sistema de mezclado con una HMI ajustada a las necesidades operativas proporcionará una interfaz más intuitiva y funcional, mejorando la capacidad de control y monitoreo del operador.

El sistema actual de mezclado ha presentado problemas significativos debido a la obsolescencia del HMI, que ya no permite visualizar la información necesaria para su operación. Además, las dimensiones limitadas del HMI original restringen las opciones disponibles para el operador, dificultando la operación eficiente del sistema. Como el HMI está diseñado para trabajar solo con el PLC original, que también está obsoleto, es por eso por lo que se debe migrar a una versión más moderna o a un controlador alternativo compatible. Esta actualización no solo resolverá los problemas actuales, sino que también mejorará la flexibilidad y capacidad del sistema para futuras expansiones y mejoras.

El proceso de mezclado incluye una etapa de dosificación de cuatro tolvas, cada una con componentes esenciales como polietileno de alta densidad, scrap, UV y pigmento. Actualmente, el llenado de estas tolvas se realiza de manera manual mediante dos bombas de vacío programadas con un controlador Logo. Esta configuración manual ralentiza el proceso, ya que el operador debe esperar a que una tolva se llene completamente antes de iniciar el llenado de la siguiente. Automatizar este proceso mediante la migración a un nuevo PLC permitirá una dosificación más eficiente y flexible, adaptándose a las necesidades específicas de la operación y reduciendo significativamente el tiempo de ciclo.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de llenado y mezclado de materia prima en una industria de plástico, mediante la migración del PLC y que permita la unificación de los procesos en un solo sistema de control.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de control para el PLC, analizando los parámetros de operación en su funcionamiento, de manera que se genere una innovación en el proceso de dosificación y mezcla de materiales.
- Programar la lógica de control en modo manual y automático del sistema, utilizando un software compatible con el PLC, permitiendo que el sistema alcance los niveles de funcionalidad y eficiencia requeridos.

- Implementar la migración del sistema de control utilizando un software de simulación que permita la réplica de todas las señales que intervienen en el proceso.

### 1.3. Contribuciones

La modernización del sistema de llenado y mezcla de materia prima en una planta de plásticos, mediante la actualización del PLC, ofrece diversas ventajas técnicas y organizativas. Consolidar los procesos de dosificación y mezcla en un solo sistema de control permite gestionar de manera más eficiente, disminuyendo el tiempo de inactividad y aumentando la productividad global. La automatización reduce la necesidad de intervención manual, disminuyendo así el riesgo de errores humanos durante la dosificación y mezcla. La instalación de sensores y actuadores adecuados garantiza un control exacto sobre las tasas de flujo y los niveles de llenado, mejorando tanto la calidad del producto final como la consistencia del proceso.

Actualizar a un PLC más moderno permite incorporar nuevas funcionalidades y mejorar la capacidad de respuesta del sistema. La simulación del sistema con software antes de la implementación física permite probar y ajustar los procesos de manera innovadora. La opción de operar en modos manual y automático ofrece flexibilidad para realizar ajustes rápidos según las demandas de producción. Además, un sistema bien integrado es más fácilmente escalable, lo que facilita futuras expansiones o adaptaciones del proceso de producción.

La recolección y análisis de datos operativos facilita la identificación de áreas de mejora continua, lo que ayuda a tomar decisiones estratégicas informadas. También proporciona oportunidades para la formación del personal en nuevas tecnologías y técnicas, aumentando sus habilidades. Un control más preciso en la dosificación y mezcla contribuye a reducir el desperdicio de materia prima, promoviendo prácticas más sostenibles en la producción.

### 1.4. Organización del manuscrito

El manuscrito está organizado en capítulos, comenzando con una introducción general que describe el contexto y los problemas actuales en la automatización de la industria del plástico. A continuación, se presentan los objetivos del proyecto, las contribuciones esperadas y la estructura del documento. En el capítulo 2 se abordará la modernización de sistemas de control industrial, con un enfoque específico en la migración de un sistema LOGO a un PLC más avanzado y sus beneficios para el proceso de producción.

## Capítulo 2

# Marco Teórico

La modernización de sistemas de control industrial es un proceso crucial para mejorar la eficiencia operativa y la precisión en la producción, especialmente en aplicaciones específicas como la dosificación y el mezclado de plásticos. Este capítulo se enfoca en la migración del sistema LOGO a controladores lógicos programables (PLC), destacando las limitaciones inherentes del sistema LOGO, que incluyen su memoria limitada, falta de escalabilidad y dificultades de integración con tecnologías emergentes.

Los PLC modernos ofrecen una serie de ventajas significativas, tales como una mayor capacidad de procesamiento, flexibilidad y compatibilidad con tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA). Estas características permiten no solo optimizar los procesos de producción, sino también integrar nuevas funcionalidades que son esenciales en el contexto actual de la Industria 4.0.

El enfoque se centra en la optimización del uso de componentes críticos como tolvas, mezcladoras y balanzas de precisión, todos controlados a través de los PLCs. Esto no solo promete una mayor precisión en la producción, sino también una reducción significativa en los errores operativos y un mejor control de calidad.

Este capítulo establece así un marco claro para entender cómo la modernización del sistema de control no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también posiciona a las empresas para enfrentar los desafíos futuros en un mercado cada vez más competitivo y tecnológico.

## 2.1. Estado del Arte

Un PLC, o Control Lógico Programable, es un dispositivo computarizado utilizado para automatizar procesos electromecánicos. Según la NEMA, es un instrumento electrónico que almacena instrucciones para controlar máquinas y procesos. Sus ventajas incluyen operaciones en tiempo real, comunicación con otros dispositivos y la capacidad de formar redes de autómatas a través de funciones específicas y canales de comunicación. [5] Los controladores lógicos programables (PLC) son dispositivos integrados diseñados para automatizar y supervisar procesos físicos, como ensamblaje y gasoductos. Utilizan programas de lógica de control para definir el funcionamiento de un proceso industrial. La norma IEC61131-3 establece cinco lenguajes para escribir esta lógica. Los PLC tienen interfaces de comunicación como puertos serie RS-232, Ethernet y USB para transferir la lógica de control mediante software de ingeniería[6]. La importancia de los PLC en la industria radica en su capacidad para automatizar procesos con mínima o nula intervención humana. Esto permite operaciones flexibles, eficientes y competitivas, rectificando preocupaciones anteriores sobre procesos manuales lentos y costosos. La automatización con PLC también contribuye a la conservación de energía y recursos, abriendo la puerta a avances como la Industria 4.0, que ofrece beneficios como la descentralización de procesos y la adquisición de datos en tiempo real[1]. La industria del plástico ha experimentado un desarrollo significativo a lo largo del tiempo, convirtiéndose en una parte esencial de la vida moderna. Desde la invención de celuloide hasta la creación de la baquelita, el avance en los materiales plásticos ha permitido satisfacer demandas importantes y reemplazar materiales naturales en aplicaciones clave, lo que ha contribuido en gran medida a su importancia en la actualidad [7]. Según el reporte realizado por Mergent [8], los principales métodos de procesamiento del plástico incluyen el moldeo por inyección, el moldeo por compresión y el moldeo por reacción. Cada método tiene sus propias características y ventajas, y se eligen según el tipo específico de producto a fabricar. El moldeo por inyección implica la fusión del plástico, inyección en un molde frío y enfriamiento para solidificar. Por otro lado, el moldeo por compresión utiliza polvo de plástico comprimido en un molde, mientras que el moldeo por reacción emplea líquidos que reaccionan químicamente para convertirse en plástico. Según Caruso y Filice [9], la industria del plástico está inmersa en un proceso de cambio, en el que la digitalización permea cada vez más sus operaciones. En este escenario, la eficiencia en la producción se vuelve una prioridad creciente, y la comunicación entre equipos en una planta emerge como un factor clave. El sitio web *Plastics Technology México* [10], expertos en la industria del plástico, afirman que la automatización está adquiriendo una importancia creciente para los transformadores de plástico. En vista de la escasez de mano de obra, los fabricantes pueden lograr un margen de productividad crucial al automatizar ciertos procesos[11]. La Automatización Industrial aumenta la eficiencia y reduce costes en la producción, ya que es una rama de la ingeniería y aplica la integración de tecnologías en los campos de control automático industrial, el control de procesos y las redes de comunicación. Sin embargo, muchos sistemas de control están obsoletos y necesitan ser actualizados para seguir siendo competitivos [12].

La migración de sistemas de automatización implica actualizar un sistema obsoleto para mejorar la eficiencia, reducir costos operativos, elevar la calidad y precisión de los procesos, y fortalecer la seguridad en la planta. La migración puede ser a través de un retrofit o migración completa a un nuevo sistema, con el objetivo de reemplazar la tecnología existente con una versión más nueva IEEE Power, Energy Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers[13].

La actualización del sistema de automatización permite una integración más efectiva con tecnologías como la inteligencia artificial y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), mejorando la conectividad, la recolección de datos y la toma de decisiones [2]. La migración de un PLC implica reemplazar un modelo obsoleto por uno más moderno, lo cual es necesario cuando los modelos antiguos ya no son compatibles, están obsoletos o no pueden manejar la carga de trabajo actual[14]. Los sistemas de dosificación son fundamentales en la industria, ya que representan una tecnología que posibilita la distribución precisa de la materia prima en cantidades y secuencias temporales precisas. Estos sistemas tienen como finalidad determinar el peso y medir las cantidades con el fin de mejorar la eficiencia de la producción y la calidad del producto[15].

Los sistemas automatizados simplifican los procesos de producción y garantizan la calidad del producto final. Al buscar automatizar la fabricación de un producto, resulta evidente que el proceso manual no es práctico [16].

### **2.1.1. Enfoques y soluciones propuestas en estudios previos**

La comunidad científica ha desarrollado diversas estrategias para la modernización de sistemas de control fragmentados o que emplean controladores con capacidades limitadas, especialmente en industrias que dependen de procesos secuenciales, como la dosificación y el mezclado. Por ejemplo, Zhang y Xie (2020) implementaron un sistema automatizado basado en PLC Siemens para reemplazar controladores independientes en procesos de mezcla por lotes, logrando una reducción del 28 % en los tiempos de ciclo y una mejora del 15 % en la uniformidad del producto final. [17]

De manera similar, Aguilar et al. (2019) diseñaron un sistema integrado SCADA-PLC para consolidar las etapas de mezcla y dosificación en una planta de alimentos, utilizando sensores de nivel y válvulas automáticas conectadas mediante el protocolo Modbus. Los resultados evidenciaron una disminución significativa en los errores de carga y una mayor trazabilidad del proceso. [18]

Por último, Kumar y Singh (2021) llevaron a cabo la migración de un PLC LOGO! a un sistema S7-1200 en una planta química, incorporando una interfaz HMI táctil de última generación y funcionalidades de IoT. Este estudio destacó la importancia de realizar simulaciones previas con herramientas como TIA Portal y SIMATIC para minimizar los riesgos asociados a la integración del sistema. [19]

### **2.1.2. Tipos de migración tecnológica aplicados en la industria**

Existen distintos enfoques para llevar a cabo una migración tecnológica en sistemas de automatización industrial, entre los cuales destacan:

1. Migración parcial: Se conservan algunos elementos del sistema original (sensores, cableado, actuadores) y se sustituyen únicamente el controlador y la interfaz HMI. Es una opción económica y menos invasiva, pero puede presentar restricciones en escalabilidad.
2. Migración total: Implica el rediseño completo del sistema, incluyendo el cambio de arquitectura, protocolos de comunicación, PLC, sensores y visualización. Aunque más costosa, ofrece mayor flexibilidad y alineación con los principios de la Industria 4.0. restricciones en escalabilidad.

3. Migración híbrida: Combina elementos del sistema antiguo con nuevas tecnologías, como la implementación de PLCs modernos que se comunican con equipos legados mediante gateways o módulos de conversión de protocolos.

En todos los casos, se recomienda el uso de plataformas de simulación como TIA Portal o Factory I/O para validar la lógica de control antes de su implementación física. Este enfoque reduce significativamente el riesgo de fallos durante el comisionamiento y acelera el proceso de validación operativa.[20]

## 2.2. Metodología

Para diseñar el sistema de control del PLC, se comenzará con un análisis detallado de los requisitos del proceso de dosificación y mezcla de materiales. Esto incluye la identificación de los parámetros críticos que influyen en la eficiencia y precisión del proceso, tales como las tasas de flujo de los materiales, tiempos de mezcla, y niveles de llenado. Con esta información, se desarrollarán diagramas de flujo del proceso y se seleccionarán los sensores y actuadores más adecuados para garantizar un control preciso y confiable. Posteriormente, se procederá a programar la lógica de control en el PLC, utilizando un software compatible y lenguajes específicos como Ladder Diagram o Structured Text, asegurando que el sistema opere tanto en modo manual como automático. La programación de la lógica de control se enfocará en gestionar eficientemente las señales de entrada y salida, controlando los actuadores en función de las lecturas de los sensores. El programa se diseñará para cumplir con los niveles de funcionalidad y eficiencia requeridos. Se configurarán también los parámetros de comunicación necesarios para la interacción del PLC con otros componentes del sistema, asegurando una operación coordinada y sin interrupciones. Una vez instalado el nuevo sistema, se cargarán los programas diseñados y se realizarán pruebas iniciales en modo manual para verificar las conexiones y el funcionamiento básico del sistema. Estas pruebas permitirán identificar y corregir posibles errores en las primeras fases, y realizar los ajustes y calibraciones necesarios para asegurar una operación coordinada y eficiente de todos los componentes del sistema. Para implementar la migración del sistema de control, se utilizará un software de simulación que permita replicar todas las señales que intervienen en el proceso. Este software permitirá probar y verificar que la lógica de programación funcione según los requisitos operativos antes de la implementación física. Se realizarán simulaciones detalladas para ajustar los parámetros de operación y asegurar que el sistema cumpla con los requisitos establecidos. Posteriormente, se evaluará el funcionamiento del sistema de llenado y mezclado de materia prima mediante pruebas operativas bajo diversas condiciones. Se registrarán y analizarán datos operativos como tiempos de ciclo y precisión de llenado, identificando áreas de mejora. Finalmente, se realizarán ajustes en el programa del PLC para optimizar el rendimiento del sistema, garantizando su precisión y eficiencia.

### 2.2.1. Métodos

- Método Inductivo - El método inductivo consiste en un enfoque lógico de razonamiento, se basa en analizar casos particulares para llegar a una conclusión general. En el contexto de este proyecto, implica examinar el funcionamiento del proyecto cuando se comparte totalmente.

- Método de Análisis - Este método permitirá realizar experimentos y observaciones para sacar conclusiones. Se basa en el conocimiento general y las características de cada una de sus partes [21].
- Investigación de Campo - A través de la investigación de campo, se recopilan datos en el contexto real del problema bajo investigación, siendo beneficioso para la comprensión de situaciones prácticas que requieren aplicación directa en el entorno real[22].

## 2.3. Definiciones Previas

Actualizar los procesos de llenado y mezcla en la industria del plástico mediante la adopción de PLCs avanzados es clave para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y aumentar la calidad del producto final. Integrar tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) facilita la transición hacia la Industria 4.0, proporcionando una mejor conectividad, una recolección de datos más detallada y una toma de decisiones basada en información en tiempo real[23]. Este enfoque no solo moderniza la automatización, sino que también ofrece una solución que puede adaptarse a las necesidades cambiantes del proceso productivo. Al incorporar estas tecnologías, las empresas pueden optimizar sus operaciones, mantenerse competitivas en un entorno en constante cambio y mejorar la eficiencia en la producción. La capacidad de ajustar rápidamente el sistema en función de datos en tiempo real permite una respuesta ágil ante problemas, fortaleciendo la adaptabilidad y la robustez del proceso productivo.

### 2.3.1. Importancia de la automatización en la industria del plástico

La automatización en la industria del plástico ha transformado profundamente la eficiencia operativa, la calidad del producto y la sostenibilidad. La incorporación de tecnologías avanzadas ha permitido una optimización significativa de los procesos de producción, reduciendo los tiempos de ciclo y minimizando tanto errores como defectos[24]. Un claro ejemplo de esta mejora es un estudio de caso en Dialnet, que demuestra cómo la automatización en una máquina inyectora de plástico permitió un control preciso de movimientos, temperaturas y presiones de inyección. La integración de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA) ha llevado estos beneficios a un nivel superior, permitiendo un monitoreo en tiempo real, el mantenimiento predictivo y la optimización continua de los procesos. Estos avances no solo aumentan la eficiencia, sino que también promueven la sostenibilidad al reducir el consumo energético y los residuos[25]. Adicionalmente, la automatización ha mejorado notablemente la seguridad en el trabajo al disminuir la exposición a entornos peligrosos y tareas repetitivas, permitiendo a los empleados centrarse en actividades más estratégicas. La flexibilidad de los sistemas automatizados modernos facilita una rápida adaptación a los cambios en la demanda del mercado y la personalización de productos, lo cual es crucial en el entorno de producción bajo demanda. Dentro del contexto de la Industria 4.0, la automatización está liderando la creación de fábricas inteligentes, caracterizadas por una conectividad avanzada y una capacidad superior de análisis de datos. Este avance no se limita a grandes corporaciones; pequeñas y medianas empresas también están adoptando soluciones automatizadas escalables, democratizando el acceso a tecnología avanzada y nivelando el terreno competitivo[26]. La automatización está reformando toda la cadena de valor,

desde la gestión de inventarios y logística hasta el control de calidad y el servicio al cliente, generando un ecosistema industrial más eficiente e interconectado. La incorporación de gemelos digitales, una tecnología emergente, permite la simulación y optimización de procesos antes de su implementación real, reduciendo costos y tiempos de desarrollo. Además, esta tecnología facilita la transición hacia modelos de economía circular al mejorar el reciclaje y la reutilización de materiales en la industria del plástico.

### **2.3.2. Migración de sistemas de control**

Actualizar los sistemas de control en la industria del plástico es cada vez más imprescindible debido a la obsolescencia de la tecnología actual, la necesidad de integrar innovaciones recientes y el deseo de optimizar la eficiencia de los procesos. Los sistemas antiguos suelen volverse ineficaces con el tiempo, lo que puede llevar a una disminución en el rendimiento y un aumento en los costos operativos; por lo tanto, la transición a sistemas más modernos es esencial para mantener la competitividad en un mercado en constante evolución. La incorporación de tecnologías avanzadas, como el Internet de las Cosas (IoT) y la automatización avanzada, facilita una mayor optimización de los procesos de producción. La modernización de los sistemas permite una integración más eficiente de estas nuevas tecnologías, lo que aumenta la flexibilidad y la capacidad operativa. Además de reducir los costos y mejorar la calidad del producto, la actualización de los sistemas de control también contribuye a la mejora continua de la precisión y eficiencia de los procesos industriales[4]. Esta transformación no solo impulsa una operación más eficaz, sino que también permite a las empresas adaptarse rápidamente a las demandas cambiantes del mercado y explorar nuevas oportunidades. La capacidad de incorporar soluciones avanzadas y adaptarse a los avances tecnológicos es clave para lograr una ventaja competitiva sostenible y asegurar una operación industrial moderna y eficiente.

### **2.3.3. Software de simulación para la migración**

Para realizar la migración de sistemas de control, es crucial emplear herramientas de simulación que permitan probar y verificar el funcionamiento de los nuevos sistemas antes de su implementación en un entorno real. Entre las opciones más destacadas se encuentran:

- TIA Portal: Este entorno de ingeniería unificado permite el diseño, simulación, y programación de sistemas de automatización, con un enfoque particular en los dispositivos y controladores Siemens. Es especialmente útil para proyectos de migración y modernización, ya que facilita la simulación de controladores y la configuración de redes industriales[27].
- LOGO! Soft Comfort: Esta herramienta de Siemens está diseñada para la programación de controladores lógicos LOGO, proporcionando una interfaz gráfica que permite simular y validar la lógica de control antes de su implementación en el HardwareLogo2020.

Estas herramientas de simulación son esenciales para asegurar que los nuevos sistemas de control se comporten como se espera y que los componentes se integren correctamente antes de ser desplegados en un entorno operativo real.

### **2.3.4. Ventajas del uso de simulación**

La simulación es fundamental para la migración de sistemas de control, ya que ofrece importantes ventajas operativas. Permite anticipar y resolver posibles problemas antes de

que ocurran en el entorno real, reduciendo significativamente el riesgo de fallos durante la transición. Esta validación previa en un entorno simulado también ayuda a evitar costosas interrupciones en la producción, disminuyendo el tiempo de inactividad y, por ende, generando importantes ahorros en costos. Además, la simulación facilita una planificación y ejecución más eficiente de la migración, garantizando que todos los componentes del sistema funcionen correctamente antes de su implementación definitiva. Esta metodología no solo optimiza el proceso de integración, sino que también mejora la adaptabilidad del sistema a nuevas demandas o ajustes necesarios, asegurando una transición más fluida y exitosa hacia las nuevas tecnologías[28].

### **2.3.5. Diseño e implementación de control**

- **Análisis de procesos:** Un análisis exhaustivo de cada actividad y subproceso dentro del macroproceso productivo es esencial para optimizar la operación. Esto implica no solo la observación directa en la planta, sino también un análisis meticuloso de los datos disponibles, así como la revisión detallada de los procesos y registros asociados. Esta evaluación integral permite identificar áreas de mejora, optimizar flujos de trabajo y garantizar una comprensión completa del funcionamiento general del sistema[29].
- **Software y programación:** El software destinado al control de variables del proceso es crucial para la automatización efectiva. Los PLC deben ser configurados para realizar una variedad de tareas de control, que abarcan desde funciones básicas hasta procesos complejos. El empleo de lenguajes de programación avanzados es fundamental para diseñar aplicaciones a medida que se ajusten a las demandas específicas del sector industrial. Estos lenguajes permiten desarrollar soluciones personalizadas que optimizan la eficiencia operativa, mejoran la precisión del control y facilitan la integración de nuevas tecnologías en el sistema de producción.

### **2.3.6. Definición de LOGO y sus limitaciones**

El sistema LOGO de Siemens ofrece una solución básica para la automatización de tareas simples. Conocido por su diseño intuitivo y facilidad de programación, este sistema se utiliza principalmente para controlar funciones básicas como luces, motores y otros dispositivos de baja complejidad. Los módulos LOGO son compactos y asequibles, lo que los convierte en una opción ideal para instalaciones pequeñas que no requieren sistemas de control sofisticados. Su diseño modular permite una implementación rápida y económica en proyectos que demandan funcionalidad sin complicaciones, facilitando también el mantenimiento y futuras ampliaciones. Esta solución es particularmente ventajosa para aplicaciones en las que se busca una automatización eficiente sin la necesidad de integrar tecnologías avanzadas o realizar inversiones significativas [3]

### **2.3.7. Limitaciones de este sistema**

Aunque el sistema LOGO de Siemens es adecuado para tareas de automatización básica, presenta limitaciones significativas que lo hacen inadecuado para aplicaciones industriales más complejas, como las involucradas en el proceso de llenado y mezclado de materiales. En primer lugar, la capacidad de procesamiento y memoria del LOGO es bastante limitada. Esta restricción afecta su habilidad para ejecutar una amplia gama de operaciones simultáneamente o gestionar funciones complejas, lo que resulta problemático en entornos industriales que requieren un control avanzado y una gestión detallada

de los datos[30]. En segundo lugar, el sistema LOGO carece de la escalabilidad necesaria para manejar procesos industriales con múltiples entradas y salidas. Diseñado para aplicaciones sencillas, no puede adaptarse eficazmente a la gestión de procesos complejos que requieren la coordinación de numerosas señales y actuadores, un aspecto crítico en la industria del plástico. Además, el LOGO tiene capacidades limitadas para integrarse con redes industriales y otros sistemas de control avanzados. Esto puede generar dificultades en configuraciones de automatización que requieren la comunicación entre diversos dispositivos y sistemas, lo que es esencial para una operación fluida y eficiente. Finalmente, el sistema LOGO no es compatible con tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA). En el marco de la Industria 4.0, donde la conectividad y la integración tecnológica son fundamentales para la optimización de procesos, la falta de soporte para estas tecnologías limita la adaptabilidad y evolución del sistema LOGO en un entorno industrial moderno.

### **2.3.8. Fundamentos de los PLC y su aplicación en la industria**

Los controladores lógicos programables (PLC) son dispositivos computacionales especializados en la automatización y gestión de procesos de fabricación. Se destacan por su robustez, versatilidad y capacidad para operar de manera confiable en condiciones industriales exigentes. La integración de tecnologías avanzadas, como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA), ha ampliado significativamente sus funcionalidades. Estas innovaciones permiten a los PLC ofrecer un control más preciso y eficiente, adaptándose a las demandas cambiantes de los entornos de producción modernos. La combinación de estas tecnologías con los PLC no solo mejora la automatización, sino que también optimiza el rendimiento de los procesos industriales al proporcionar una supervisión y análisis de datos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones informadas y la adaptación dinámica a nuevas condiciones operativas[31].

### **2.3.9. Programación de la lógica e control**

La programación de la lógica de control en un PLC se lleva a cabo utilizando software especializado y diversos lenguajes de programación como Ladder Diagram, Diagrama de Bloques de Funciones, y Texto Estructurado, entre otros. Estos lenguajes permiten a los ingenieros crear secuencias detalladas que especifican cómo el PLC debe responder a distintas entradas y situaciones operativas. El proceso de programación está diseñado para manejar de manera eficiente las señales de entrada y salida, controlando los actuadores basándose en los datos proporcionados por los sensores. Además, se configuran los protocolos de comunicación necesarios para asegurar que el PLC interactúe correctamente con otros componentes del sistema, garantizando una operación integrada y sin contratiempos. La finalidad de la programación es asegurar que el sistema alcance el nivel de eficiencia y funcionalidad necesario, operando tanto en modos manuales como automáticos, lo que otorga flexibilidad en la gestión del proceso. Los PLCs modernos no solo son capaces de realizar funciones básicas de automatización, sino que también pueden integrarse con tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA). Esta integración les permite expandir sus capacidades, logrando un control y monitoreo más precisos, y adaptándose mejor a las cambiantes necesidades de la industria. Con la ayuda de estas tecnologías avanzadas, los PLCs actuales no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también contribuyen a la reducción del consumo energético, permiten un mantenimiento predictivo más efectivo y optimizan los procesos industriales para mejorar tanto la productividad como la calidad del producto final.

### 2.3.10. Diseño de un sistema de control

El diseño de un sistema de control con PLC (Controlador Lógico Programable) requiere la integración de múltiples componentes y la implementación de estrategias avanzadas de control para optimizar procesos industriales, como los de dosificación y mezclado. Componentes clave de un sistema de control con PLC:

- **Sensores:** Dispositivos que monitorizan variaciones en el entorno o en el proceso, tales como cambios de temperatura, presión, o niveles de materiales.
- **Actuadores:** Equipos que realizan acciones físicas basadas en las señales recibidas del PLC, como la apertura de válvulas, el encendido de motores, o la manipulación de otros dispositivos de control.
- **Módulos de Entrada/Salida (I/O):** Conectan el PLC a los sensores y actuadores. Los módulos de entrada capturan las señales enviadas por los sensores, mientras que los módulos de salida envían las órdenes del PLC a los actuadores.
- **PLC (Controlador Lógico Programable):** Actúa como el núcleo del sistema, procesando la información recibida de los sensores y emitiendo comandos a los actuadores de acuerdo con la lógica de control programada.
- **Interfaz Hombre-Máquina (HMI):** Facilita la interacción del operador con el sistema, permitiendo la visualización de datos en tiempo real y la modificación de parámetros de operación según sea necesario.

Estos componentes trabajan juntos para garantizar un control preciso y eficiente de los procesos industriales, adaptándose a las necesidades específicas de producción y mejorando la calidad operativa general.

### 2.3.11. Diseño de la lógica para procesos de dosificación y mezclado y optimización de procesos mediante PLC

El diseño de la lógica de control es fundamental para asegurar la exactitud en la dosificación y la uniformidad en la mezcla de materiales. Entre los aspectos clave a considerar se incluyen:

- **Parámetros Operativos:** Es esencial definir correctamente los tiempos de mezcla, las velocidades de rotación y las proporciones de los materiales para lograr resultados consistentes. Por ejemplo, ajustar adecuadamente el tiempo de mezcla puede evitar problemas como la sedimentación de los materiales.
- **Control PID:** La utilización de un controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) puede optimizar la precisión de la dosificación al ajustar continuamente las salidas en respuesta a las variaciones detectadas en el proceso.
- **Secuencia de Operaciones:** Establecer una secuencia operativa clara, donde cada etapa del proceso esté bien definida, es crucial para evitar errores y garantizar que todos los componentes funcionen de manera coordinada.

La optimización de procesos es clave para mejorar la eficiencia y reducir el desperdicio. Algunas técnicas incluyen:

- **Control PID:** Ajustar los parámetros del controlador PID para optimizar la respuesta del sistema puede reducir el tiempo de estabilización y minimizar el error en el proceso de dosificación.
- **Lógica Difusa:** Utilizar lógica difusa para manejar incertidumbres en los procesos puede mejorar la adaptabilidad del sistema a variaciones en las condiciones de operación.
- **Monitoreo y Ajustes en Tiempo Real:** Implementar sistemas que permitan el monitoreo continuo de los parámetros operativos y ajustes automáticos puede llevar a una mayor eficiencia y reducción de desperdicios.

### **2.3.12. Beneficios de la modernización con PLC**

- **Eficiencia Operativa:** Permiten una mayor precisión y reducen los errores humanos, lo cual llega a mejorar la eficiencia general de la producción y reducir los tiempos de inactividad.
- **Reducción de costos:** Reduce costos asociados con errores y tiempos de inactividad, mejorando la rentabilidad de la producción.
- **Mejora de la calidad del producto:** La precisión y consistencia en los procesos de llenado y mezclado garantizan una mayor calidad del producto.
- **Flexibilidad y Escalabilidad:** Permiten adaptarlos en los procesos sin necesidad de modificaciones, facilitando la escalabilidad y la flexibilidad en la producción.

### **2.3.13. Automatización y Optimización de procesos**

1. **Automatización de Procesos:** La implementación de PLCs para la automatización de procesos resulta en mejoras significativas en eficiencia, reducción de costos y precisión en la producción. Al automatizar tanto tareas repetitivas como complejas, los PLCs optimizan el rendimiento al disminuir los tiempos de inactividad y minimizar errores. Esto permite una respuesta más flexible a cambios en la demanda o en los procedimientos, promoviendo una mayor consistencia en los resultados y la capacidad de gestionar procesos industriales más complejos. La automatización también facilita ajustes rápidos y precisos, adaptándose a nuevas exigencias de producción y asegurando un nivel constante de calidad en el output.

Además, los PLCs permiten integrar diferentes sistemas y componentes, facilitando la comunicación entre ellos. Esto es crucial para la creación de sistemas más complejos que requieren una coordinación precisa entre múltiples máquinas y dispositivos. La capacidad de programar y ajustar estos controladores a través de software especializado también reduce el tiempo requerido para implementar cambios en las líneas de producción, lo que se traduce en una mayor agilidad operativa.

2. **Control de Calidad y Seguridad:** Los PLCs son esenciales para garantizar la calidad y seguridad en los procesos industriales al proporcionar un control riguroso y constante sobre las variables operativas. La supervisión continua y la capacidad para realizar ajustes automáticos aseguran que los procesos se mantengan dentro de los parámetros seguros y operativos. Esto permite detectar y corregir errores de manera rápida, aumentando la seguridad al reducir la necesidad de intervención humana en tareas riesgosas. Además, el monitoreo en tiempo real y el ajuste preciso

de los parámetros contribuyen a una mejora continua de la calidad del producto, reduciendo la frecuencia de defectos y asegurando que se cumplan consistentemente los estándares de producción.

La implementación efectiva de PLCs también incluye características avanzadas como alarmas automáticas que notifican a los operadores sobre condiciones anómalas o peligrosas, lo que permite una respuesta rápida ante situaciones críticas. Esto no solo mejora la seguridad del entorno laboral, sino que también protege el equipo e incrementa la vida útil de las máquinas involucradas en el proceso productivo.

1. **Flexibilidad:** Los sistemas basados en PLC pueden ser fácilmente reprogramados para adaptarse a nuevos productos o cambios en el proceso.
2. **Escalabilidad:** Permiten agregar módulos adicionales según sea necesario, facilitando así la expansión del sistema sin necesidad de rediseñar completamente la infraestructura existente.
3. **Mantenimiento Sencillo:** Los diagnósticos automáticos integrados ayudan a identificar problemas rápidamente, lo que reduce el tiempo de inactividad y facilita el mantenimiento preventivo.
4. **Integración con Industria 4.0:** Los PLCs son fundamentales en la transición hacia fábricas inteligentes, donde se integran con tecnologías como IoT (Internet of Things) para optimizar aún más los procesos industriales mediante análisis avanzados y aprendizaje automático.

#### **2.3.14. Beneficios de la Migración — PLC - LOGO**

Los PLCs proporcionan una capacidad avanzada de procesamiento y memoria, permitiendo la gestión de operaciones complejas y simultáneas con mayor eficacia. Su arquitectura adaptable facilita la modificación y mejora de procesos sin necesidad de reemplazar el hardware, lo cual es ideal para entornos que requieren ajustes continuos. La capacidad de los PLCs para integrarse con redes y sistemas también impulsa el desarrollo de fábricas inteligentes, donde la conectividad y la coordinación entre diversos componentes optimizan la producción y la eficiencia operativa. Además, su flexibilidad y escalabilidad aseguran que los sistemas de automatización puedan evolucionar y adaptarse a los cambios en la demanda y en la tecnología, maximizando el retorno de la inversión y manteniendo la competitividad en un entorno industrial en constante cambio.

1. **Facilidad de Programación:** El PLC LOGO de Siemens se destaca por su interfaz intuitiva, que permite a los usuarios programar tareas de automatización con facilidad. Esto es especialmente beneficioso para pequeñas y medianas empresas que pueden no contar con personal altamente especializado en programación de PLCs
2. **Costo Efectivo:** Comparado con otros PLCs más complejos, el LOGO! ofrece una solución más asequible para aplicaciones menos exigentes. Esto lo convierte en una opción ideal para proyectos donde el presupuesto es una preocupación importante.
3. **Módulos Expansibles:** El sistema LOGO! permite la adición de módulos de expansión, lo que significa que las empresas pueden comenzar con un sistema básico y ampliarlo según sus necesidades futuras. Esta escalabilidad es crucial para adaptarse a cambios en la producción o en el mercado

4. Aplicaciones Diversas: Desde el control de iluminación hasta sistemas de riego automatizados, el LOGO! puede ser utilizado en una variedad de aplicaciones tanto industriales como domésticas. Su versatilidad lo hace adecuado para diferentes sectores, desde la construcción hasta la gestión de instalaciones.

### 2.3.15. Impacto en la productividad

La migración hacia sistemas basados en PLCs, especialmente utilizando modelos como el LOGO!, puede resultar en una disminución significativa de paradas no programadas. Esto se traduce directamente en un aumento de productividad, ya que los procesos automatizados son menos propensos a errores humanos y pueden operar continuamente con un mantenimiento mínimo.

Además, al permitir ajustes rápidos en los procesos productivos, las empresas pueden responder más ágilmente a cambios en la demanda del mercado, optimizando así sus operaciones y mejorando su competitividad.

### 2.3.16. Proceso de Dosificación y Mezclado

El proceso de dosificación y mezclado es fundamental en diversas industrias, ya que garantiza la calidad y la eficiencia en la producción de productos finales[32]. A continuación, se detallan los componentes principales involucrados en estos procesos:

- Tolvas: Las tolvas son estructuras diseñadas para almacenar y gestionar materiales en procesos industriales. Su función principal es facilitar un flujo constante y controlado de materias primas hacia las siguientes etapas de producción. La capacidad, el diseño y el sistema de descarga de una tolva son esenciales para adaptarse a los requerimientos específicos del proceso, asegurando un suministro estable y optimizando el manejo de grandes volúmenes de material.
- Mezcladoras: Las mezcladoras son cruciales para combinar de manera efectiva distintos materiales, garantizando una mezcla homogénea y uniforme. Existen diversos tipos de mezcladoras, cada una adecuada para aplicaciones específicas:
  1. Mezcladoras de cinta: apropiadas para materiales a granel.
  2. Mezcladoras de paletas: ideales para mezclar materiales secos y húmedos.
  3. Mezcladoras de doble eje: proporcionan una mezcla intensa y continua, especialmente útil para productos con alta viscosidad.

Cada tipo de mezcladora está diseñada para satisfacer diferentes necesidades del proceso de mezclado, mejorando la calidad y la consistencia del producto final.

- Balanzas de Precisión: Las balanzas de alta precisión son esenciales para medir con exactitud los componentes de los materiales. Equipadas con sistemas de control automatizados, estas balanzas permiten una dosificación precisa y confiable, crucial para mantener la calidad del producto final. La exactitud en la medición no solo garantiza la uniformidad del producto, sino que también optimiza el uso de materiales y reduce el desperdicio, contribuyendo a la eficiencia del proceso de producción.

- **Automatización y Control:** La integración de sistemas de control avanzados y tecnologías de automatización es fundamental para mejorar los procesos de dosificación y mezclado. La automatización permite un monitoreo constante, ajustes en tiempo real y un control más preciso, lo que se traduce en una producción más eficiente y de mayor calidad.

Estos componentes y tecnologías trabajan en conjunto para garantizar la efectividad de los procesos de dosificación y mezclado, mejorando tanto la calidad del producto final como la eficiencia operativa en distintas industrias.

### 2.3.17. Métodos de procesamiento de plásticos

El procesamiento de plásticos es una etapa crucial en la fabricación de productos plásticos, y existen diversos métodos que se utilizan dependiendo del tipo de plástico, la forma deseada del producto y las características específicas requeridas. A continuación, se presentan algunos de los métodos más comunes utilizados en la industria del plástico:

- **Moldeo por Inyección:** En el moldeo por inyección, el plástico se calienta hasta que alcanza un estado fundido y luego se introduce en un molde mediante presión. Este proceso es altamente eficiente y permite la producción de piezas con geometrías complejas y detalles precisos.
  1. Alta velocidad de producción.
  2. Capacidad para fabricar piezas con tolerancias estrictas.
  3. Posibilidad de utilizar múltiples materiales en un solo ciclo (moldeo por inyección bimaternal). Este método es ideal para la fabricación de componentes automotrices, electrodomésticos, juguetes y productos de consumo.
- **Moldeo por Compresión:** El moldeo por compresión implica el uso de polvo plástico que se coloca en un molde caliente. A través de la aplicación de presión, el polvo se compacta y se calienta, lo que provoca que el material fluya y tome la forma del molde. Este método es comúnmente utilizado para plásticos termoestables.
  1. Proceso simple y menos costoso en comparación con el moldeo por inyección.
  2. Ideal para grandes piezas o productos que requieren una alta resistencia térmica. Se utiliza frecuentemente en la fabricación de paneles eléctricos, componentes automotrices y piezas grandes como carcasas.
- **Moldeo por Reacción:** El moldeo por reacción utiliza líquidos que reaccionan químicamente para convertirse en plástico. En este proceso, dos o más componentes líquidos se combinan dentro del molde, donde reaccionan y solidifican para formar el producto final. Este método es comúnmente utilizado para la producción de poliuretanos y resinas epóxicas.[33].
  1. Permite la creación de productos con propiedades específicas a través del control de la reacción química.
  2. Capacidad para producir formas complejas sin necesidad de un molde convencional. Este método es ideal para aplicaciones en las que se requieren materiales con alta resistencia química o térmica, como en componentes electrónicos o recubrimientos industriales.

La selección del método óptimo para el procesamiento de plásticos depende de múltiples factores, incluyendo las características del material, el nivel de complejidad del diseño y los requerimientos de producción. Cada técnica ofrece beneficios específicos y se adapta a diferentes aplicaciones, lo que permite a los fabricantes elegir la opción más eficiente para mejorar su productividad y asegurar la calidad del producto final. Además, la constante evolución en estas tecnologías está impulsando innovaciones que favorecen una mayor eficiencia, reducen costos y promueven la sostenibilidad. Estos avances no solo optimizan los procesos de fabricación, sino que también contribuyen a un menor impacto ambiental y a un mejor aprovechamiento de los recursos.

## Capítulo 3

# Marco Experimental

En este capítulo se presenta la metodología aplicada para desarrollar el sistema de control en el PLC que unificará los procesos de llenado y mezclado en una industria de plástico. Se detalla el enfoque metodológico, los procedimientos seguidos y los recursos utilizados para cumplir los objetivos planteados.

### 3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación se clasifica como aplicada experimental, ya que tiene como propósito resolver un problema específico en un entorno industrial mediante el desarrollo y validación de un sistema de control. Se busca generar un impacto práctico, mejorando la eficiencia y funcionalidad del sistema de llenado y mezclado, utilizando herramientas tecnológicas modernas como el PLC y simuladores industriales.

- Aplicada: Porque se enfoca en el diseño e implementación de soluciones prácticas a problemas reales en la industria del plástico.
- Experimental: Porque incluye simulaciones y pruebas en laboratorio para validar el desempeño del sistema antes de su posible implementación en un entorno industrial.

### 3.2. Metodología para alcanzar los objetivos

#### 3.2.1. Análisis del sistema actual

El sistema actual de llenado y mezclado en la industria de plástico presenta varios problemas derivados de la fragmentación de los procesos y el uso de tecnologías obsoletas. Actualmente, el llenado de las tolvas se realiza de manera manual, utilizando la bomba de vacío programada con un controlador Logo. Este procedimiento implica que el operador deba supervisar individualmente el llenado de cada tolva, lo que ralentiza el proceso y aumenta el riesgo de errores operativos. El sistema de mezclado está limitado por la obsolescencia del HMI, que dificulta la visualización de información clave y restringe las opciones operativas debido a sus dimensiones reducidas. Además, este HMI es compatible únicamente con un PLC también obsoleto, lo que impide una actualización o expansión del sistema sin realizar una migración tecnológica.

Actualmente, el proceso de mezclado en la planta se realiza mediante un sistema independiente que opera con un controlador tipo LOGO! de Siemens, el cual gestiona únicamente la secuencia de encendido del motor de mezcla y los tiempos de agitación. El

sistema no está integrado con las etapas previas de dosificación ni con la interfaz HMI del llenado, lo que obliga al operador a ejecutar tareas de forma manual y secuencial. Una vez que el operador verifica visualmente que las tolvas han sido llenadas, procede a activar el mezclador mediante una botonera física conectada al controlador. El mezclador permanece encendido durante un tiempo fijo predeterminado, sin posibilidad de ajustes dinámicos ni monitoreo en tiempo real. Tampoco existe retroalimentación sobre parámetros clave como el estado de mezcla, posibles interrupciones del motor o variaciones en la carga de trabajo. Esta configuración presenta múltiples limitaciones: no hay comunicación con otros equipos del sistema, la lógica es fija y no programable desde una interfaz amigable, y no se almacena ninguna información de proceso para fines de trazabilidad o mejora continua. Además, la ausencia de sensores integrados impide confirmar si la mezcla ha sido homogénea o si ocurrió algún error durante la operación.

Los problemas identificados en el sistema actual incluyen:

- Falta de automatización: Dependencia excesiva del operador para supervisar y controlar manualmente el llenado y mezclado.
- Ineficiencia en los tiempos de ciclo: El llenado secuencial de las tolvas incrementa los tiempos de operación.
- Obsolescencia tecnológica: Limitaciones impuestas por el uso de un PLC y HMI desactualizados, los cuales no permiten integrar nuevas funcionalidades ni optimizar procesos.
- Riesgo de errores humanos: La supervisión manual incrementa la probabilidad de errores en las etapas de dosificación y mezclado.

### **3.2.2. Diagramas de Flujo del sistema actual**

Los siguientes diagramas muestran procesos independientes (dosificado y mezclado) controlados por PLCs. El PLC 1 gestiona la dosificación manual de cuatro tolvas, asegurando que cada una complete su ciclo antes de pasar a la siguiente. Una vez finalizado este proceso, el operador debe iniciar manualmente el proceso de mezclado en el PLC 2, donde se ingresan parámetros como tiempos de mezclado, agitación y reposo. Tras validar estos parámetros, se descarga el material dosificado, se verifica el sensor de nivel y se realiza el mezclado. Ambos procesos requieren intervención manual y no están automatizados para operar de manera secuencial. Esto representa la situación actual.

En la Figura 3.1 Primera parte del proceso de dosificación. El diagrama muestra el inicio del sistema en modo manual y la ejecución secuencial de la dosificación en las tolvas 1 y 2. Cada etapa incluye una verificación que determina si se debe repetir la dosificación o continuar con la siguiente tolva.

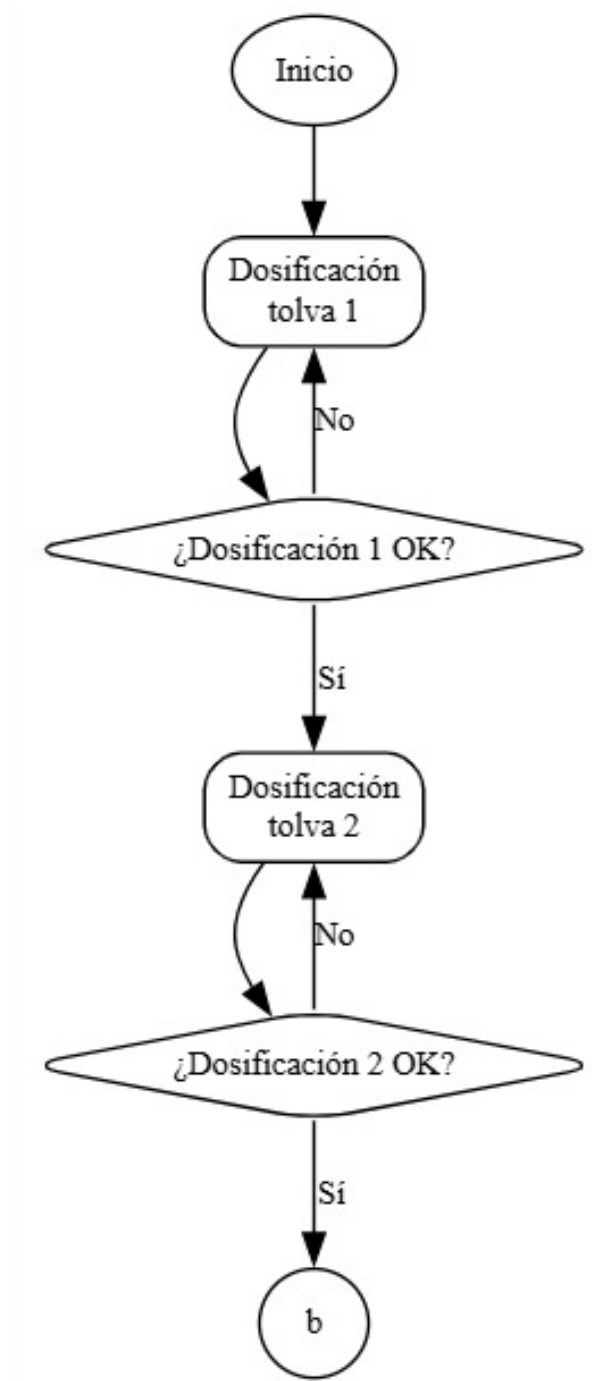


Figura 3.1: Diagrama de bloques de dosificación - Parte 1

En la figura 3.2 Segunda parte del proceso de dosificación. Continúa la secuencia con las tolvas 3 y 4, aplicando el mismo criterio de validación. Una vez que todas las dosificaciones son confirmadas como correctas, el sistema concluye el proceso y finaliza la operación.

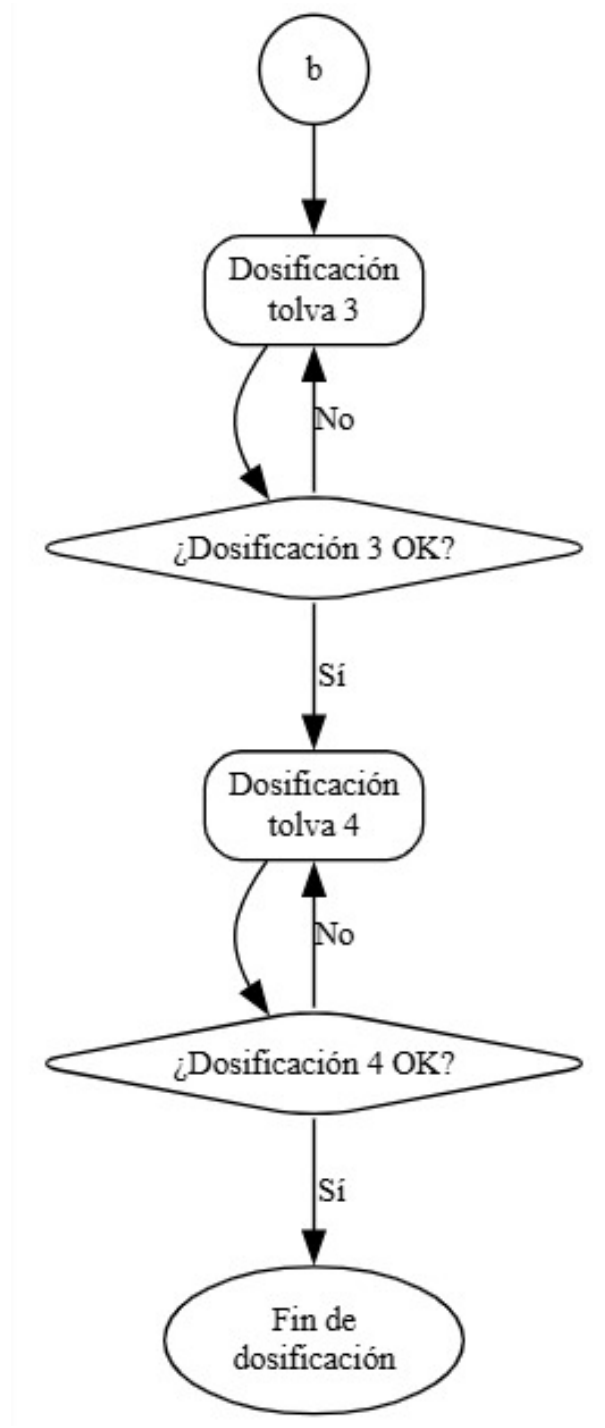


Figura 3.2: Diagrama de bloques de dosificación - Parte 2

En la figura 3.3 Diagrama de verificación e ingreso de tiempos de mezclado. El diagrama ilustra el inicio del proceso de mezclado, el cual parte desde la verificación de que la dosificación esté completamente realizada. A continuación, se ingresan los tiempos de mezclado, que incluyen agitación y reposo. El sistema valida si los tiempos fueron correctamente introducidos antes de permitir la continuación del proceso hacia la siguiente etapa.



Figura 3.3: Diagrama de verificación e ingreso de tiempos de mezclado- Parte 1

En la figura 3.4 Diagrama del proceso de mezclado y validación final. Esta figura representa la segunda parte del proceso de mezclado. Se inicia con la descarga de dosificaciones y una verificación del sensor de nivel. Si el sensor está en condiciones óptimas, se procede con el mezclado. En caso contrario, se cierra la descarga y el flujo regresa a la etapa anterior. Finalmente, se evalúa si la mezcla fue realizada correctamente para concluir el proceso.

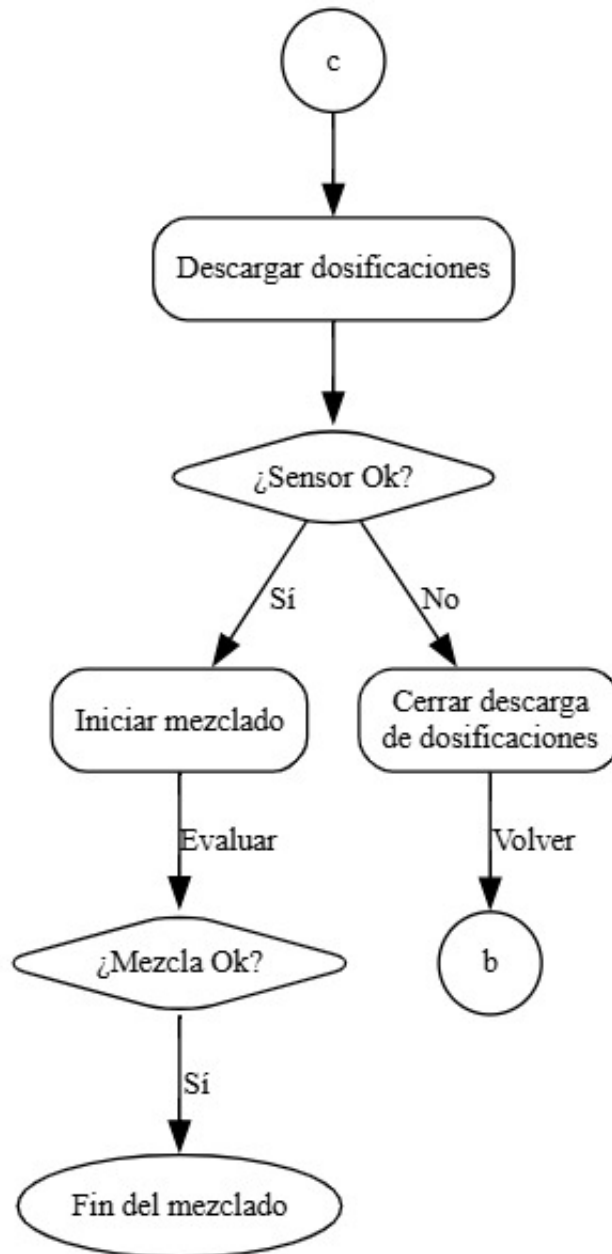


Figura 3.4: Diagrama de verificación e ingreso de tiempos de mezclado- Parte 2

### 3.2.3. Diagrama de bloques del sistema de control automatizado

El diagrama presentado muestra el funcionamiento de un sistema automatizado de control basado en un PLC S7-1500, que se encarga de gestionar el proceso de dosificación o mezcla en un entorno industrial. Los sensores de nivel en cada una de las tolvas (1, 2, 3 y 4) monitorean continuamente el nivel de material y envían esta información al PLC, el cual procesa estos datos para determinar las acciones necesarias. Dependiendo de los niveles detectados, el PLC activa o desactiva los actuadores conectados, tales como las electroválvulas que controlan el flujo de material desde cada tolva, la bomba de vacío que gestiona el material y el motor mezclador que realiza la mezcla de los componentes. Además, la comunicación bidireccional entre el PLC y el HMI KTP 700 se realiza a través del protocolo PROFINET, permitiendo al operador visualizar en tiempo real los niveles de las tolvas y el estado del sistema, y también intervenir manualmente si es necesario. De esta forma, el sistema asegura un control eficiente y automático del proceso, mejorando la precisión y la seguridad de las operaciones.

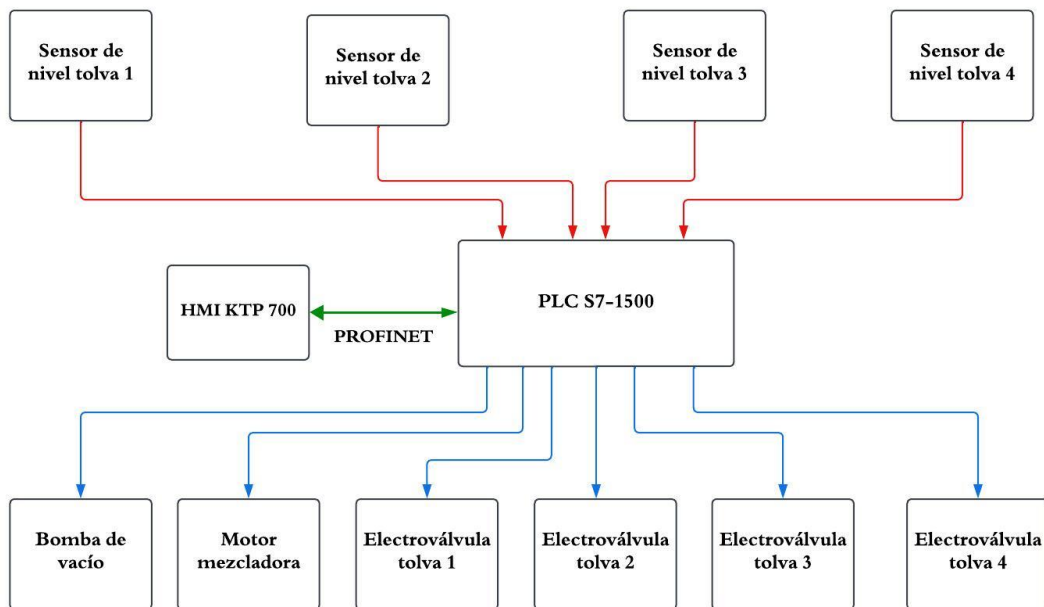


Figura 3.5: Diagrama de bloques del sistema de control automatizado

### 3.2.4. Diseño del sistema del control de PLC

El programa desarrollado en TIA Portal V17 utiliza un PLC Siemens S7-1500, complementado con varios módulos analógicos y digitales que serán detallados en el apartado Recursos y herramientas. La integración de los procesos de dosificación y mezcla de materiales en un único controlador permite una gestión más eficiente y coordinada del sistema, eliminando la fragmentación presente en el sistema actual. Este modelo de PLC fue seleccionado debido a que contamos con estos equipos disponibles en la universidad, lo que facilita la realización de pruebas y experimentaciones necesarias para el desarrollo y validación del sistema. Además, el PLC Siemens S7-1500 ofrece capacidades avanzadas

que alinean el proyecto con los principios de la Industria 4.0, proporcionando múltiples opciones como:

- Permite la supervisión y control del sistema a través de interfaces web intuitivas.
- Conexión a la nube: Facilita la recolección y almacenamiento de datos en tiempo real, así como el análisis remoto.
- Dashboards de control de datos: Ofrece paneles interactivos para la visualización y monitoreo de métricas clave del proceso.

### 3.2.5. Diagrama de flujo del sistema unificado

El diagrama ilustra el flujo lógico de operaciones en el sistema de la mezcladora, detallando las etapas desde la selección del modo de operación hasta el final del proceso. A continuación, se describen las principales etapas:

#### 1. Inicio del sistema

- El proceso comienza con la selección del modo de operación, que puede ser manual o automático.
- En el modo manual, el operador controla de forma individual los actuadores y el encendido o apagado del sistema.
- En el modo automático, se establecen las dosificaciones de materiales y los tiempos de mezclado.

#### 2. Dosificación de materiales

- Se ingresan las cantidades para cada tolva (Tolva 1, Tolva 2, Tolva 3, y Tolva 4).
- Una vez confirmadas las dosificaciones, se procede al siguiente paso.

#### 3. Ingreso de tiempos

- Se configuran el tiempo de agitación y el tiempo de reposo, adaptados a los requerimientos del proceso y el material.

#### 4. Control de sensores y llenado:

- El sistema verifica si las tolvas están completamente llenas antes de proceder con la descarga.
- Además, se asegura de que el nivel de mezclado sea el adecuado para iniciar el proceso.

#### 5. Mezclado y finalización

- El mezclado inicia una vez que los sensores de nivel lo permiten y se cierran las válvulas de descarga.
- Al finalizar el mezclado, el sistema indica que se ha finalizado el proceso.

Figura3.5: Esta figura muestra el inicio del proceso, donde se selecciona el modo de operación (manual o automático). En caso de modo manual, se permite encender o apagar actuadores. En modo automático, se ingresan las cantidades a dosificar en las tolvas. El proceso continúa secuencialmente por las cuatro tolvas, y al finalizar, el flujo se dirige al conector b.

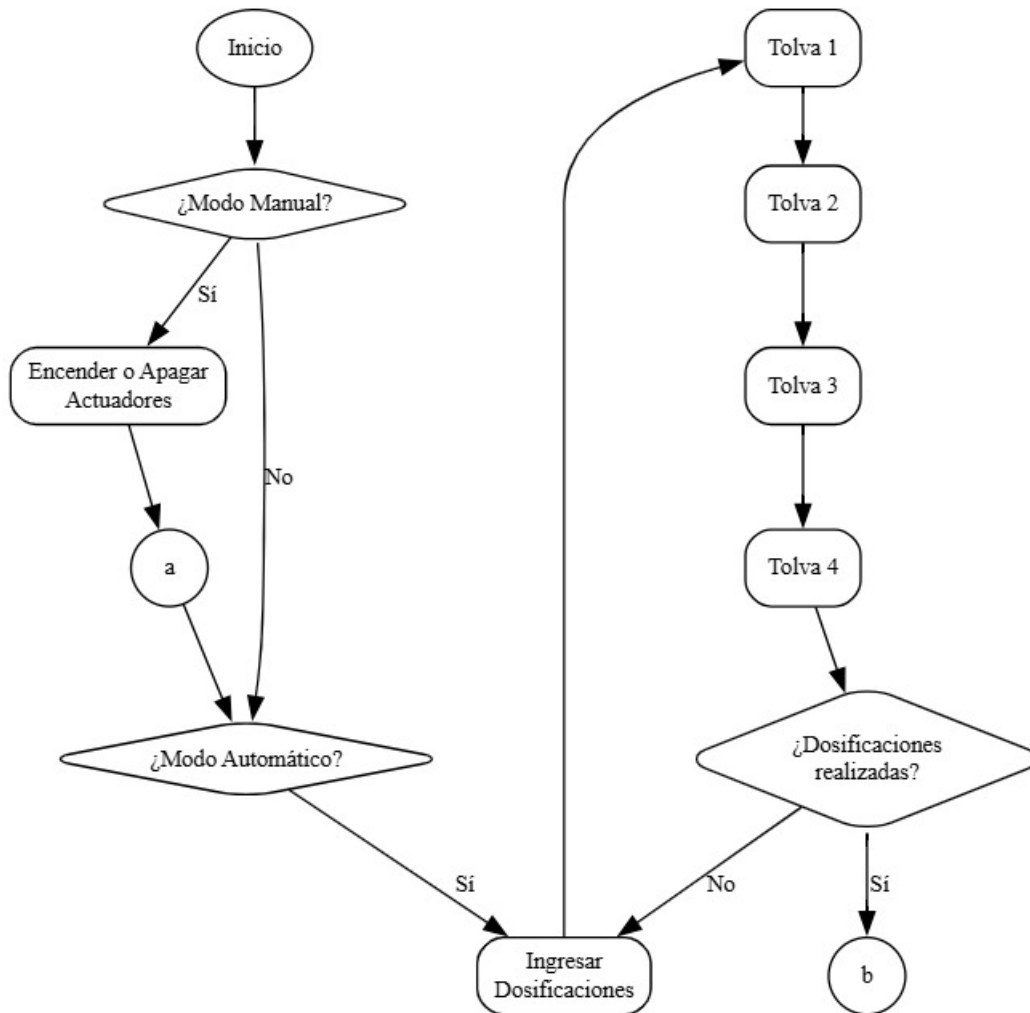


Figura 3.6: Diagrama de flujo lógico de operaciones - Parte 01

Figura 3.6 En esta parte del proceso (continuación desde b), se ingresan los tiempos de agitación y reposo requeridos para el mezclado. Si los tiempos no son correctamente definidos, se solicita su reingreso. Una vez confirmados, el flujo se dirige al conector c para iniciar la etapa final del proceso.

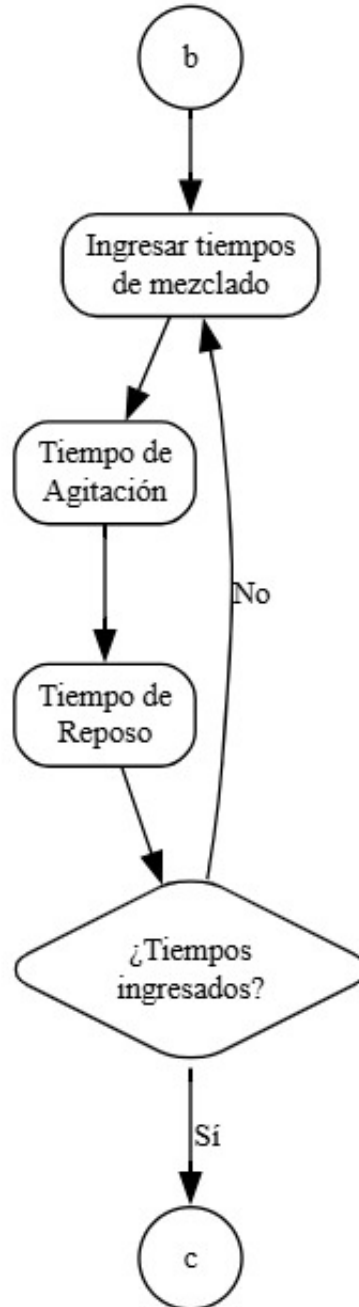


Figura 3.7: Diagrama de flujo lógico de operaciones- Parte 02

Figura 3.7: Iniciando desde el conector c, se valida el estado de llenado de tolvas. Si es correcto, se descarga el material y se verifica el nivel del sensor en el mezclador. Si este sensor no detecta el nivel adecuado, se cierra la válvula y el flujo retorna a la figura anterior mediante el conector b. En caso de éxito, se inicia el mezclado y, una vez completado, se finaliza el proceso.

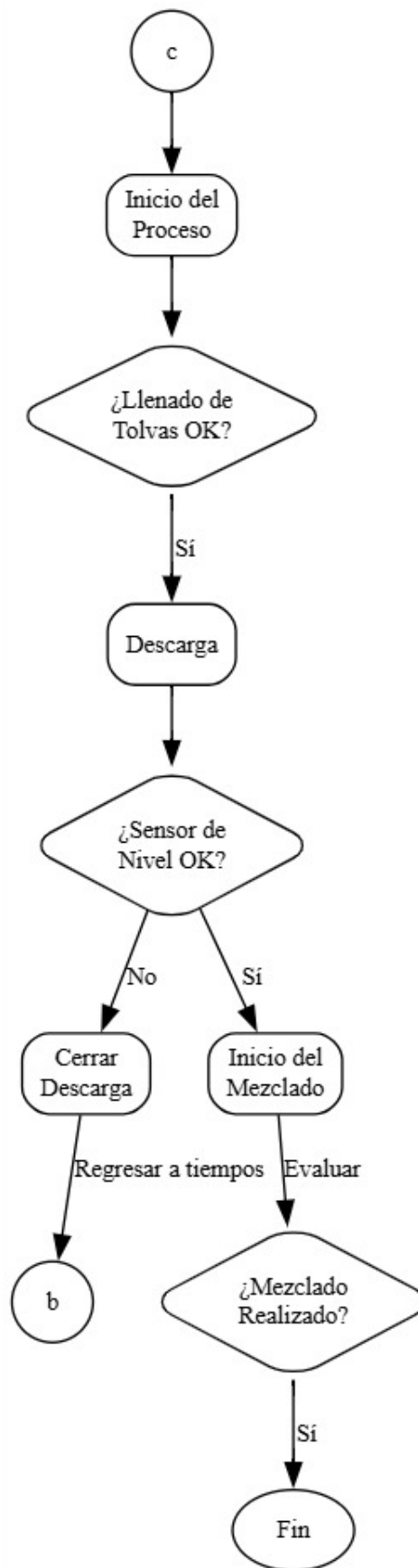


Figura 3.8: Diagrama de flujo lógico de operaciones - Parte 03

### 3.2.6. Cuadro de variables

Para la implementación del sistema automatizado de dosificación y mezclado, se definieron distintas variables que representan sensores, actuadores y condiciones lógicas necesarias para el funcionamiento del PLC Siemens S7-1500. Estas variables fueron programadas utilizando direcciones de memoria específicas (entradas, salidas y marcas internas), y están clasificadas según su tipo de dato y función.

El cuadro 3.1 proporciona la base lógica del sistema, ya que todas las operaciones de control y visualización dependen del estado de estas variables. Además, su correcta definición en el software TIA Portal facilita la depuración, simulación y posterior implementación en planta real

Nombre	Tipo de dato	Dirección	Función
IW_Nivel_Tolva_1	Int	%IW4	Sensor de nivel de la tolva 1.
IW_Nivel_Tolva_2	Int	%IW6	Sensor de nivel de la tolva 2.
IW_Nivel_Tolva_3	Int	%IW8	Sensor de nivel de la tolva 3.
IW_Nivel_Tolva_4	Int	%IW10	Sensor de nivel de la tolva 4.
Inicio_Proceso	Bool	%M0.0	Selección de inicio de proceso.
Producción	Bool	%M0.0	Selección de inicio de proceso.
Inicio_Proceso	Bool	%M0.1	Indicador que está en marcha la producción.
Paro_Emergencia_Proceso	Bool	%I1.1	Paro de emergencia.
Materiales_OK	Bool	%M0.2	Indica que la cantidad de material ingresado.
OL_Bomba_Vacio	Bool	%I0.0	Indica la sobrecarga del motor bomba de vacío.
OL_Motor_Mezclado	Bool	%I0.1	Indica la sobrecarga del motor de mezcla.
Pump_1_on_BVacio	Bool	%Q0.0	Arranque de la bomba de vacío.
Pump_2_on_Mezcla	Bool	%Q0.1	Arranque del motor de la mezcladora.
Alarm_Bomba	Bool	%Q0.2	Salida que indica fallo del motor de la bomba.
Valv_Tolva_1	Bool	%Q0.3	Activa la válvula para cargar material en tolva 1.
Valv_Tolva_2	Bool	%Q0.4	Activa la válvula para cargar material en tolva 2.
Valv_Tolva_3	Bool	%Q0.5	Activa la válvula para cargar material en tolva 3.
Valv_Tolva_4	Bool	%Q0.6	Activa la válvula para cargar material en tolva 4.
Alarm_Mezclador	Bool	%Q1.0	Salida que indica fallo del motor mezclador.
Dosificación_1	Bool	%Q1.2	Válvula que descarga el material ingresado para la mezcla del material de tolva 1.
Dosificación_2	Bool	%Q1.3	Válvula que descarga el material ingresado para la mezcla del material de tolva 2.
Dosificación_3	Bool	%Q1.4	Válvula que descarga el material ingresado para la mezcla del material de tolva 3.
Dosificación_4	Bool	%Q1.5	Válvula que descarga el material ingresado para la mezcla del material de tolva 4.
Sensor_Descarga	Bool	%I0.7	Sensor que indica nivel de material descargado.
Modo_Automático	Bool	%M0.3	Selección modo automático.
Modo_Manual	Bool	%M0.4	Selección modo manual.

Cuadro 3.1: Cuadro de sensores y funciones del sistema.

### 3.2.7. Descripción de bloques funcionales

En la Figura 3.9 se presenta un diagrama de bloques funcionales que resume el comportamiento general del sistema de control implementado. Este esquema permite visualizar cómo se interconectan los distintos módulos del proceso, desde la entrada de materia prima hasta la fase de mezclado, pasando por sensores, válvulas, actuadores y el controlador lógico programable (PLC). Su propósito es proporcionar una comprensión clara de la arquitectura lógica y operativa del sistema automatizado.



Figura 3.9: Bloques Funcionales

- Bloque [FC3]: Escalamiento de todos los sensores de nivel. Verifica que las tolvas tengan el nivel ingresado por el operador y lo muestra en pantalla.
- Bloque [FC1]: Verifica que las 4 tolvas cumplan con el porcentaje ingresado por el usuario.
- Bloque [FC2]: Normalizado y escalado de los sensores de nivel para determinar el porcentaje y peso.
- Bloque [FB4]: Protección del motor de la bomba de vacío.
- Bloque [FB1]: Controla la apertura y cierre de las 4 válvulas de ingreso a las tolvas.
- Bloque [FB2]: Protección del motor de mezcla.
- Bloque [FB3]: Tiempo de reposo del material mezclado.

### 3.2.8. Diseño del HMI

La Figura 3.10 muestra la interfaz HMI desarrollada para el modo automático de operación del sistema. En esta pantalla, el operario puede observar el estado de cada tolva, activar el proceso de mezclado y visualizar el avance del ciclo de trabajo. Este diseño facilita la interacción intuitiva con el sistema y permite ejecutar el proceso de forma secuencial y segura, minimizando errores humanos.

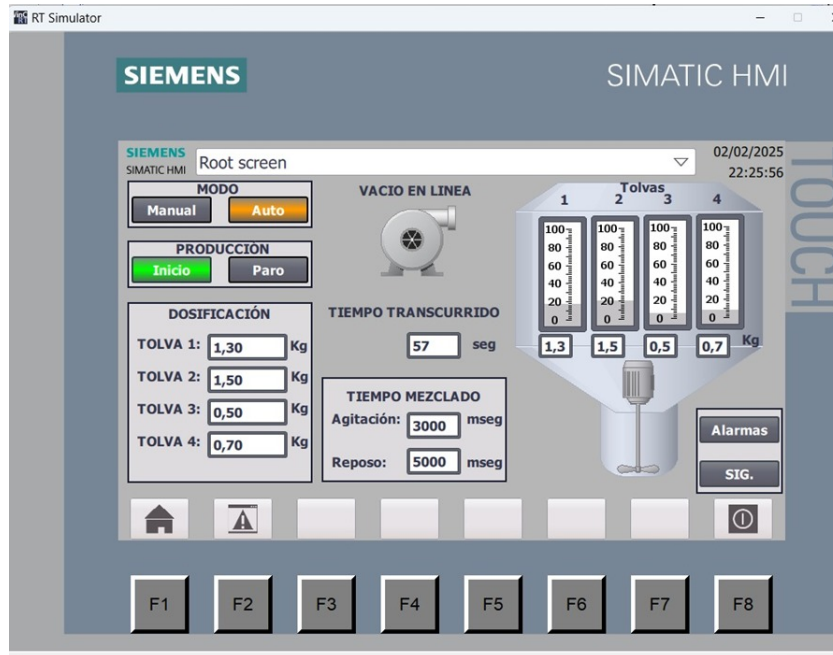


Figura 3.10: Pantalla modo automático de operación

En el diseño del HMI se desarrolló para el modo automático una vez que se de inicio al proceso, así mismo la opción de paro del sistema. Se puede observar los procesos de dosificación y mezcla en una misma pantalla. En la etapa de dosificación, el sistema tomará como referencia el valor ingresado por el operador para determinar la cantidad de material requerida. Si se ingresa un valor de 0 kg en alguna tolva, se interpretará que esa tolva no será considerada en el proceso. El diseño incluye elementos gráficos dinámicos que se activan o desactivan dependiendo del estado del sistema. Por ejemplo, cuando se genera vacío, se mostrará un ícono correspondiente, y de manera similar, aparecerá un gráfico indicativo durante la etapa de mezclado. Además, el operador tiene la posibilidad de configurar el tiempo de mezcla y reposo de los materiales, ya que estos parámetros pueden variar según el tipo de producto procesado. Se ha agregado una representación gráfica de las tolvas, que incluye una tolva principal grande con cuatro compartimentos independientes más pequeños en su interior. Esto facilita la visualización y el control del proceso, permitiendo considerar solo un compartimento cuando se realiza una descarga individual. Finalmente, el HMI proporciona información detallada sobre la cantidad de mezcla disponible, tanto en kilogramos como en porcentaje, ofreciendo al operador un monitoreo preciso y en tiempo real del estado del sistema.

En la Figura 3.11 se presenta la pantalla de operación en modo manual, la cual permite al operario controlar individualmente cada componente del sistema, como válvulas y mezclador. Esta función es especialmente útil para tareas de mantenimiento, pruebas o corrección de fallas, ya que ofrece control directo sobre cada etapa del proceso de dosificación y mezcla.

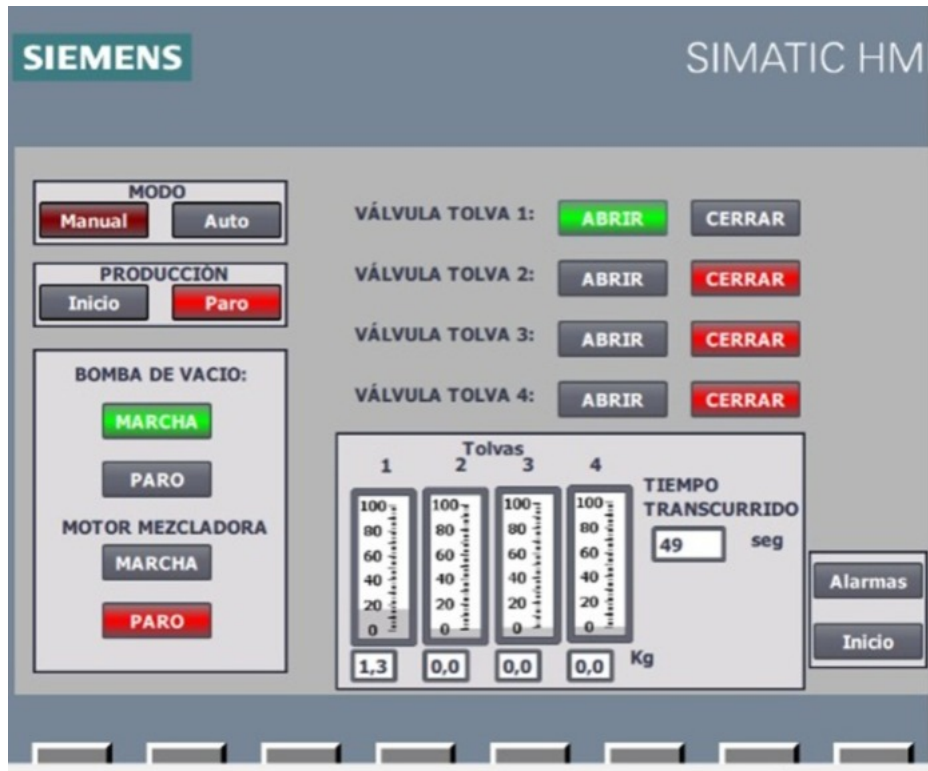


Figura 3.11: Pantalla modo manual de operación

En esta pantalla del HMI, diseñada para el modo manual, se encuentran las funciones principales que permiten un control directo sobre los componentes del sistema. El operador puede activar o detener el sistema completo utilizando los botones de Inicio y Paro.

Además, se incluyen controles individuales para:

- Bomba de vacío: Permite activar o desactivar la bomba según sea necesario para el llenado de las tolvas.
- Motor de mezclado: Ofrece la posibilidad de iniciar o detener la mezcla del material.
- Válvulas de tolvas y dosificación: Se pueden activar de manera individual tanto las válvulas para la dosificación del material como las destinadas al contenedor de mezcla, brindando flexibilidad para operar por compartimientos específicos.

Este diseño proporciona al operador un control preciso y personalizado sobre cada etapa del proceso, facilitando ajustes puntuales cuando las condiciones del sistema o los requerimientos del producto lo demanden.

### 3.2.9. Descripción del sistema eléctrico y de control automatizado

Para el diseño del sistema automatizado se elaboraron planos eléctricos detallados utilizando el software EPLAN, permitiendo representar gráficamente las conexiones, protecciones, y módulos del sistema de automatización de forma estandarizada y profesional.

El sistema se alimenta a través de acometidas trifásicas de 460V y 220V, las cuales se derivan mediante interruptores magnetotérmicos y contactores hacia los elementos de control y potencia. Se incluye un transformador para la adaptación de tensiones y una

fuente SITOP PSU200M que entrega 24 VDC estabilizados, necesarios para la operación de sensores, relés y módulos de entrada/salida.

El controlador principal es un PLC Siemens S7-1500 (CPU 1516-3 PN/DP), que se comunica con sus módulos de E/S mediante protocolo PROFINET. Se han integrado:

- Módulos DI 32x24VDC para la captura de señales digitales provenientes de sensores de nivel, botones y finales de carrera.
- Módulos DQ 32x24VDC/0.5A para el accionamiento de electroválvulas, indicadores luminosos y relés auxiliares.
- Módulos AI 8xU/I/RTD/TC para el monitoreo de variables analógicas si se requiere, como nivel continuo o presión (futuras expansiones).

Además, el sistema incorpora un módulo de seguridad Siemens Sirius 3SK1, encargado de la gestión de paros de emergencia, rearme seguro y monitoreo de condiciones críticas, cumpliendo con normativas de seguridad funcional.

La interfaz HMI, montada en el panel frontal, permite la visualización y control tanto del modo automático como manual. Desde esta pantalla táctil se pueden ajustar parámetros de dosificación, visualizar alarmas y observar el estado en tiempo real del sistema.

La comunicación entre dispositivos está estructurada a través de un switch industrial SCALANCE, que gestiona la red PROFINET entre el PLC, la HMI, y otros componentes de control. El direccionamiento IP está definido para cada dispositivo según un plan de red estandarizado.

Este sistema eléctrico ha sido diseñado considerando principios de escalabilidad y mantenimiento, lo cual permitirá futuras expansiones o integraciones con sistemas MES o SCADA, en línea con los principios de la Industria 4.0.

En la figura 3.12 podemos ver el plano que muestra la llegada de las acometidas trifásicas de 440V y 220V al sistema. Se visualizan los breakers Q1 y Q2 que distribuyen la energía hacia los contactores 4KM1 y 4KM2, encargados de permitir o cortar la alimentación de los motores principales según el control posterior.

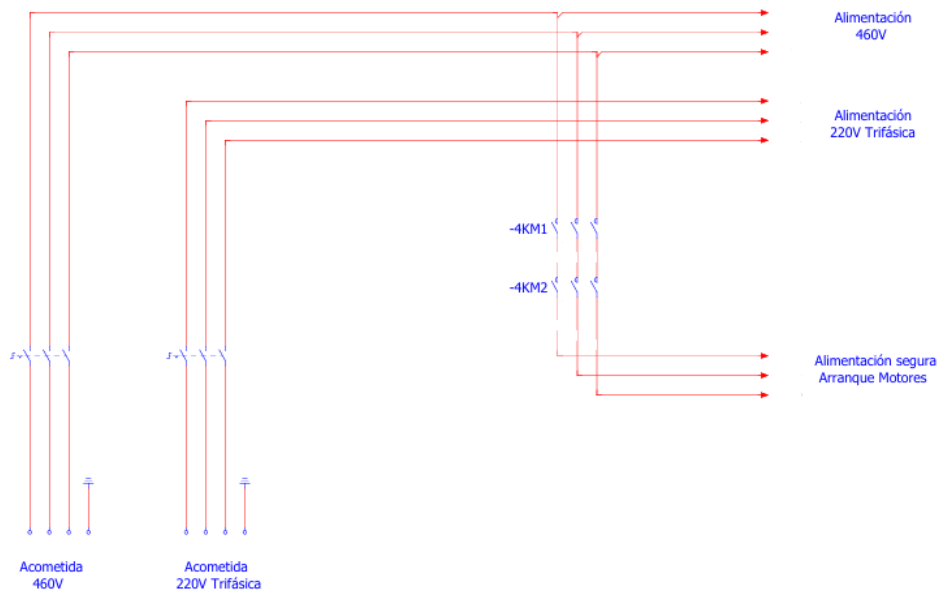


Figura 3.12: Acometida Eléctrica

En la figura 3.13 el esquema que presenta la conexión de fuerza para los motores de la bomba de vacío y de la mezcladora. Incluye los breakers de protección (guardamotores 2QM1 y 2QM2), contactores 2KM1 y 2KM2, y bornas de salida. Todo alimentado con la cometida de 440V desde la hoja anterior.

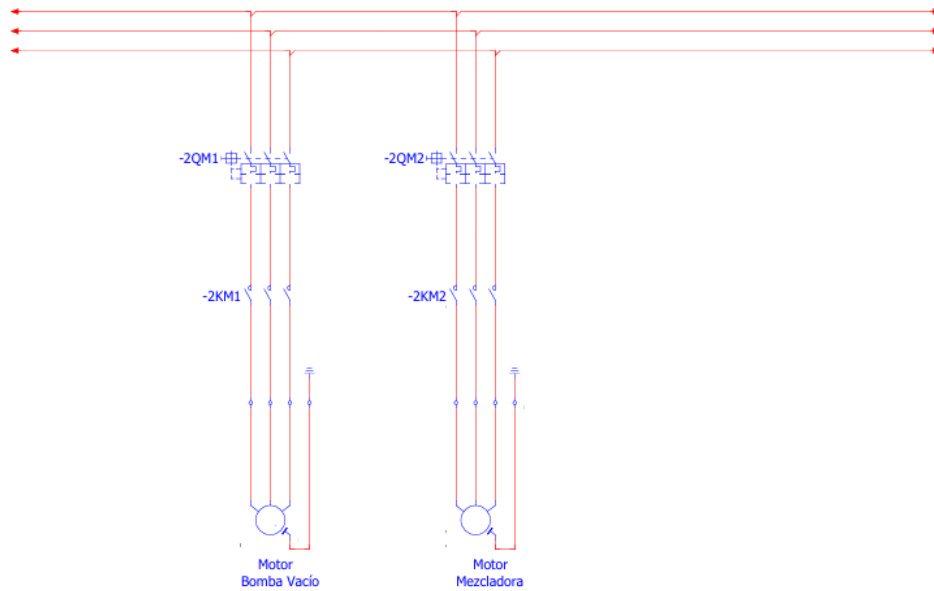


Figura 3.13: Alimentación Motores

En la figura 3.14 el diagrama que representa el control de los ventiladores internos del tablero eléctrico. Incluye sensores de temperatura que activan automáticamente los ventiladores (uno por módulo) si se detecta sobrecalentamiento, asegurando la refrigeración de los componentes.

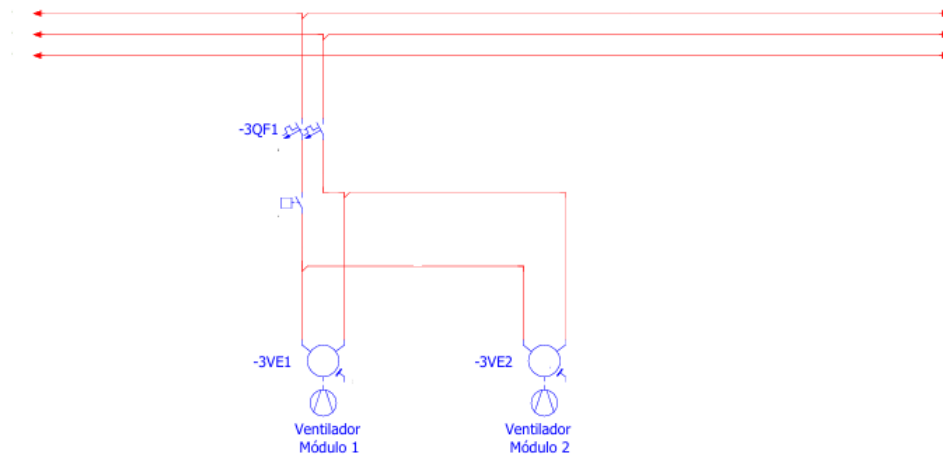


Figura 3.14: Servicios Auxiliares

En la figura 3.15 el plano del sistema de alimentación de control basado en una fuente

de 24VDC. Detalla breakers individuales (KF1 a KF4) para: pantalla HMI y módulo de seguridad, entradas del PLC, salidas del PLC y alimentación segura por paro de emergencia. Cada circuito está claramente identificado.

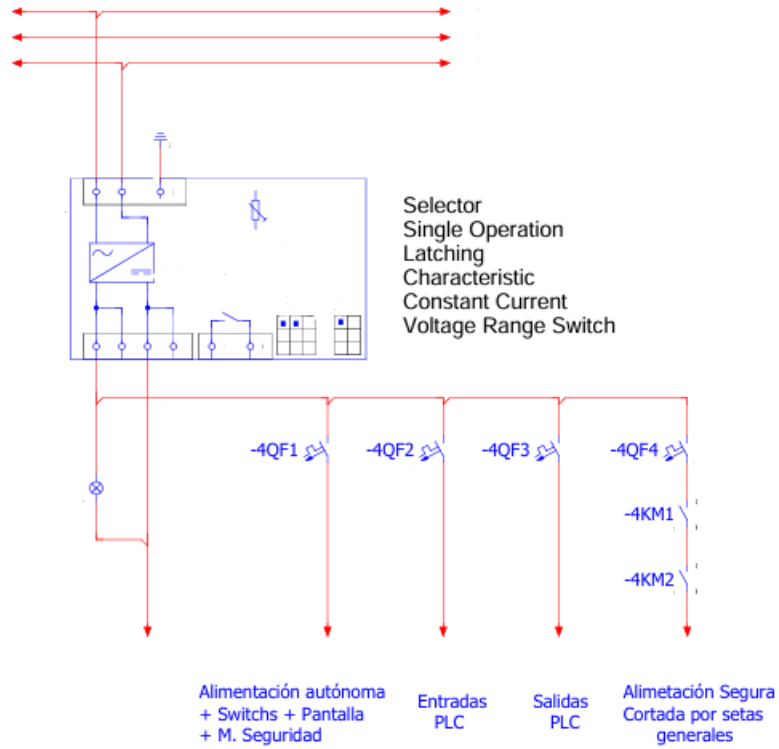


Figura 3.15: Alimentación 24 VDC

En la figura 3.16 se incluye un piloto indicador (4H1) que permite visualizar si la fuente de 24V está operativa, brindando una verificación visual inmediata desde el panel. Adicionalmente podemos apreciar el módulo de seguridad SIRIUS STD R3+1 (3SK1111-1AB30)

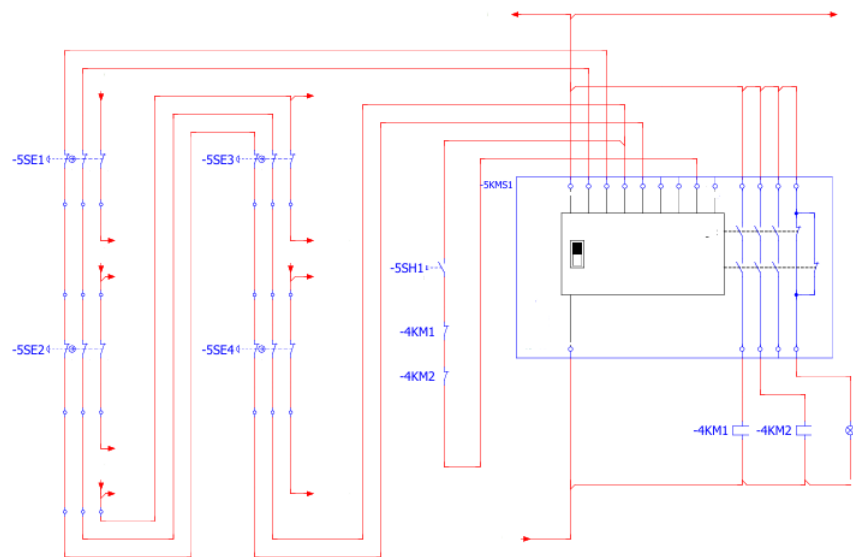


Figura 3.16: Módulo Seguridad General

En la figura 3.17 se observa el esquema del módulo de seguridad Siemens para paros de emergencia. Se observan 4 pulsadores de paro, cuyas señales cortan la alimentación a los contactores 4KM1 y 4KM2 en caso de emergencia. Se incluye también el envío de señales al PLC para monitoreo.

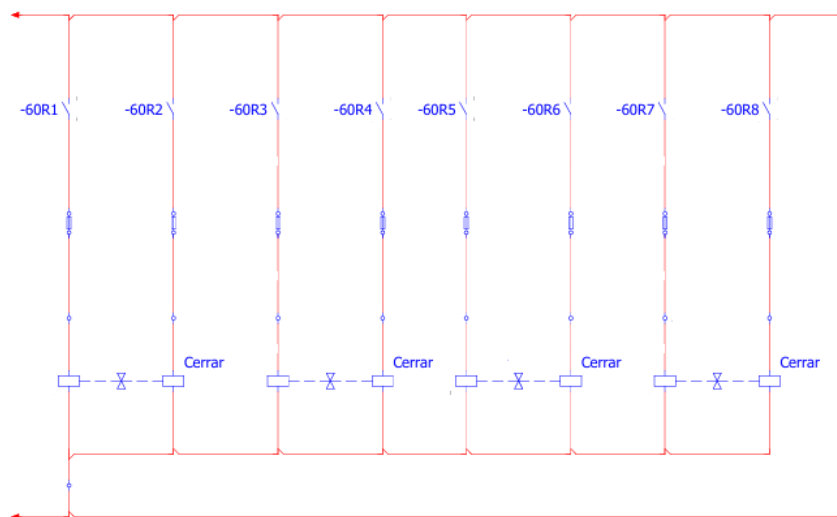


Figura 3.17: Bloques de Válvula

En la figura 3.18 el plano de conexión de las cuatro electroválvulas del sistema, con apertura y cierre individual mediante salidas del PLC (cometida 30). Están protegidas por fusibles y correctamente polarizadas con 24VDC. Se detalla su conexión lógica con el proceso de dosificación.

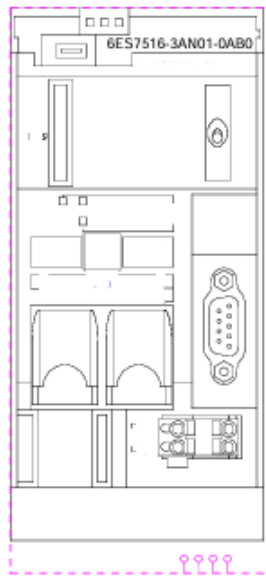


Figura 3.18: Configuración PLC

En la figura 3.19 la presentación del modelo de PLC Siemens S7-1500 usado, junto a la disposición general de sus módulos de expansión: entradas digitales, salidas digitales, entradas y salidas analógicas. Sus módulos son los siguientes

- DI 32x24VDC HF — 6ED7521-1BL00-0AB0
- DQ 32x24VDC/0.5A HF — 6ED7522-1BL00-0AB0
- AI 8xU/I/RTD/TC ST — 6ES7531-7KF0D-0AB0

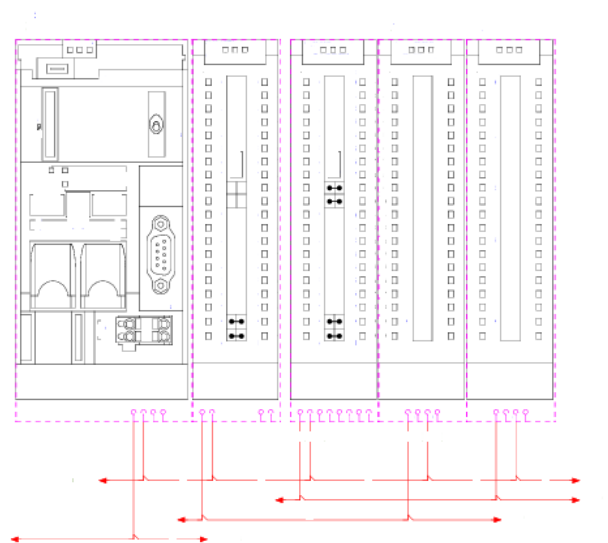


Figura 3.19: Configuración — Alimentación PLC

En la figura 3.20 en este plano que muestra la conexión Ethernet entre el PLC, la pantalla HMI y un micro switch Siemens (W1). Se incluyen las IP asignadas, dejando abierta la posibilidad de expansión o integración con otro sistema mediante un segundo puerto Ethernet.

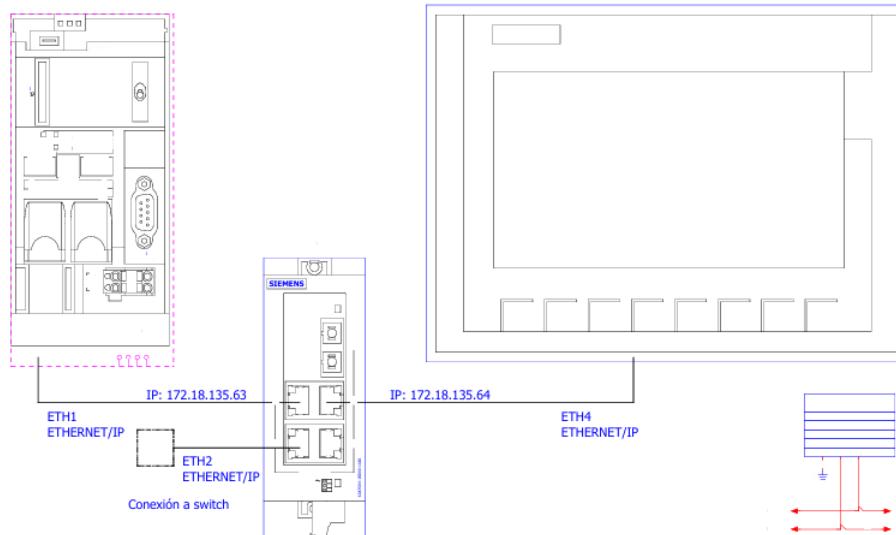


Figura 3.20: Topología Red Ethernet

En la figura 3.21 el esquema de conexión eléctrica de la pantalla HMI KTP700, detallando su alimentación mediante el cable número 50 (positivo 24VDC) y cable 00 (negativo). El módulo de entrada es 6ED7521-1BL00-0AB0 en ambas imágenes mostradas.

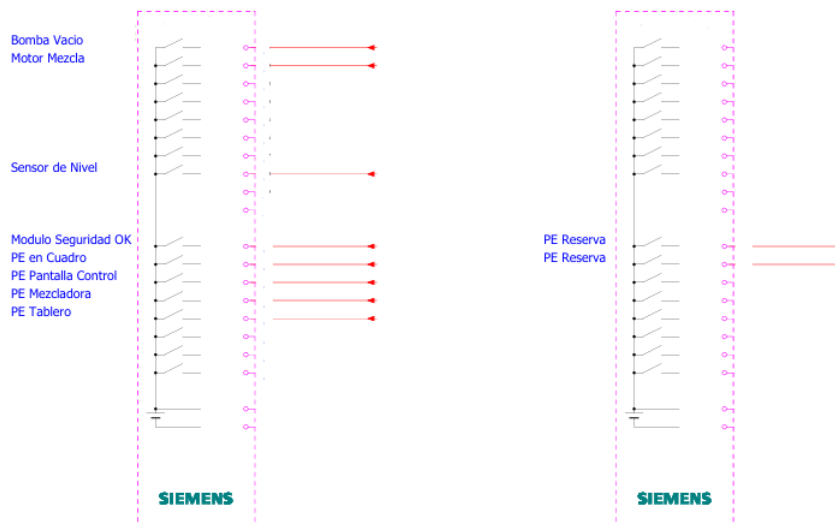


Figura 3.21: Entradas Digitales

En la figura 3.22 este plano representa la conexión de las entradas digitales. Incluye sensores como: bomba de vacío, mezcla, sensor de seguridad, y pulsadores de paro. También se reservan bornas para futuras integraciones.

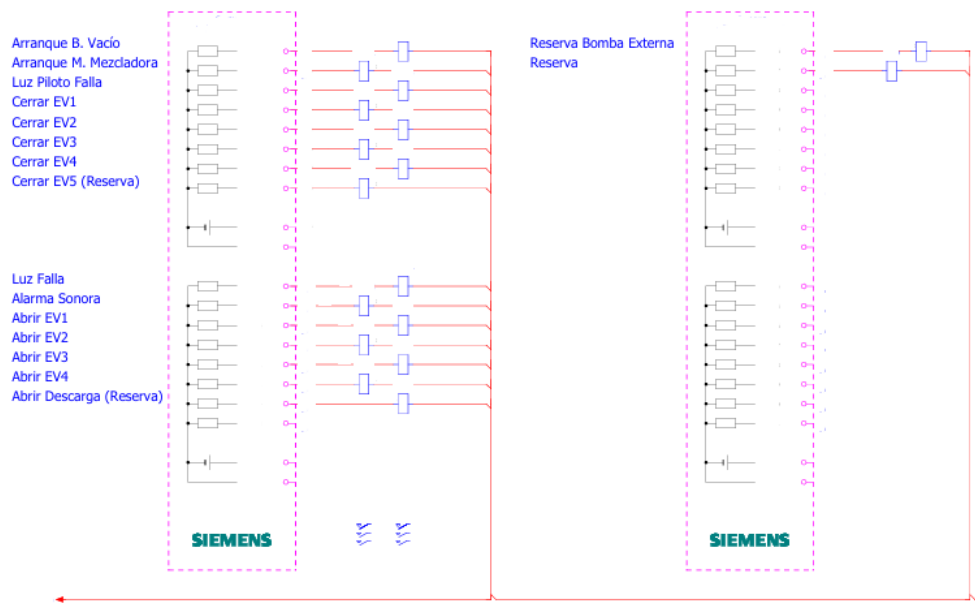


Figura 3.22: Salidas Digitales

En la figura 3.23 el esquema de conexión de sensores de nivel en las tolvas (1 a 4), que entregan señales analógicas al PLC. Estas entradas permiten el control automático de las electro-válvulas en función del nivel de llenado.

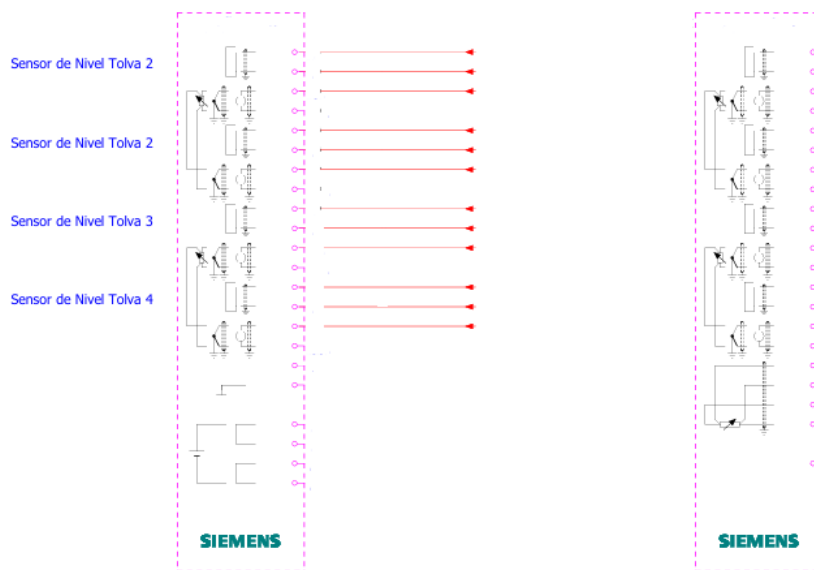


Figura 3.23: Entradas Analógicas

### 3.3. Recursos y Herramientas

### 3.4. Hardware

En esta sección se describen los equipos utilizados para las pruebas del sistema de control en el laboratorio. Aunque el sensor de nivel no estará físicamente presente, se simularán sus señales de 0 a 10 V para replicar las condiciones reales de operación y validar el sistema. Sin embargo, se incluye una descripción del sensor como referencia para su posible implementación en un entorno industrial real. Por otro lado, el CPU, el HMI y los módulos de I/O forman parte de los recursos disponibles en el laboratorio, lo que permite realizar las pruebas correspondientes sin necesidad de adquirir equipos adicionales. Este enfoque asegura que el desarrollo del sistema sea práctico y fácilmente replicable, aprovechando los recursos existentes.

#### 1. CPU 1516-3 PN/DP (6ES7 516-3AN01-0AB0)

La CPU 1516-3 PN/DP de la serie SIMATIC S7-1500 es un procesador avanzado diseñado para sistemas de automatización complejos[34].

Sus características incluyen:

- Procesamiento de alta velocidad y capacidad para manejar hasta 1,000 dispositivos de I/O distribuidos mediante PROFINET y PROFIBUS.
- Interfaces integradas: Dos puertos PROFINET con soporte para comunicaciones en tiempo real isócrono (IRT) y un puerto PROFIBUS DP.
- Servidor web incorporado: Facilita el monitoreo y diagnóstico remoto.
- Diseñada para aplicaciones en entornos alineados con los principios de la Industria 4.0

La Figura 3.24 muestra la CPU Siemens S7-1500 seleccionada para la implementación. Este procesador soporta múltiples protocolos de comunicación y cumple con los requisitos de escalabilidad del sistema.



Figura 3.24: CPU

- #### 2. Modulo de entradas digitales 6ES7 521-1BL00-0AB0 (DI16)
- Este módulo ofrece 16 canales para capturar señales digitales en un rango de 24 V DC. Es ideal para monitorear estados como activaciones de sensores o interruptores en tiempo real. Su diseño compacto y robusto asegura una operación confiable en entornos industriales exigentes[35].

La Figura 3.25 muestra , módulos de entradas y salidas digitales seleccionada para la implementación. Este procesador soporta múltiples protocolos de comunicación y cumple con los requisitos de escalabilidad del sistema.



Figura 3.25: Módulo de Entradas Digitales

3. Módulo de salidas digitales 6ES7 522-1BL00-0AB0 (DQ16) Este módulo permite controlar 16 actuadores digitales, como válvulas y relés, con un rango de 24 V DC. Diseñado para aplicaciones de control de procesos, ofrece alta confiabilidad y compatibilidad con sistemas avanzados de automatización[36].

La Figura 3.26 muestra , módulos de entradas y salidas digitales seleccionada para la implementación. Este procesador soporta múltiples protocolos de comunicación y cumple con los requisitos de escalabilidad del sistema.



Figura 3.26: Módulo de Salidas Digitales

4. Módulo de entradas analógicas 6ES7 531-7KF00-0AB0 (AI 8xU/I) Este módulo que podemos apreciar en la figura 3.27 proporciona 8 canales para entradas analógicas configurables en señales de voltaje o corriente. Es adecuado para monitorear variables críticas como temperatura, presión o peso, asegurando precisión y estabilidad en mediciones industriales[37].



Figura 3.27: Módulo de Entradas Analógicas

5. Módulo de salidas analógicas 6ES7 532-5HD00-0AB0 (AO) Este módulo ofrece 8 salidas analógicas configurables, ideal para controlar equipos como válvulas proporcionales o variadores de frecuencia. Soporta señales de corriente y voltaje, lo que permite adaptabilidad en procesos de automatización[38].

La Figura 3.28 muestra , módulos de entradas y salidas analógicas, seleccionada para la implementación. Este procesador soporta múltiples protocolos de comunicación y cumple con los requisitos de escalabilidad del sistema.



Figura 3.28: Módulo de Salidas Analógicas

## 6. SIMATIC HMI KTP700 Basic - 6AV2123-2GB03-0AX0

El SIMATIC HMI KTP700 Basic es un panel HMI diseñado para aplicaciones de control y monitoreo en sistemas de automatización industrial[39].

Se caracteriza por:

- Pantalla TFT de 7 pulgadas con resolución de 800 x 480 píxeles, proporcionando una interfaz clara y detallada.
- Conectividad flexible, con puertos PROFINET, RS422, RS485 y USB, permitiendo una fácil integración con equipos industriales.
- Memoria: Incluye 10 MB para ejecución de programas y 256 kB para gestión de recetas.
- Configuración personalizada mediante el software WinCC Basic (TIA Portal), adaptándose a diferentes procesos industriales.
- Resistencia industrial: Clasificación IP65 en la parte frontal, ideal para entornos con polvo y humedad.

La Figura 3.29 muestra , pantalla Simatic HMI, seleccionada para la implementación. Este procesador soporta múltiples protocolos de comunicación y cumple con los requisitos de escalabilidad del sistema.



Figura 3.29: Pantalla Simatic HMI

7. Sensor de nivel Siemens (SITRANS LC500) La figura 3.30 es un transmisor capacitivo diseñado para medición continua de nivel e interfaz en condiciones extremas o críticas. Es ideal para aplicaciones con materiales sólidos como polietileno virgen, pigmentos, y otros materiales en polvo o granulados. Sus características principales son:

- Precisión confiable: Emplea un sistema de desplazamiento de frecuencia inversa y tecnología Active-Shield, asegurando mediciones precisas incluso en ambientes con acumulación de material, vapores o polvo.
- Resistencia ambiental: Opera en un rango de temperatura de  $-40\text{ °C}$  a  $85\text{ °C}$  y es resistente a químicos tóxicos, gases licuados y condiciones agresivas.
- Protección robusta: Certificado con grado de protección IP65/IP68, apto para instalaciones en interiores y exteriores.
- Versatilidad en instalación: Compatible con conexiones roscadas o bridas soldadas, y sondas configurables hasta 35 metros de longitud, adaptándose a diversos diseños de tolvas.
- Funciones avanzadas: Integra un transmisor de 2 hilos con salida 4-20 mA, diagnóstico remoto/local mediante HART, y calibración rápida sin detener el proceso.



Figura 3.30: Sensor de nivel Siemens

## 3.5. Software

### 3.5.1. TIA Portal Versión 17

El TIA Portal versión 17 es un entorno de software desarrollado por Siemens para la programación, configuración y simulación de sistemas de automatización industrial. Sus principales características incluyen:

- Programación de PLCs y HMIs: Compatible con la familia SIMATIC, permite diseñar y programar controladores como los S7-1500 y desarrollar interfaces para HMIs de manera integrada.
- Simulación avanzada: Ofrece herramientas como PLCSIM para simular el comportamiento de los controladores y validar la lógica antes de la implementación física.
- Interfaz intuitiva: Facilita la integración de diferentes componentes en un solo entorno de trabajo, lo que reduce la complejidad del diseño.
- Compatibilidad con estándares modernos: Incluye soporte para tecnologías de la Industria 4.0, como conectividad en la nube y diagnósticos remotos.

Este software será fundamental en el proyecto para desarrollar y probar la lógica de control, así como para simular las señales del sensor y validar la interacción entre los diferentes módulos de hardware antes de su implementación en un entorno real.

graphicx float placeins

### 3.5.2. Resultados y simulación del sistema

En las siguientes imágenes se va a presentar el proceso completo de dosificación y mezcla, en automático y manual. Se simularon ambos escenarios para corroborar la eficiencia del sistema con referencia al tiempo.

- Modo automático
  1. Se ingresan los valores de dosificación, además de tiempo de agitación/mezclado y tiempo de reposo, los cuales se encuentran en milisegundos.

Figura 3.31: Ingreso de valores de dosificación La interfaz principal de la HMI permite al operario ingresar los valores de dosificación correspondientes a cada tolva de materia prima. En esta pantalla también se configura el tiempo de mezclado, tanto en fase de agitación como de reposo, y se selecciona el modo de operación (manual o automático). Esta funcionalidad es esencial para establecer los parámetros iniciales antes de iniciar el proceso automatizado.

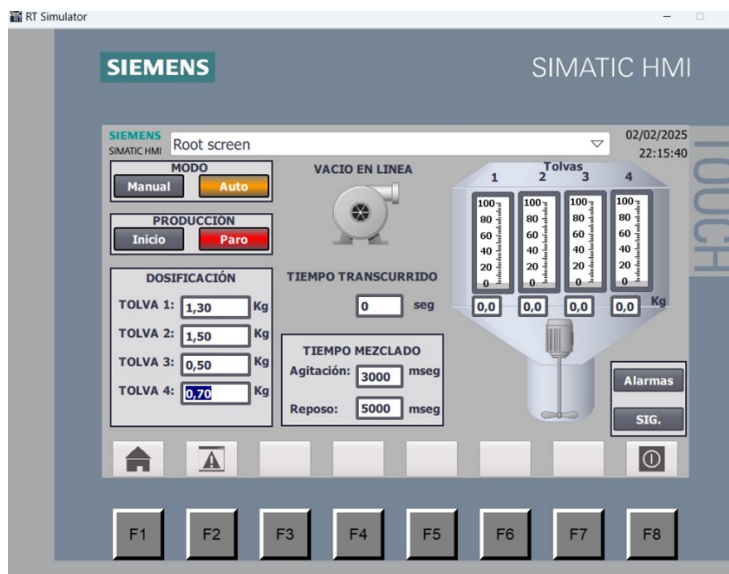


Figura 3.31: Ingreso de valores de dosificación.

2. Simulación de valores analógicos de sensores de nivel.

Figura 3.32: Simulación de sensores de nivel Con el uso de la herramienta S7-PLCSIM, se simularon los valores analógicos de los sensores de nivel instalados en cada tolva. Esta simulación fue clave para validar la respuesta del sistema ante diferentes condiciones de carga, sin necesidad de operar físicamente el equipo.

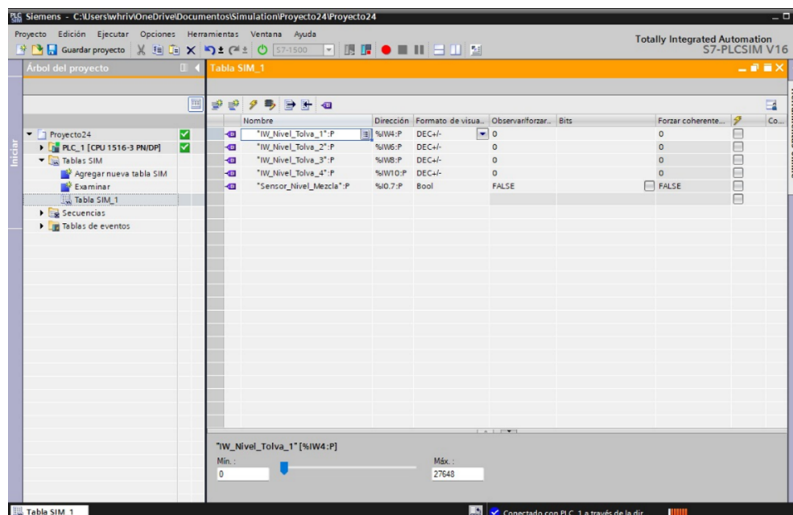


Figura 3.32: Simulación de sensores de nivel.

3. Comienza el proceso en automático, y se enciende la bomba de vacío junto a las 4 válvulas de todas las tolvas.

Figura 3.33: Inicio del proceso en automático Este bloque de código en el PLC representa el inicio del proceso automatizado una vez activado el sistema desde la HMI. Se verifica la disponibilidad de los materiales y se habilitan las salidas que controlan las válvulas de las tolvas y la bomba de vacío, permitiendo la

dosificación hacia la tolva de mezcla.

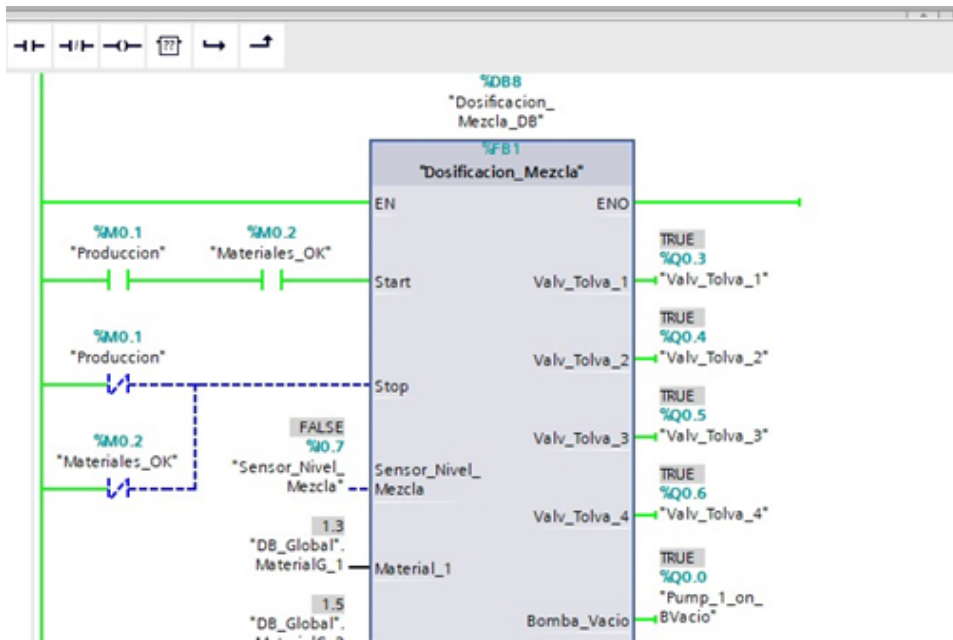


Figura 3.33: Inicio del proceso en automático.

- Se puede observar un llenado simultáneo de las 4 tolvas transcurridos 9 segundos.

Figura 3.34: Llenado de tolvas después de 9 segundos La siguiente imagen muestra la visualización simultánea del entorno de simulación y la HMI, en un instante en que el sistema ha ejecutado 9 segundos del proceso de llenado. Se observa cómo los valores de peso en las tolvas aumentan de forma progresiva conforme se liberan los materiales.

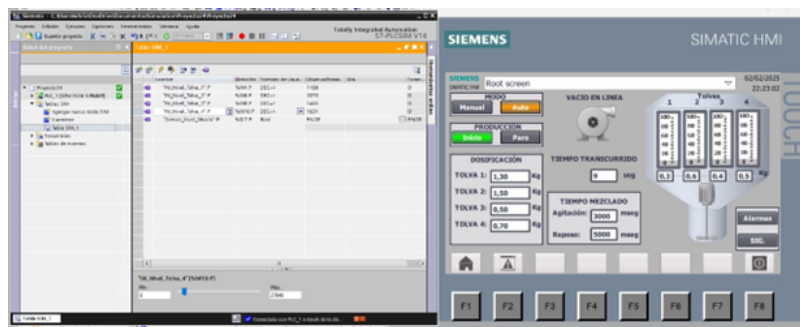


Figura 3.34: Llenado de tolvas después de 9 segundos.

- En aproximadamente 1 minuto, se alcanzó el set point en las 4 tolvas, listas para el mezclado.

Figura 3.35: Tolvas listas para el mezclado Al finalizar la dosificación, los indicadores de peso en la HMI muestran que cada tolva ha entregado la cantidad programada. En este punto, el sistema está preparado para iniciar la etapa de mezclado, garantizando una proporción adecuada de componentes.

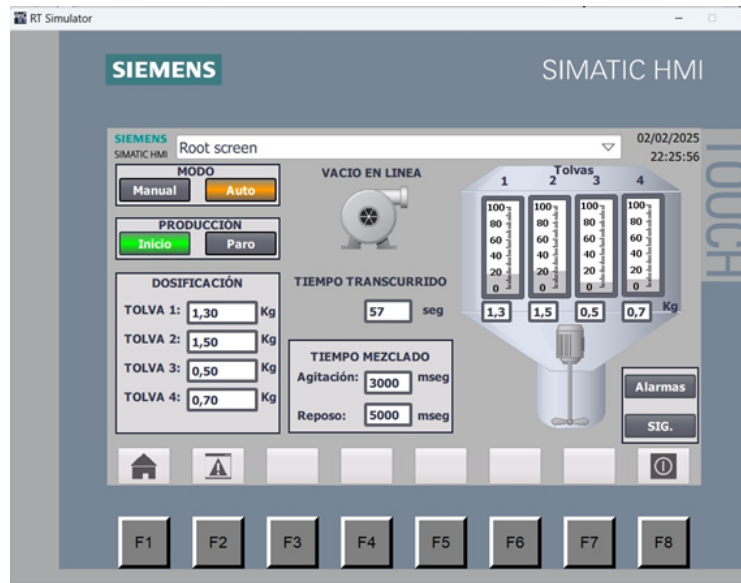


Figura 3.35: Tolvas listas para el mezclado.

6. Al alcanzar el nivel del set point, las válvulas de cada tolva se cierran y se apaga la bomba de vacío para permitir la caída de material al área de mezcla. Figura 3.36: Cierre de válvulas y caída de material Este segmento del código PLC ilustra la lógica de cierre de válvulas una vez alcanzadas las cantidades establecidas. Simultáneamente, se activa la caída del material hacia la tolva de mezcla, y se desactiva la bomba de vacío, marcando la transición hacia la siguiente etapa del proceso.

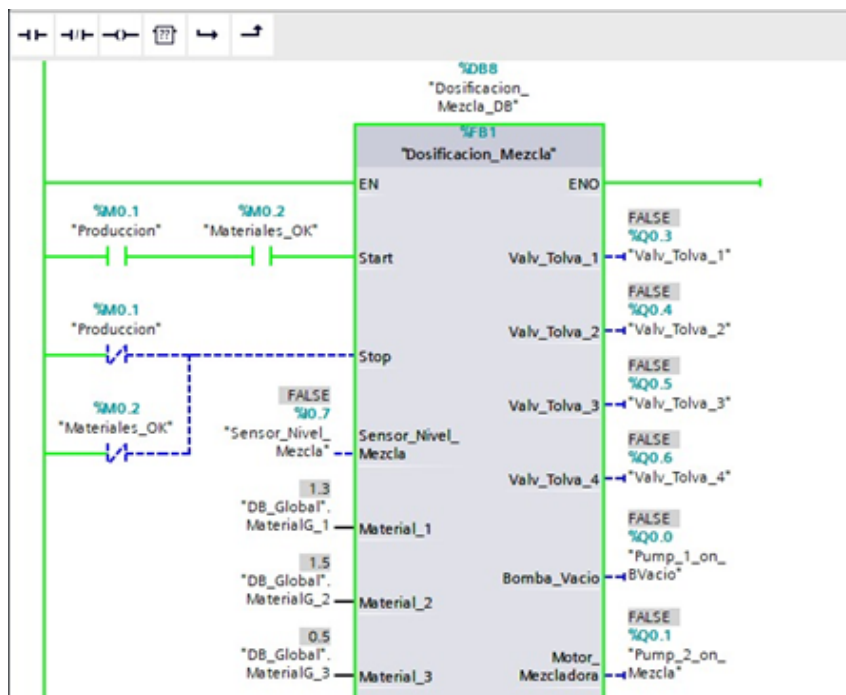


Figura 3.36: Cierre de válvulas y caída de material.

7. En el área de mezclado, un sensor valida la presencia de material dentro del recipiente para encender el motor.

Figura 3.37: Detección de material para iniciar el mezclado En esta imagen se valida que el sensor de nivel de la tolva de mezcla ha detectado la presencia del material. Esta condición es indispensable para habilitar la activación del motor del mezclador y asegurar que no se produzca una agitación en vacío.

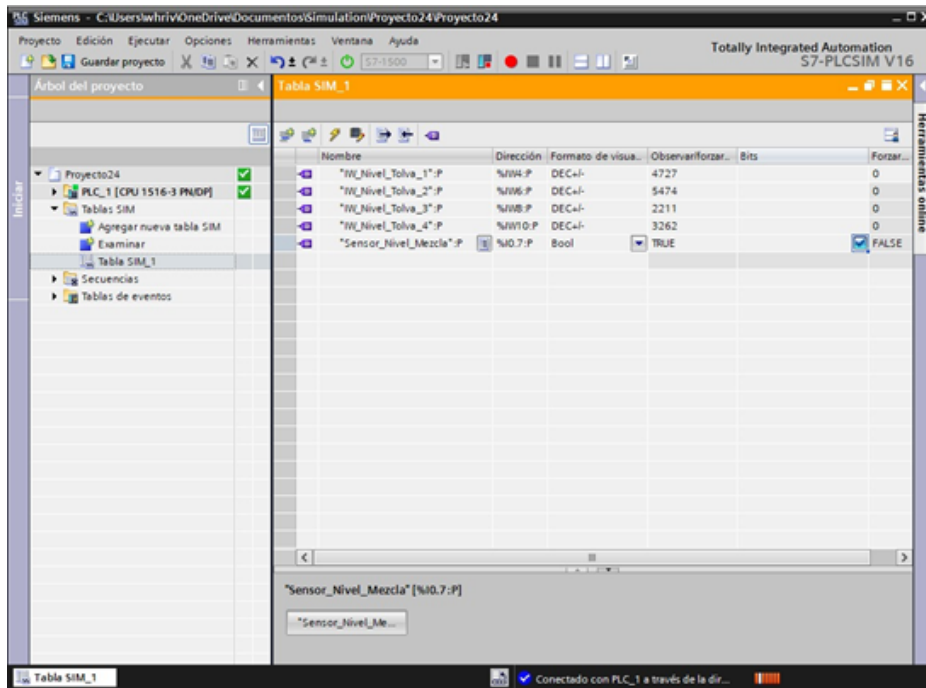


Figura 3.37: Detección de material para iniciar el mezclado.

A continuación, se ilustra la secuencia final del proceso automático: tolvas vacías (Figura 3.35), inicio del mezclado (Figura 3.36) y estado de reposo del material (Figura 3.37). Estas etapas son controladas completamente por el PLC una vez iniciada la operación.

8. Las tolvas quedan vacías, ya que el material pasó al área de mezclado.

Figura 3.38: Tolvas vacías tras la transferencia de material, una vez completada la transferencia de los materiales hacia la tolva de mezcla, los sensores de nivel en las tolvas iniciales marcan valores de cero. Esta información es útil tanto para control del proceso como para alertar al operario sobre la necesidad de recarga.

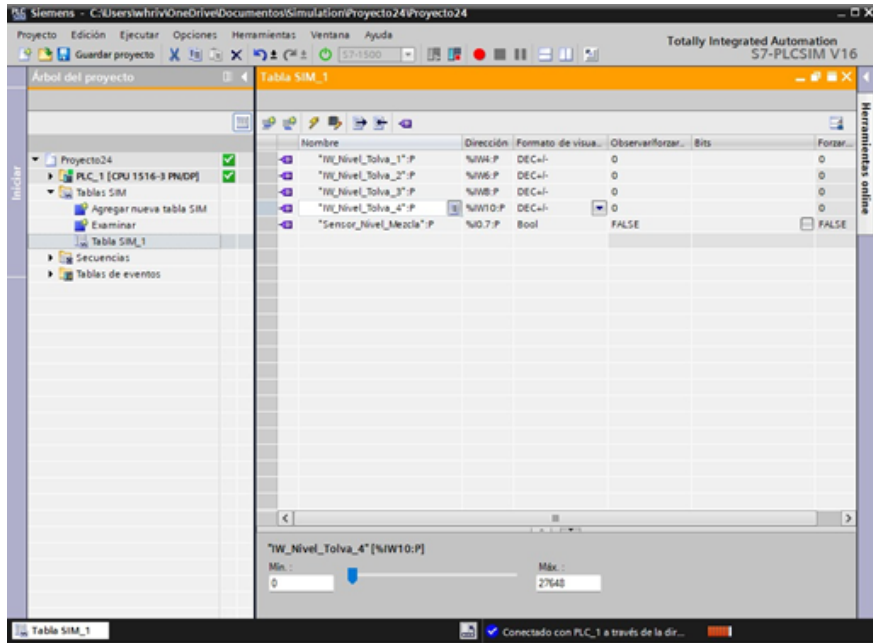


Figura 3.38: Tolvas vacías tras la transferencia de material.

9. El mezclado se activa durante el tiempo ingresado, en este caso 3 segundos.

Figura 3.39: Inicio del mezclado por 3 segundos, en este segmento de código se activa el mezclador durante el tiempo programado de agitación, utilizando un temporizador TOF. La condición de inicio depende del sensor de nivel y del fin del llenado de las tolvas, asegurando una secuencia ordenada.

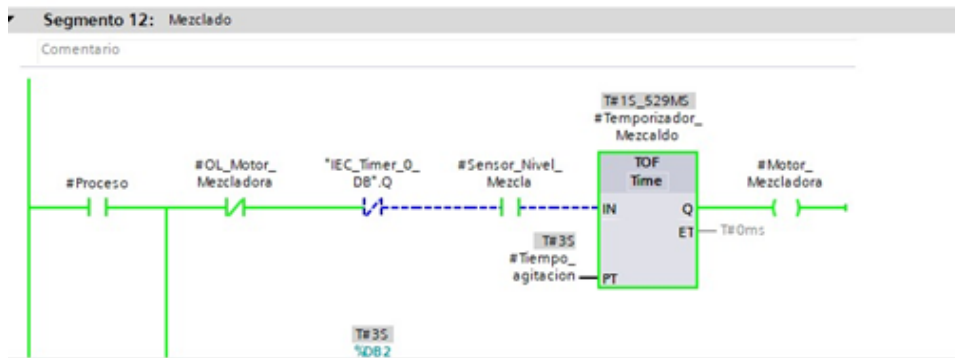


Figura 3.39: Inicio del mezclado por 3 segundos.

10. El material ya mezclado se mantendrá en reposo durante el tiempo ingresado (5 segundos) y luego será retirado por una bomba de vacío externa, finalizando el proceso y reiniciando el sistema.

Figura 3.40: Material en reposo antes de la extracción Finalmente, tras la agitación, el material entra en una fase de reposo controlado mediante otro temporizador. Durante este tiempo se evita cualquier perturbación para lograr una mezcla homogénea, antes de activar la bomba de extracción y finalizar el proceso.

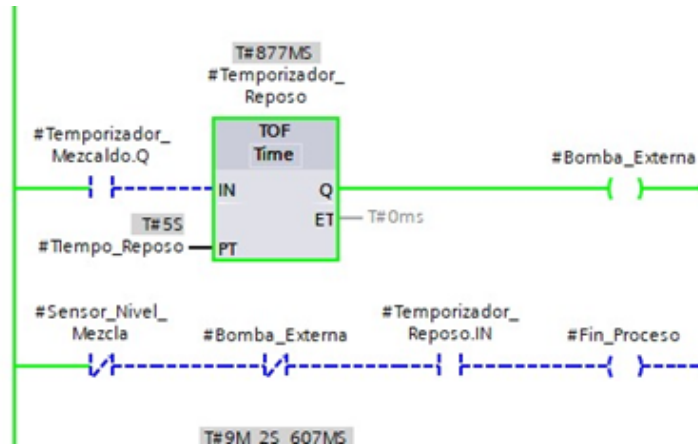


Figura 3.40: Material en reposo antes de la extracción.

- Modo manual

Una vez que se selecciona el modo manual, se deben activar las válvulas de apertura individualmente para verificar el nivel de dosificación según las cantidades requeridas.

En modo manual, el operador tiene control individual sobre cada válvula de las tolvas. La Figura 3.38 a la Figura 3.39 muestran la apertura progresiva de cada una de las tolvas, permitiendo una verificación directa del sistema.

1. Apertura de la válvula de la tolva 1.

Figura 3.41: Apertura de la válvula de la tolva 1 En el modo manual, el operario tiene la capacidad de controlar individualmente las válvulas de cada tolva. Esta figura muestra la apertura de la válvula correspondiente a la tolva 1, permitiendo el vaciado del material hacia la tolva de mezcla. Simultáneamente, en la tabla de simulación se observa el cambio en los valores asociados al sensor de nivel.



Figura 3.41: Apertura de la válvula de la tolva 1.

2. Apertura de la válvula de la tolva 2 para su llenado.

Figura 3.42: Apertura de la válvula de la tolva 2 A través de la HMI, el operario procede con la apertura de la válvula de la tolva 2. Esta acción manual permite dosificar el segundo componente de la mezcla, y su efecto se refleja en la lectura

en tiempo real de los sensores de nivel. Este tipo de control es útil para ajustes puntuales o pruebas de funcionamiento.

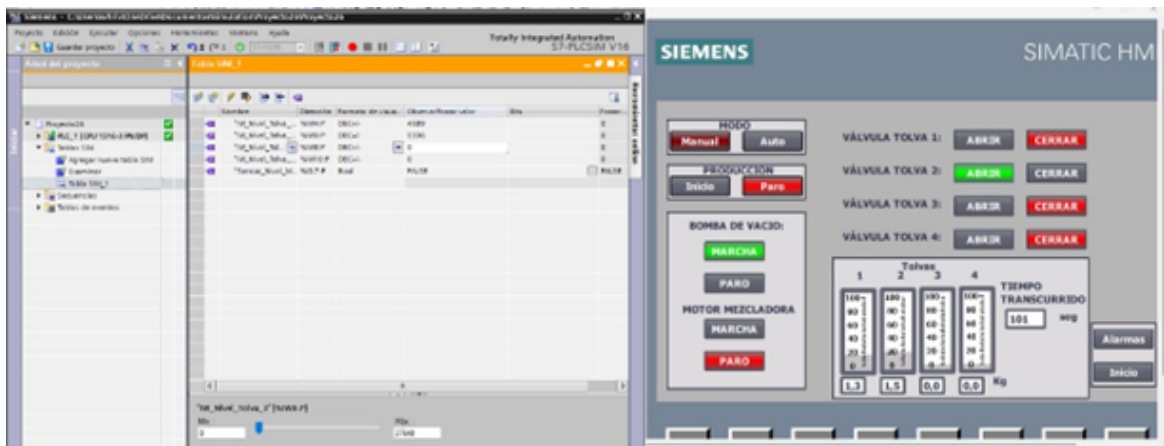


Figura 3.42: Apertura de la válvula de la tolva 2.

3. Apertura de la válvula de la tolva 3 para su llenado.

Figura 3.43: Apertura de la válvula de la tolva 3 En esta etapa del proceso, se activa manualmente la válvula de la tolva 3 desde la interfaz de operador. La imagen también muestra la actualización de los valores de simulación correspondientes, confirmando que el sistema responde correctamente ante la orden enviada desde la HMI.

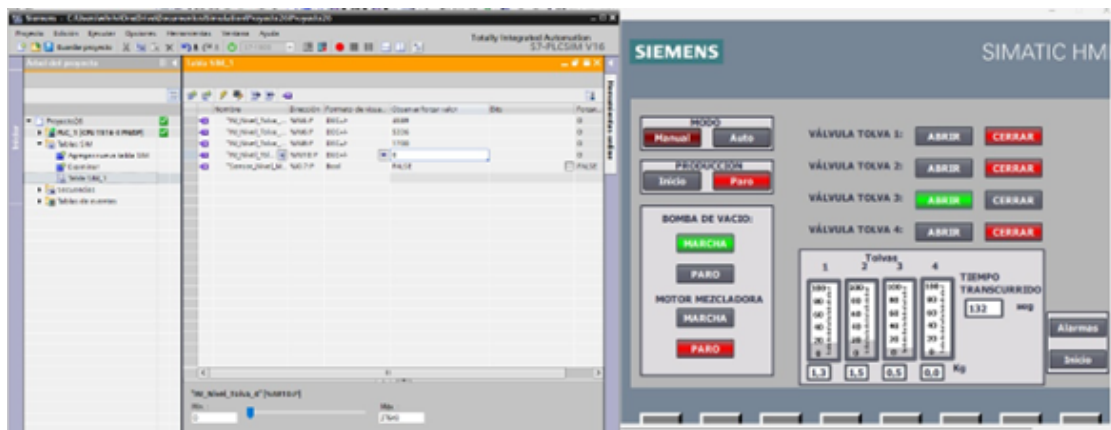


Figura 3.43: Apertura de la válvula de la tolva 3.

4. Apertura de la válvula de la tolva 4 para su llenado.

Figura 3.44: Apertura de la válvula de la tolva 4 Finalmente, la figura muestra la apertura manual de la válvula de la tolva 4, completando así la secuencia de llenado individual de las tolvas. Este procedimiento permite verificar el correcto funcionamiento de cada válvula por separado, validando su respuesta ante comandos específicos en el entorno de simulación.

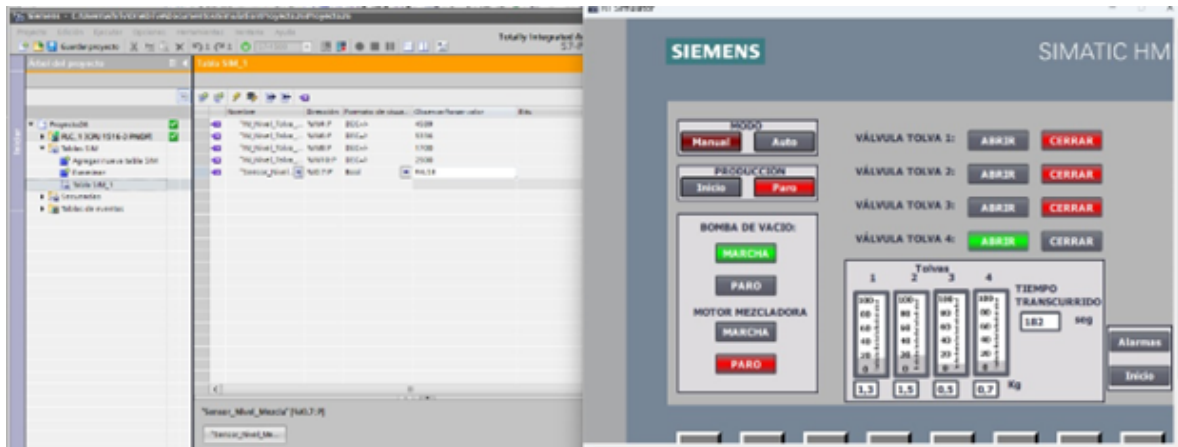


Figura 3.44: Apertura de la válvula de la tolva 4.

### 3.5.3. Análisis de resultados

La comparación entre ambos modos de operación evidencia los beneficios de la automatización en términos de eficiencia, reducción de errores humanos y optimización del tiempo de producción. A continuación, se presentan los principales hallazgos del análisis:

1. **Optimización del flujo:** Comparación de tiempos de operación: La reducción del tiempo de producción en modo automático es de un 68.7%, lo que permite incrementar la productividad de la línea de producción. En un turno de 8 horas, esta optimización permitiría realizar más ciclos de producción, aumentando la capacidad operativa de la planta sin necesidad de intervención adicional.

Modo de Operación	Tiempo Total por Ciclo (s)	Producción en un turno de 8 horas
Manual	182	1584
Automático	57	5052

Cuadro 3.2: Comparación de tiempos y producción por turno

2. **Reducción de errores humanos:** Uno de los principales problemas del sistema manual es la dependencia del operador para realizar cada etapa. Esto genera inconsistencias en los tiempos de dosificación y mezclado, así como posibles errores en la configuración del proceso. Con la automatización:
  - a) El PLC controla las variables del proceso, asegurando precisión en cada ciclo.
  - b) Permite la eliminación de tiempos de espera, ya que mientras que en el modo manual el operador debe verificar cada llenado, en el modo automático el sistema ejecuta el proceso sin interrupciones.
  - c) La consistencia en la calidad porque al mantener parámetros fijos en cada ciclo, se evita la variabilidad causada por la intervención humana.
3. **Optimización del flujo:** El proceso manual requiere que el operador esté presente en cada paso, lo que genera tiempos muertos y menor eficiencia. En cambio, con la automatización:
  - a) El operador únicamente ingresa los parámetros de operación al inicio, mientras que el PLC gestiona y supervisa cada fase del proceso, reduciendo la dependencia de la intervención humana.

- b) Ambas operaciones se realizan en un sistema unificado, eliminando tiempos de espera entre etapas y garantizando una transición fluida entre los procesos de llenado y homogeneización del material.
- c) El PLC ejecuta de manera secuencial y precisa cada instrucción, evitando errores de sincronización y asegurando un ciclo de producción continuo y optimizado.

## 3.6. Recomendaciones y Conclusión

### 3.6.1. Conclusión

El presente trabajo de investigación ha sido exitosamente completado con la implementación de un sistema de control avanzado para el proceso de llenado y mezcla de materiales en la industria del plástico. Este sistema se basa en tecnologías de vanguardia, como el PLC SIMATIC S7-1500 y la interfaz HMI KTP700 Basic. La metodología adoptada se organizó en bloques funcionales específicos que abarcan el control de sensores de nivel, la gestión de válvulas, la protección de motores y la regulación del tiempo de proceso, lo que ha permitido desarrollar una solución integral que optimiza la automatización industrial. El sistema fue diseñado utilizando el entorno TIA Portal V17, y ofrece modalidades tanto manual como automática, lo que permite un control preciso sobre los parámetros críticos del proceso, tales como la dosificación por peso, el control de mezcla y los tiempos de reposo del material. La creación de una interfaz HMI intuitiva, junto con una programación modular del PLC, ha dado lugar a un sistema robusto y flexible que no solo satisface los objetivos planteados inicialmente, sino que también establece una base sólida para futuras mejoras tecnológicas alineadas con los principios de la Industria 4.0.

Los resultados obtenidos se reflejan en las conclusiones siguientes:

1. Se logró diseñar un sistema de control eficiente y adaptado a las necesidades del proceso de dosificación y mezclado en la industria del plástico. A través del análisis de variables como peso, nivel y tiempos de operación, se estableció una lógica funcional capaz de manejar cuatro componentes distintos con precisión. La innovación del sistema radica en su capacidad para integrar múltiples etapas del proceso bajo un esquema estructurado, generando mayor confiabilidad y trazabilidad operativa.
2. La programación del sistema fue implementada satisfactoriamente tanto en modo automático como en modo manual, utilizando el entorno TIA Portal. En modo automático, el sistema ejecuta secuencias coordinadas desde la dosificación hasta la agitación y reposo. En modo manual, el operador tiene control directo sobre válvulas, mezclador y bomba, lo cual se verificó mediante simulación en S7-PLCSIM y pruebas en la HMI. Esta dualidad garantiza eficiencia operativa y flexibilidad ante distintas condiciones de trabajo o mantenimiento.
3. Se completó con éxito la migración del sistema de control mediante el uso del simulador S7-PLCSIM, lo cual permitió replicar en entorno virtual todas las señales digitales y analógicas requeridas. La simulación reprodujo fielmente la lógica de funcionamiento programada, validando el comportamiento de sensores de nivel, temporizadores y accionamientos. Esto aseguró una validación completa del sistema antes de su implementación en campo, reduciendo riesgos operativos.

### 3.6.2. Recomendaciones

1. Implementación de un sistema de monitoreo y mantenimiento preventivo Es recomendable establecer un plan de mantenimiento periódico para el PLC Siemens S7-1500 y sus periféricos, asegurando el correcto funcionamiento de sensores, actuadores y módulos de comunicación. Esto permitirá prevenir fallos, prolongar la vida útil de los componentes y garantizar la estabilidad operativa del sistema automatizado

2. Capacitación del personal en el uso del sistema automatizado Se sugiere diseñar un programa de formación para operadores y técnicos, enfocado en el manejo del PLC, la HMI y el software TIA Portal. De esta manera, el equipo de trabajo podrá interpretar correctamente las señales del sistema, realizar ajustes cuando sea necesario y responder de manera eficiente ante posibles incidencias en el proceso de producción.
3. Evaluación de nuevas tecnologías para la optimización del sistema Para mejorar aún más la eficiencia del proceso, se recomienda analizar la viabilidad de integrar herramientas avanzadas como Big Data, monitoreo en la nube y sensores inteligentes. Estas tecnologías facilitarían la recopilación y análisis de datos en tiempo real, permitiendo optimizar la dosificación y el mezclado de manera dinámica y eficiente.

# Bibliografía

- [1] N. C. of Engineering, Technology et al., “Título del artículo o libro,” *Nombre de la revista (si aplica)*, vol. XX, n.º YY, págs. 123-456, 2020.
- [2] P. Gundall, J. Smith y R. Johnson, “La actualización del sistema de automatización e integración con IA y IIoT,” *Revista de Automatización Industrial*, vol. 15, n.º 4, págs. 75-85, 2022, Accedido: 28-Dic-2024.
- [3] Siemens, *This manual applies to LOGO! 8 6ED1052-xxx08-0BA1*, Copyright Siemens AG, 2020.
- [4] E. Pumasunta, *MIGRACIÓN DE SISTEMA “CONTROL DE BIENES”*, 2020.
- [5] J. Silva, *Automatización Industrial Moderna*. Ciudad, País: Editorial Tecnológica, 2020.
- [6] A. Ayub, “Innovaciones en Sensores Industriales,” *Revista de Automatización y Control*, vol. 15, n.º 2, págs. 45-60, 2021.
- [7] CIPRES. “Historia del CIPRES.” Accedido: 28-Dic-2024. (2024), dirección: [http://www.ingenieriaplastica.com/novedades\\_ip/instituciones/cipres\\_historia.html](http://www.ingenieriaplastica.com/novedades_ip/instituciones/cipres_historia.html).
- [8] P. México. “Guía Técnica 2024: Procesamiento y Transformación de Plásticos.” Accedido: 28-Dic-2024. (2024), dirección: <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/guia-tecnica-2024-procesamiento-y-transformacion-de-plasticos>.
- [9] A. Caruso y L. Filice, “La digitalización en la industria del plástico: Un proceso de cambio hacia la eficiencia,” *Revista de Tecnología Industrial*, vol. 10, n.º 3, págs. 45-60, 2023, Accedido: 28-Dic-2024.
- [10] P. T. México, *Guía técnica 2024: Procesamiento y transformación de plásticos*, Accedido: 28-Dic-2024, 2024. dirección: <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/guia-tecnica-2024-procesamiento-y-transformacion-de-plasticos>.
- [11] N. Korsager, *Oportunidades de automatización en la industria del plástico*, <https://www.pt-mexico.com/articulos/oportunidades-de-automatizacion-en-la-industria-del-plastico>, 2023.
- [12] A. Ordoñez, “La automatización industrial: aumento de la eficiencia y reducción de costos en la producción,” *Revista de Ingeniería Industrial*, vol. 45, n.º 3, págs. 120-130, 2021, Accedido: 28-Dic-2024.
- [13] I. P. E. S. I. of Electrical y E. Engineers, *Guía para la migración de sistemas de automatización industrial*, Accedido: 28-Dic-2024, 2020. dirección: <https://www.ieee.org>.
- [14] I. T. ES, *Sistemas de automatización obsoletos, migración de sistemas y migración de PLC*, <https://inttec.cat/es/2023/10/02/sistemas-de-automatizacion-obsoletos-migracion-de-sistemas-y-migracion-de-plc/>, 2023.

- [15] F. D. P. PLÁSTICOS, *Sistemas de dosificación en la industria del plástico*, Accedido: 28-Dic-2024, 2022. dirección: <https://www.fabricacionplasticos.com>.
- [16] A. Quinteros, M. López y R. González, “Automatización de procesos de fabricación de productos plásticos,” *Revista de Ingeniería y Automatización*, vol. 12, n.º 2, págs. 45-55, 2020, Accedido: 28-Dic-2024.
- [17] W. Zhang y C. Xie, “Optimization of Blending and Dosing Processes Using PLC-Based Automation,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 58, págs. 152-161, 2020.
- [18] J. Aguilar, M. Pérez y S. Lara, “Automatización de procesos secuenciales en la industria alimentaria mediante SCADA y PLC,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 16, n.º 2, págs. 110-117, 2019.
- [19] R. Kumar y A. Singh, “Migration Strategies for Legacy PLC Systems in Process Industry: A Case Study,” *International Journal of Industrial Electronics and Applications*, vol. 12, n.º 1, págs. 55-64, 2021.
- [20] Siemens AG, *TIA Portal y SIMATIC: Simulación avanzada para la validación de procesos industriales*, Manual técnico de aplicación, 2020.
- [21] A. Desconocido, *Método de Análisis y sus Aplicaciones*, Información pendiente de completar, 2024. dirección: <https://marcadorplaceholder.com>.
- [22] S. R. Cajal, *Investigación de Campo y su Aplicación en Contextos Prácticos*. Madrid, España: Editorial Científica, 2019, Accedido: 28-Dic-2024.
- [23] D. R. D. Mejia, “Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control en la línea de extrusión de la empresa vulcano plástico,” Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica Israel, 2022.
- [24] J. I. J. Aguilar, “Aplicación del internet industrial de las cosas (IoT) en líneas de manufactura por proceso de moldeo por inyección de plástico,” *Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, vol. 9, n.º 2, págs. 1-22, 2020. dirección: <https://www.redalyc.org/journal/5122/512267931001/html/>.
- [25] J. R. W. Palacios, “Sistema automático de adquisición y análisis de datos con machine learning para,” *Polo del conocimiento*, vol. 7, n.º 2, págs. 1298-1311, 2022, Edición núm. 67, febrero 2022, ISSN: 2550 - 682X.
- [26] I. Fernandez, *El futuro del trabajo y la automatización*. Comillas “Universidad Pontificia”, 2023.
- [27] P. L. Finance, *PLC*, 2020.
- [28] F. Haygen, *Modeling, Simulation and Control*. Techteach, 2023.
- [29] C. Sailema, “GESTIÓN POR PROCESOS PARA LA LÍNEA DE FAENAMIEN-TO,” Universidad Técnica de Ambato, 2022.
- [30] Siemens, *Logo, manual de producto*, Siemens.
- [31] J. Mellado, *EL IOT-PLC: UNA NUEVA GENERACIÓN*, Santiago de Chile, 2020.
- [32] J. S. E. Leon, *Diseño e Implementación de la automatización y monitoreo*, Solid Converter.
- [33] J. P. R. Acosta, *Moldeo en el proceso de inyección de plásticos*. Dimension Empresarial, 2017.
- [34] S. AG, *CPU 1516-3 PN/DP specifications*, <https://mall.industry.siemens.com>, Accedido el 28 de diciembre de 2024, 2024.

- [35] S. AG, *Digital input modules specifications*, <https://docs.rs-online.com>, 2023.
- [36] S. AG, *Digital Output Modules Specifications*, <https://mall.industry.siemens.com>, 2024.
- [37] S. AG, *Analog input modules technical specifications*, <https://docs.rs-online.com>, 2024.
- [38] S. AG, *Analog output modules*, <https://mall.industry.siemens.com>, 2023.
- [39] R. Components, *SIMATIC HMI KTP700 Basic Panel - 6AV2123-2GB03-0AX0*, Accedido: 28-Dic-2024, 2024. dirección: <https://www.rs-online.com>.