

# UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

---

## DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUARDIENTE

---

Realizado por

Christian Steve Cristancho Gutierrez

Jonathan José Medina Avendaño

Proyecto presentado en cumplimiento del requisito  
para optar por el título de Ingeniero Electrónico



Facultad de Ingeniería Electrónica

División de Arquitectura e Ingenierías

Mayo de 2025

# **DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUARDIENTE**

---

Realizado por

Christian Steve Cristancho Gutierrez

Jonathan José Medina Avendaño

Proyecto presentado en cumplimiento del requisito  
para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Dirigido por

PhD(c). Ing. Adolfo Ávila Barón



Facultad de Ingeniería Electrónica

División de Arquitectura e Ingenierías

Mayo de 2025

## **Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del autor

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

**Tunja 2025**

## **Advertencia**

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado; solo velará porque no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea al anhelo de buscar la verdad científica.

**Capítulo III-Art. 46, Reglamento de la Universidad Santo Tomás.**

## **Dedicatoria**

Dedicamos este proyecto a nuestros padres y hermanos, quienes han sido nuestro refugio y fortaleza en los momentos más exigentes de este camino. También nos lo dedicamos a nosotros mismos, por no rendirnos, por creer en nuestras capacidades y por transformar el cansancio en motivación. Cada hora de esfuerzo hoy se refleja en esta meta cumplida.

# Agradecimientos

## Agradecimientos Christian

Agradezco a la Universidad Santo Tomás por brindarnos un espacio de formación integral. A nuestros docentes, en especial al directo de este trabajo de grado, por su acompañamiento, exigencia y guía constante. Extiendo mi agradecimiento a los compañeros que enriquecieron este camino con experiencias compartidas, así como a los familiares y amigos que, desde la distancia o la cercanía, estuvieron presentes con su apoyo y aliento. Finalmente, agradezco profundamente a mi pareja, que a pesar de la distancia, siempre estuvo presente con su apoyo incondicional y su ayuda en cada uno de los momentos que hicieron posible llegar hasta aquí.

## Agradecimientos Jonathan

Quiero agradecer a los profesores que formaron parte de este proceso por su compromiso y los conocimientos compartidos, así como al director del proyecto por su orientación clave en el desarrollo de esta tesis. Agradezco también a la institución que hizo posible nuestra formación profesional y a todas aquellas personas que, sin estar en primera fila, contribuyeron con palabras, consejos o gestos de apoyo que marcaron la diferencia.

# Índice General

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Dedicatoria.....                                                                 | 5  |
| Agradecimientos.....                                                             | 6  |
| Índice de ilustraciones.....                                                     | 10 |
| Índice de tablas .....                                                           | 11 |
| Resumen.....                                                                     | 12 |
| Abstract.....                                                                    | 13 |
| 1. Introducción.....                                                             | 14 |
| 1.1 Planteamiento del problema .....                                             | 15 |
| 1.2 Justificación .....                                                          | 16 |
| 1.3    Objetivos .....                                                           | 17 |
| 1.3.1    Objetivo general .....                                                  | 17 |
| 1.3.2    Objetivos específicos .....                                             | 17 |
| 2. Estado del Arte .....                                                         | 18 |
| 3. Marco Teórico.....                                                            | 21 |
| 3.1 Automatización industrial .....                                              | 21 |
| 3.2 Controladores Lógicos Programables (PLC).....                                | 22 |
| 3.3    TIA Portal .....                                                          | 22 |
| 3.4    Sensores y Actuadores .....                                               | 23 |
| 3.5    Interfaz Hombre-Máquina.....                                              | 23 |
| 3.6 Sistemas SCADA .....                                                         | 24 |
| 3.7 Sistemas de Control Secuencial.....                                          | 24 |
| 3.8 Producción Del Aguardiente.....                                              | 25 |
| 3.8.1 Etapas De Producción Del Aguardiente .....                                 | 25 |
| 3.9 Recetas Y Cantidades En La Producción Del Aguardiente.....                   | 26 |
| 3.10 Normativas aplicables a la producción y automatización del aguardiente..... | 26 |
| 3.11 Variables Críticas .....                                                    | 28 |
| 4. Metodología .....                                                             | 30 |
| 4.1 Tipo de investigación .....                                                  | 30 |
| 4.2 Diseño metodológico.....                                                     | 30 |
| 4.2.1 Etapa 1 .....                                                              | 31 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 4.2.2 Etapa 2 .....                              | 31 |
| 4.2.3 Etapa 3 .....                              | 31 |
| 4.2.4 Etapa 4 .....                              | 31 |
| 4.2.5 Etapa 5 .....                              | 31 |
| 4.3 Requerimientos técnicos y tecnológicos ..... | 31 |
| 4.4 Diagrama de flujo funcional .....            | 33 |
| 5. Desarrollo .....                              | 35 |
| 5.1 Análisis del proceso real .....              | 35 |
| 5.1.1 Etapas Elegidas Para Automatizar .....     | 35 |
| 5.1.2 Recetas y Cantidades .....                 | 36 |
| 5.2 Requerimientos funcionales .....             | 37 |
| 5.2.1 Caracterización de los sensores .....      | 37 |
| 5.3 Diagrama P&ID .....                          | 42 |
| 5.4 Diagrama GRAFCET .....                       | 45 |
| 5.5 Variables PLC .....                          | 47 |
| 5.6 Modelado en 3D .....                         | 48 |
| 5.7 Calibración de sensores .....                | 49 |
| 5.7.1 Sensor de temperatura .....                | 49 |
| 5.7.2 Sensor de peso .....                       | 50 |
| 5.7.3 Sensor de flujo .....                      | 50 |
| 5.8 Circuitos de adaptación de voltaje .....     | 51 |
| 5.8.1 Amplificador de voltaje .....              | 51 |
| 5.8.2 Circuito adaptador de nivel .....          | 52 |
| 6. Resultados .....                              | 53 |
| 6.1 Implementación física .....                  | 53 |
| 6.2 TIA Portal .....                             | 54 |
| 6.3 HMI .....                                    | 58 |
| 6.3.1 Interfaz inicial .....                     | 58 |
| 6.3.2 Interfaz de recetas .....                  | 58 |
| 6.3.3 Interfaz de mezclado .....                 | 60 |
| 6.3.4 Interfaz de reposo .....                   | 61 |
| 6.3.5 Almacenamiento .....                       | 61 |
| 6.4 SCADA .....                                  | 62 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 6.5 Tiempos de respuesta..... | 66 |
| 6.6 Errores de peso .....     | 70 |
| 7. Conclusiones .....         | 73 |
| 8. Trabajos Futuros .....     | 75 |
| 9. Referencias .....          | 76 |
| 10. Anexos.....               | 81 |

# Índice de ilustraciones

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1: Diagrama de bloques de un sistema de control. Fuente: (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2025) (LovTechnology, 2023). | 23 |
| Ilustración 2: Diagrama de flujo. Fuente: Autor                                                                                     | 33 |
| Ilustración 3: Diagrama P&ID. Fuente: Autor                                                                                         | 42 |
| Ilustración 4: Etapa Mezclado P&ID. Fuente: Autor                                                                                   | 43 |
| Ilustración 5: Etapa de Reposo P&ID. Fuente: Autor                                                                                  | 44 |
| Ilustración 6: Etapa Almacenamiento P&ID. Fuente: Autor                                                                             | 44 |
| Ilustración 7: GRAFCET del proceso. Fuente: Autor                                                                                   | 46 |
| Ilustración 8: Modelo planta 3D. Fuente: Autor                                                                                      | 49 |
| Ilustración 9: Circuito para Pt100. Fuente: Autor                                                                                   | 50 |
| Ilustración 10: Circuito amplificador. Fuente: Autor                                                                                | 51 |
| Ilustración 11: Circuito adaptador de tensión. Fuente: Autor                                                                        | 52 |
| Ilustración 12: Maqueta a escala. Fuente: Autor                                                                                     | 53 |
| Ilustración 13: Maqueta a escala. Fuente: Autor                                                                                     | 54 |
| Ilustración 14: TIA Portal etapas. Fuente: Autor                                                                                    | 55 |
| Ilustración 15: TIA Portal escalado de temperatura. Fuente: Autor                                                                   | 55 |
| Ilustración 16: TIA Portal activación actuadores. Fuente: Salidas                                                                   | 56 |
| Ilustración 17: TIA Portal parada y rearme. Fuente: Autor                                                                           | 57 |
| Ilustración 18: HMI principal. Fuente: Autor                                                                                        | 58 |
| Ilustración 19: HMI recetas. Fuente: Autor                                                                                          | 59 |
| Ilustración 20: Elementos de recetas. Fuente: Autor                                                                                 | 59 |
| Ilustración 21: Recetas. Fuente: Autor                                                                                              | 59 |
| Ilustración 22: HMI mezclado. Fuente: Autor                                                                                         | 60 |
| Ilustración 23: HMI reposo. Fuente: Autor                                                                                           | 61 |
| Ilustración 24: HMI almacenamiento. Fuente: Autor                                                                                   | 62 |
| Ilustración 25: Servidor SCADA. Fuente: Autor                                                                                       | 62 |
| Ilustración 26: Variables. Fuente: Autor                                                                                            | 63 |
| Ilustración 27: Interfaz Python. Fuente: Autor                                                                                      | 63 |
| Ilustración 28: Interfaz Mezclado: Fuente: Autor                                                                                    | 64 |
| Ilustración 29: Interfaz Reposo: Fuente: Autor                                                                                      | 65 |
| Ilustración 30: Interfaz Almacenamiento. Fuente: Autor                                                                              | 65 |

## Índice de tablas

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Ficha técnica del sensor WZP-PT100 (Lake Shore, Inc) ..... | 37 |
| Tabla 2: Ficha técnica YZC-133 (Datasheet HUB) .....                | 38 |
| Tabla 3: Ficha técnica YF-S201 (Components101) .....                | 38 |
| Tabla 4: Componentes físicos. Fuente: Autor .....                   | 39 |
| Tabla 5: Variables de entrada. Fuente: Autor .....                  | 47 |
| Tabla 6: Variables de salida. Fuente: Autor .....                   | 47 |
| Tabla 7: Memorias PLC. Fuente: Autor .....                          | 48 |
| Tabla 8: Tiempos etapa de mezclado. Fuente: Autor .....             | 66 |
| Tabla 9: Análisis etapa de mezclado. Fuente: Autor .....            | 66 |
| Tabla 10: Tiempos etapa de reposo. Fuente: Autor .....              | 67 |
| Tabla 11: Análisis etapa de reposo. Fuente: Autor .....             | 67 |
| Tabla 12: Tiempos etapa de almacenamiento. Fuente: Autor .....      | 67 |
| Tabla 13: Análisis etapa de almacenamiento. Fuente: Autor .....     | 68 |
| Tabla 14: Tiempos de todas las etapas. Fuente: Autor .....          | 68 |
| Tabla 15: Análisis de todas las etapas. Fuente: Autor .....         | 69 |

# Resumen

La automatización industrial se ha consolidado como una herramienta clave para optimizar procesos productivos, mejorar la eficiencia operativa y reducir la intervención humana en tareas repetitivas o críticas. Su aplicación en la industria de bebidas alcohólicas, y específicamente en la producción de aguardiente, representa una oportunidad para modernizar prácticas tradicionales y mejorar la calidad y trazabilidad del producto final.

El presente trabajo de grado tiene como finalidad el diseño e implementación de una maqueta automatizada que replica a escala tres etapas fundamentales del proceso de producción de aguardiente: mezclado, reposo y almacenamiento. Esta maqueta integra sensores de temperatura, peso y flujo, junto con actuadores como electroválvulas, bombas y un motor agitador, todos gobernados por un controlador lógico programable (PLC) Siemens, programado en el entorno TIA Portal. La maqueta es desarrollada con componentes de bajo costo, accesibles en el entorno académico, permitiendo no solo simular el funcionamiento lógico de una planta real, sino también constituirse en una herramienta formativa en el aprendizaje de la automatización industrial. El desarrollo del sistema incluyó la aplicación de principios de control secuencial, modelado funcional mediante GRAFCET, programación estructurada, diseño eléctrico y monitoreo en tiempo real a través de interfaces HMI y SCADA.

**Palabras clave:** Automatización industrial, PLC Siemens, TIA Portal, sensores, actuadores, HMI, SCADA, aguardiente, maqueta didáctica, control secuencial.

# Abstract

Industrial automation has become a key tool for optimizing production processes, improving operational efficiency, and reducing human intervention in repetitive or critical tasks. Its application in the alcoholic beverage industry, particularly in the production of aguardiente, represents an opportunity to modernize traditional practices and enhance the quality and traceability of the final product.

This undergraduate thesis aims to design and implement an automated scale model that replicates three fundamental stages of the aguardiente production process: mixing, resting, and storage. The model integrates temperature, weight, and flow sensors, along with actuators such as solenoid valves, pumps, and a stirring motor, all controlled by a Siemens programmable logic controller (PLC) programmed in the TIA Portal environment. It was built using low-cost components accessible in academic settings, allowing not only the simulation of the logical operation of a real plant but also serving as a didactic tool for learning industrial automation. The system development involved the application of sequential control principles, functional modeling using GRAFCET, structured programming, electrical design, and real-time monitoring through HMI and SCADA interfaces.

**Keywords:** Industrial automation, Siemens PLC, TIA Portal, sensors, actuators, HMI, SCADA, aguardiente, didactic model, sequential control.

# 1. Introducción

La automatización industrial ha transformado radicalmente los procesos de manufactura y producción en múltiples sectores, permitiendo un mayor control, eficiencia y reducción de errores humanos (Groover, 2020). Esta evolución tecnológica no solo ha incrementado la productividad, sino que también ha generado entornos más seguros y sostenibles, al reducir el desperdicio de recursos y optimizar el uso de energía (García, Torres, & Bernal, 2020) (García, Torres, & Bernal, 2020).

En particular, la industria de bebidas alcohólicas ha comenzado a adoptar tecnologías de automatización para asegurar la calidad del producto y cumplir con normativas de higiene, dosificación precisa, trazabilidad y eficiencia operativa (Ruiz & López, 2018). Sin embargo, muchas plantas de producción, especialmente en contextos latinoamericanos, aún operan con sistemas parcialmente manuales o tecnologías obsoletas, lo cual limita su competitividad frente a mercados más tecnificados (Hernández, Álvarez, & Ramírez, 2021).

Desde el ámbito educativo, se reconoce la importancia de que los futuros ingenieros adquieran competencias prácticas en automatización y control de procesos. En este sentido, el uso de maquetas didácticas que simulan procesos industriales reales permite contextualizar conceptos teóricos en aplicaciones concretas, desarrollando habilidades clave como la programación de PLC, la integración de sensores, actuadores y el diseño de sistemas secuenciales (Torres, Jiménez, & Rodríguez, 2021) (Torres, Jiménez, & Rodríguez, 2021). Estas estrategias fomentan el aprendizaje activo y el desarrollo de soluciones innovadoras a problemas reales de la industria.

El presente proyecto tiene como propósito diseñar e implementar una maqueta automatizada que simule de forma secuencial tres etapas fundamentales del proceso de producción del aguardiente: el mezclado de ingredientes, filtrado/reposo y almacenamiento del producto final. Además, empleando sensores y actuadores de bajo costo, integrados mediante un Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens y programado en el entorno TIA Portal. La maqueta está construida a pequeña escala, con materiales accesibles y componentes académicos, lo cual permite evidenciar el funcionamiento lógico de la planta.

Este trabajo no se limita únicamente a la construcción física del sistema, sino que también abarca un proceso completo de análisis, diseño e implementación, incluyendo el desarrollo de diagramas de control, configuración del hardware, programación del autómatas y elaboración de una interfaz HMI básica para la supervisión del proceso. Además, se llevan a cabo pruebas funcionales por etapas, así como una evaluación general del comportamiento del sistema.

## 1.1 Planteamiento del problema

La automatización industrial ha permitido mejorar significativamente la eficiencia y precisión en distintos sectores productivos, reduciendo costos operativos y aumentando la calidad del producto final (Groover, 2020). En la industria de bebidas alcohólicas, la falta de modernización en los procesos puede derivar en inconsistencias en la calidad del producto, desperdicio de materia prima y tiempos de producción prolongados (Hernández, Álvarez, & Ramírez, 2021).

En muchas plantas licoreras, aún persisten sistemas de producción semimanuales o con un bajo nivel de automatización, lo que genera una dependencia excesiva del factor humano. Esto puede ocasionar variaciones en la dosificación de ingredientes, dificultades en el control de temperaturas y errores en la gestión de los tiempos de mezcla y reposo (Martínez & Pérez, 2019). Estas limitaciones impactan directamente en la estandarización del aguardiente, un producto que requiere condiciones controladas para garantizar sus propiedades organolépticas y su cumplimiento con normativas de calidad.

Desde un enfoque académico, existe una brecha en la formación de ingenieros con habilidades prácticas en la automatización de procesos industriales aplicados a la producción alimentaria. A pesar de la disponibilidad de variedad de sensores, actuadores y controladores programables (PLC), su enseñanza e implementación a nivel educativo suele ser limitada y escasa, dificultando el aprendizaje de estrategias de control aplicadas a este tipo de industrias (Torres, Jiménez, & Rodríguez, 2021).

Dado este contexto, surgen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué tipo de sensores y actuadores son los más adecuados para replicar las variables críticas dentro de una maqueta de bajo costo?
- ¿Cómo puede diseñarse e implementarse una maqueta a pequeña escala, funcional y de bajo costo, que recree de forma lógica y automatizada las etapas de producción de aguardiente en un entorno académico?
- ¿Qué limitaciones se presentan al simular procesos industriales reales con componentes de bajo costo en un entorno académico?

## 1.2 Justificación

La automatización de procesos industriales ha demostrado ser un factor clave en la optimización de la producción en diversas industrias. Estudios recientes indican que la integración de sistemas automatizados en la industria de alimentos y bebidas ha permitido reducir en un 30% los costos operativos y aumentar en un 40% la eficiencia de producción. En el caso de la industria licorera, la implementación de tecnologías de control puede mejorar la precisión en la dosificación de ingredientes, reducir el desperdicio de materia prima y asegurar la repetibilidad del proceso (Ruiz & López, 2018).

La producción de aguardiente en Colombia es significativa, con una producción anual que refleja su importancia en la industria de bebidas alcohólicas. En el primer semestre de 2023, se vendieron 33,7 millones de unidades de aguardiente en el país, lideradas por la Fábrica de Licores de Antioquia con 20,4 millones de unidades (El Espectador, 2023). En el caso de Boyacá, la Nueva Licorera de Boyacá ha mostrado avances notables en su producción. En diciembre de 2019, tras la reactivación de su planta, se envasaron 44.000 botellas de aguardiente en un solo día, con una meta de envasar 88.000 botellas diarias en dos turnos de producción (Boyacá Siete Días, 2019). Estos datos evidencian la relevancia del aguardiente en la industria licorera nacional y la necesidad de modernizar sus procesos de producción para mantener la competitividad en el mercado.

La modernización de las plantas de producción es esencial para mejorar la eficiencia y reducir costos. Por ejemplo, la Fábrica de Licores de Antioquia invirtió 10.000 millones de pesos en la adquisición de nuevos equipos, incluyendo una línea de envasado automatizada que redujo los costos de producción en un 30% y aumentó la capacidad de envasado de 45.000 a 145.000 unidades diarias (El Tiempo, 2015). En contraste, muchas plantas que operan manualmente enfrentan mayores costos operativos y menor eficiencia, lo que resalta la importancia de la automatización en la industria.

Este proyecto contribuirá a la formación como futuros ingenieros al proporcionar un modelo funcional para el estudio de la automatización en la industria licorera. Además, su enfoque en la utilización de componentes accesibles y de bajo costo lo hace viable dentro del entorno universitario, sin comprometer el cumplimiento de las etapas a implementar. Con ello, se pretende demostrar que la modernización de procesos tradicionales es factible incluso a escalas reducidas, sirviendo como base para futuras iniciativas de automatización en industrias alimenticias o similares.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar una maqueta funcional que simule la automatización de las etapas de mezclado, reposo y almacenamiento en la producción de aguardiente, utilizando un PLC Siemens y sensores de bajo costo.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar los sensores, actuadores y dispositivos adecuados para la automatización del proceso.
- Diseñar el sistema de control secuencial con diagramas escalera e implementarlo en TIA Portal.
- Implementar la maqueta con los componentes seleccionados, asegurándose de su correcta integración.
- Establecer un sistema de monitoreo y control por medio de una interfaz HMI (Interfaz Hombre-Máquina) en tiempo real para supervisar el proceso de producción.

## **2. Estado del Arte**

### **Automatización en la industria de bebidas alcohólicas**

La industria de bebidas alcohólicas ha experimentado transformaciones significativas con la incorporación de tecnologías de automatización en sus procesos de producción. Estas innovaciones han permitido optimizar operaciones, mejorar la calidad del producto final y aumentar la eficiencia en la producción (Destilados Puros, 2023).

La automatización en la destilación de bebidas alcohólicas implica el uso de sistemas avanzados para controlar y supervisar de manera eficiente el proceso de producción. Esto incluye la regulación precisa de variables críticas como temperatura, presión y tiempos de destilación, lo que contribuye a garantizar la consistencia y la calidad del producto final. Además, la implementación de tecnologías automatizadas ha permitido aumentar la productividad y reducir los costos operativos en las destilerías modernas (Destilados Puros, 2023) (Reporte Industrial, 2023).

La adopción de sistemas de automatización completamente integrados unifica las operaciones de la planta, mejorando el rendimiento y asegurando la regularidad de los productos. Estas soluciones optimizan las líneas de envasado, mejoran la gestión de recetas y lotes, logran el cumplimiento normativo y rastrean la producción, reduciendo los residuos (Rockwell Automation, 2023).

La integración de la inteligencia artificial (IA) también está modificando la forma en que se producen, comercializan y consumen las bebidas alcohólicas. La IA se presenta como una herramienta con el potencial de mejorar la eficiencia y la innovación en el sector (Vinetur, 2023).

### **Aplicaciones de automatización en la producción de aguardiente**

La producción de aguardiente, una bebida alcohólica tradicional en varios países, ha incorporado tecnologías de automatización para mejorar la eficiencia y calidad en sus procesos. La implementación de sistemas automatizados en la destilación de bebidas alcohólicas permite optimizar la producción, garantizar la calidad y consistencia de los destilados (Destilados Puros, 2023).

En Colombia, la Fábrica de Licores de Antioquia ha explorado propuestas de automatización para su planta de producción de aguardiente, identificando y detallando el flujo de proceso mediante la representación de diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID) bajo la norma ISA 5.1 (Durán & Tabares, 2020).

Además de la Fábrica de Licores de Antioquia, otras empresas colombianas han explorado la automatización en la producción de aguardiente. Por ejemplo, Automatismos de Colombia

S.A.S. ofrece servicios de diseño, planificación e implementación de proyectos de automatización y optimización de procesos, incluyendo líneas completas de producción, lo que podría ser aplicado en la industria del aguardiente (Automatismos de Colombia, 2023).

La adopción de sistemas de automatización en la producción de aguardiente contribuye a la estandarización del producto, reducción de desperdicios y aumento de la capacidad de producción, manteniendo la tradición y calidad que caracterizan a esta bebida (Destilados Puros, 2023).

### **Maquetas didácticas y simuladores en ingeniería**

La enseñanza de la automatización industrial en ingeniería electrónica se ve fortalecida por el uso de maquetas didácticas y simuladores. Estos recursos permiten a los estudiantes interactuar con representaciones físicas o virtuales de sistemas industriales, facilitando la comprensión de conceptos complejos y el desarrollo de habilidades prácticas (Universidad de Jaén, 2021).

Empresas especializadas ofrecen diseño y fabricación de maquetas, paneles, bancos, maletas y kits educativos para instituciones educativas y empresas. Estos productos incluyen equipos demostrativos, entrenadores y simuladores en áreas como control industrial, automatización, protecciones eléctricas, domótica y energías renovables (Maquetas Didácticas, 2023) (Smart Engineering, 2023).

La virtualización de maquetas docentes para prácticas de automatización de sistemas secuenciales es otra herramienta que ha ganado relevancia. Estas plataformas permiten a los estudiantes realizar prácticas en entornos simulados, complementando la formación teórica y preparando a los futuros ingenieros para enfrentar desafíos en entornos industriales reales (Universidad de Jaén, 2021).

### **Tecnologías utilizadas en automatización a escala educativa**

La implementación de tecnologías de automatización en entornos educativos requiere la selección de componentes que equilibren funcionalidad y costo. Entre las tecnologías comúnmente utilizadas se encuentran los controladores lógicos programables (PLC), sensores y actuadores (Euroinnova, 2023).

Los PLC son fundamentales en la automatización industrial, actuando como el cerebro que procesa datos y toma decisiones en milisegundos. La comprensión de su funcionamiento es esencial para los estudiantes de ingeniería electrónica (LovTechnology, 2023).

La selección adecuada de sensores y actuadores es crucial para replicar condiciones industriales en maquetas educativas. Estos componentes permiten detectar variables físicas y ejecutar acciones en el sistema automatizado, proporcionando una experiencia de aprendizaje integral.

Además, el uso de interfaces hombre-máquina (HMI) facilita la integración entre el operador y el sistema, permitiendo monitorear y controlar procesos en tiempo real. La integración de estas tecnologías en el entorno educativo prepara a los estudiantes para enfrentar desafíos en la automatización industrial moderna (Euroinnova, 2023).

### **Análisis comparativo con proyectos similares**

La automatización de procesos en plantas licoreras ha sido abordada en diversos proyectos académicos que integran tanto el diseño de sistemas automatizados como la construcción de maquetas funcionales. Por ejemplo, La Universidad de Pamplona desarrolló una propuesta de automatización para la fábrica de licores de Antioquia. En su proyecto se simula el proceso completo de producción, desde la mezcla de insumos hasta el envasado, utilizando sensores de nivel, temperatura y caudal, además de válvulas solenoides y bombas controladas por un PLC Siemens. Esta propuesta buscó la representación física del proceso, además de simulaciones y planos para llevarlo a cabo (Durán A. F., 2020).

En la Universidad de León, España, un grupo de investigadores SUPRESS diseñó y construyó una maqueta de control de procesos, con instrumentación industrial inteligente para la medida y el control de variables como caudal, nivel, presión y temperatura. El sistema fue implementado con sensores industriales conectados a un PLC Siemens S7-1200 y una interfaz HMI que permitía monitorear el comportamiento del proceso en tiempo real (Sánchez, Gómez, & Ruiz, 2018).

Además, en la Universidad Nacional de Loja, Ecuador. Este proyecto propuso la automatización del proceso tecnológico de una planta licorera y embotelladora, enfocándose especialmente en la etapa de lavado. Se desarrolló una simulación de variables clave del proceso y se propuso una arquitectura de control utilizando autómatas programables, con el objetivo de mejorar la eficiencia y el monitoreo del proceso de producción de aguardiente (Muñoz Vizhñay & Benavides Maldonado, 2004).

## **3. Marco Teórico**

### **3.1 Automatización industrial**

La automatización industrial es un proceso mediante el cual se utilizan tecnologías electrónicas, de control y de software para operar maquinaria y procesos de producción sin intervención humana directa. Esta disciplina ha evolucionado considerablemente desde mediados del siglo XX, cuando comenzaron a implementarse los primeros sistemas de control mecánico y eléctrico en las líneas de producción. En la actualidad, la automatización se basa en la integración de sensores, actuadores, controladores lógicos programables (PLC), interfaces gráficas, redes de comunicación industrial y sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA), los cuales permiten controlar y monitorear de forma eficiente sistemas industriales complejos (Groover, 2020).

Existen principalmente tres tipos de automatización: fija, programable y flexible. La automatización fija está diseñada para realizar tareas específicas y repetitivas con un alto volumen de producción, pero con poca capacidad de adaptación. La programable, en cambio, permite modificar el proceso mediante programación para adaptarse a diferentes productos o lotes, y es adecuada para volúmenes medianos. Por último, la automatización flexible combina las ventajas anteriores, permitiendo cambiar rápidamente entre productos o configuraciones, ideal para entornos productivos dinámicos con alta variabilidad (García, Martínez, & Rodríguez, 2020).

Uno de los principales beneficios de la automatización industrial es el incremento de eficiencia, ya que los sistemas automatizados pueden operar de forma continua, reduciendo los tiempos de parada y aumentando la productividad. Además, la precisión de los dispositivos electrónicos garantiza una alta calidad del producto final, con una menor variabilidad y tasa de errores. También se observa una mejora significativa en la seguridad laboral, ya que se minimiza la exposición humana a entornos peligrosos, y se reduce la dependencia de mano de obra intensiva. A largo plazo, aunque la inversión inicial puede ser alta, se logra una considerable disminución de costos operativos, esencialmente en industrias con altos niveles de producción (Groover, 2020) (Hernández, Osorio, & Valbuena, 2021).

En el sector de alimentos y bebidas, la automatización es especialmente relevante debido a las exigencias sanitarias, la necesidad de trazabilidad del producto y la presión por mantener una producción constante y estandarizada. Las plantas automatizadas en este sector permiten un control preciso sobre variables críticas como temperatura, presión, tiempos de mezcla y velocidad de llenado, lo cual garantiza no solo la calidad del producto, sino también el cumplimiento de normativas regulatorias. Asimismo, este tipo de automatización facilita la

recopilación de datos de producción, útiles para el análisis de eficiencia, trazabilidad, mantenimiento predictivo y mejora continua (Dematic, 2023) (KnowHow Distrelec, 2023).

### **3.2 Controladores Lógicos Programables (PLC)**

Son dispositivos electrónicos diseñados para automatizar procesos industriales mediante la supervisión y control de variables como temperatura, presión, velocidad y nivel, entre otras. Su arquitectura modular y robusta permite adaptarse a diversas aplicaciones, desde líneas de producción hasta sistemas complejos de control de procesos (Telcomplus, 2023).

Un PLC típico consta de una unidad central de procesamiento (CPU), módulos de entrada y salida (E/S), interfaces de comunicación y una fuente de alimentación. La CPU ejecuta programas almacenados en su memoria, procesando las señales recibidas de los sensores a través de las entradas y enviando comandos a los actuadores mediante las salidas. Esta estructura modular facilita la expansión y adaptación del sistema según las necesidades específicas de cada aplicación (SDI Industrial, 2022).

La programación de los PLC se realiza comúnmente utilizando lenguajes estandarizados según la norma IEC 61131-3, entre ellos el diagrama de escalera (Ladder Diagram), el texto estructurado (Structured Text) y el diagrama de bloques funcionales (Function Block Diagram). Estos lenguajes permiten a los ingenieros diseñar lógicas de control complejas de manera intuitiva y eficiente (MasterPLC, 2022).

### **3.3 TIA Portal**

El Totally Integrated Automation Portal es una plataforma de ingeniería desarrollada por Siemens que integra todas las herramientas necesarias para la automatización industrial en un entorno unificado. Esta solución permite a los ingenieros diseñar, programar, simular y mantener sistemas de automatización de manera eficiente, reduciendo los tiempos de desarrollo y aumentando la productividad (Siemens, 2020).

Una de las principales ventajas de TIA Portal es su interfaz intuitiva, que facilita la configuración y programación de dispositivos como los PLC de la serie S7-300. Mediante el uso de bloques de funciones, diagramas de escalera y otras herramientas gráficas, los usuarios pueden desarrollar lógicas de control complejas de forma visual y estructurada. Además, TIA Portal permite la integración de sistemas HMI y SCADA, ofreciendo una solución completa para la supervisión y control de procesos industriales (Siemens, 2020).

### 3.4 Sensores y Actuadores

Los sensores y actuadores constituyen elementos fundamentales en los sistemas de automatización industrial, desempeñando roles cruciales en la interacción entre el entorno físico y los sistemas de control. Los sensores son dispositivos que detectan cambios en variables físicas o químicas, como temperatura, presión, nivel, posición o velocidad, y convierten esta información en señales eléctricas que pueden ser procesadas por controladores lógicos programables (PLC) (LovTechnology, 2023) (Transductor.net, 2023). Por otro lado, los actuadores reciben señales de control y ejecutan acciones físicas, como mover un mecanismo, abrir o cerrar una válvula, activar un motor, permitiendo así la manipulación directa de procesos industriales (LovTechnology, 2023).

La selección adecuada de sensores y actuadores es esencial para garantizar la precisión, fiabilidad y eficiencia en los sistemas automatizados. Factores como el del rango de operación, la sensibilidad, la compatibilidad con el entorno virtual y la facilidad de integración con otros componentes deben ser considerados durante el diseño del sistema. Además, la tendencia hacia la digitalización y la industria 4.0 ha impulsado el desarrollo de sensores y actuadores inteligentes, capaces de comunicarse a través de redes industriales, realizar autodiagnósticos y adaptarse a condiciones cambiantes, mejorando así la flexibilidad y la eficiencia de los procesos industriales (Transistores.info, 2024).

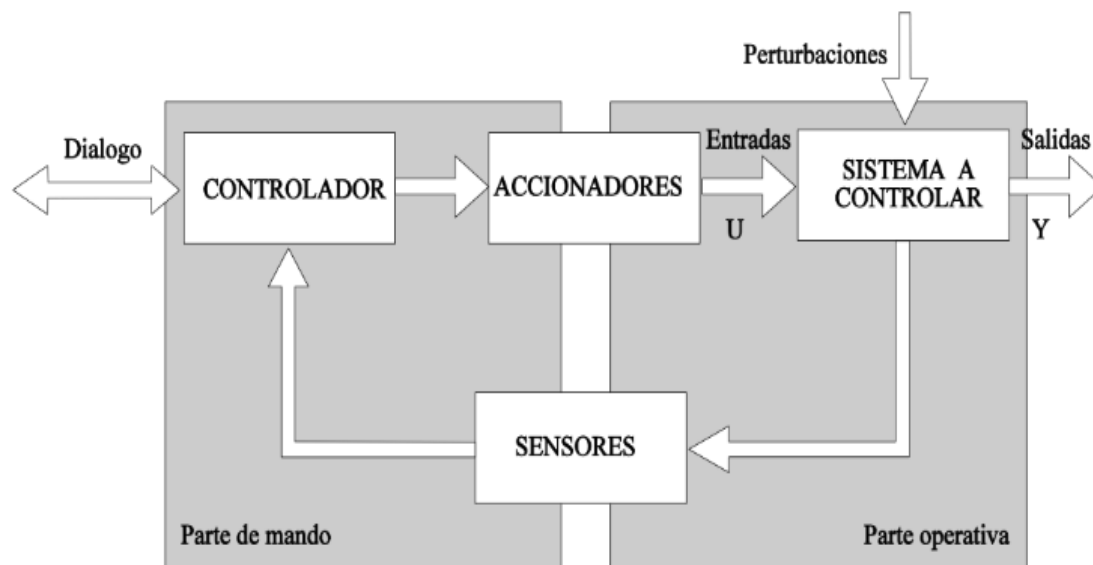


Ilustración 1: Diagrama de bloques de un sistema de control. Fuente: (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2025) (LovTechnology, 2023).

### 3.5 Interfaz Hombre-Máquina

Es un componente esencial en los sistemas de automatización industrial, ya que permite la interacción entre los operadores y las máquinas o procesos automatizados. A través de

dispositivos como pantallas táctiles, paneles de control o software especializado, las HMI facilitan la supervisión, el control y la configuración de sistemas industriales en tiempo real (IMEPI México, 2023).

Estas interfaces proporcionan representaciones gráficas del estado de los procesos, mostrando datos clave como temperaturas, presiones, niveles de líquidos y velocidades, entre otros. Además, permiten a los operadores introducir comandos, ajustar parámetros y responder a las alarmas o eventos del sistema, lo que mejora la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta ante situaciones imprevistas (Logicbus, 2024).

### **3.6 Sistemas SCADA**

Los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) permiten supervisar, controlar y adquirir datos de procesos industriales en tiempo real desde una estación central, mediante la comunicación con dispositivos como PLC o RTU. Su uso es común en plantas industriales donde se requiere monitoreo constante, almacenamiento de variables, gestión de alarmas y control remoto de procesos (Moreno & Cuéllar, 2019). Estos sistemas ofrecen una interfaz gráfica que facilita la toma de decisiones y mejoran la eficiencia operativa al permitir una visualización continua del estado del sistema.

### **3.7 Sistemas de Control Secuencial**

Estos sistemas se caracterizan por controlar eventos que ocurren en una secuencia lógica predefinida, donde la transición de un estado a otro depende de condiciones específicas o del tiempo transcurrido. Este enfoque es esencial en aplicaciones como líneas de ensamblaje, sistemas de transporte automatizado y procesos de manufactura por lotes, donde la sincronización precisa de acciones es crucial para la eficiencia y seguridad del sistema (Alberto Brunete, 2025) (Universidad Politécnica de Baja California, s.f.). Los sistemas de control secuencial se implementan comúnmente mediante autómatas programables (PLC), que ejecutan programas diseñados para responder a entradas específicas y controlar salidas en función de la lógica secuencial establecida. Estos programas pueden representarse mediante diagramas de escalera (Ladder), diagramas de bloques funcionales o lenguajes de texto estructurado, facilitando la programación y el mantenimiento del sistema. Además, herramientas como GRAFCET (Grafcet de Control de Etapas y Transiciones) proporcionan una representación gráfica clara de la secuencia de operaciones, lo que mejora la comprensión y la comunicación entre los equipos de ingeniería (Alberto Brunete, 2025) (Universidad de Guadalajara, 2017).

### **3.8 Producción Del Aguardiente**

El aguardiente es una bebida alcohólica tradicional ampliamente consumida en países como Colombia, donde su producción ha evolucionado hacia procesos altamente tecnificados que garantizan estandarización, seguridad y calidad del producto final. A nivel industrial, su elaboración implica una serie de etapas secuenciales, cada una de ellas sujeta a estrictos controles sanitarios y de calidad, muchos de los cuales se gestionan mediante tecnologías de automatización.

El proceso comienza con la recepción y análisis del alcohol etílico neutro, el cual debe cumplir con parámetros rigurosos de pureza, concentración y ausencia de contaminantes. A continuación, se realiza la mezcla con agua tratada, que ha sido previamente sometida a procesos de desmineralización, osmosis inversa y esterilización, con el fin de garantizar que no altere el perfil organoléptico del producto. A esta mezcla base se le incorporan esencias naturales, azúcar refinada y en algunos casos colorantes, cuya dosificación exacta forma parte de la fórmula reservada de cada licorera (García, Martínez, & Rodríguez, 2020).

Una vez completada la mezcla, se lleva a cabo la etapa de reposo o maduración, en la cual la solución permanece en tanques durante un período determinado con el objetivo de permitir la estabilización fisicoquímica del líquido. Este reposo contribuye significativamente a la suavización del sabor y a la reducción de los compuestos volátiles agresivos presentes en el alcohol. Luego, se ejecuta un proceso de filtrado, generalmente a través de carbón activado o filtros de placas, para remover impurezas y garantizar transparencia y brillo en el producto. (Hernández, Álvarez, & Ramírez, 2021)

El aguardiente es entonces trasladado a tanques de almacenamiento intermedio, donde se realiza una última verificación de parámetros como pH, concentración alcohólica y contenido de azúcares, previo a su distribución. Finalmente, se procede al embotellado, etiquetado y empaque, que actualmente son procesos en su mayoría automatizados, permitiendo un control riguroso sobre la cantidad dispensada, la integridad del envase y la calidad del cierre (Ruiz & López, 2018).

#### **3.8.1 Etapas De Producción Del Aguardiente**

El proceso industrial de producción del aguardiente se compone de una secuencia bien definida de etapas técnicas que garantizan la calidad, estabilidad y trazabilidad del producto final. Estas etapas, aunque pueden variar levemente entre distintas fábricas, suelen seguir un esquema general que incluye: recepción del alcohol neutro, tratamiento del agua, mezcla de insumos, reposo o maduración, filtrado, almacenamiento, envasado, etiquetado y empaquetado (García, Martínez, & Rodríguez, 2020) (Ruiz & López, 2018).

### **3.9 Recetas Y Cantidades En La Producción Del Aguardiente**

En una planta industrial típica, los tanques de mezclado suelen tener capacidades de entre 1.000 a 5.000 litros, mientras que las etapas de reposo pueden implicar depósitos herméticos con capacidades superiores a los 10.000 litros, en los que el licor permanece durante varias horas o incluso días, dependiendo de la receta y la regulación específica. Estos volúmenes exigen el uso de bombas industriales, válvulas de acero inoxidable, sensores de alta precisión y PLC con múltiples módulos de expansión. Asimismo, la supervisión centralizada mediante software SCADA permite monitorear variables críticas en tiempo real, garantizando la eficiencia del proceso y la calidad del producto final (Ruiz & López, 2018).

En cuanto a las recetas industriales del aguardiente, aunque muchas fábricas mantienen la fórmula exacta bajo estricta confidencialidad, existen estimaciones generales publicadas en literatura técnica y en documentos públicos de licitación. Por lo general, la elaboración de un lote de 1.000 litros de aguardiente requiere aproximadamente 380 litros de alcohol etílico extra neutro, entre 600 y 700 litros de agua tratada y cantidades variables de esencias naturales de anís (entre 0,5% y 1%), además de azúcares, estabilizantes y colorantes, dependiendo del perfil organoléptico deseado (Hernández, Álvarez, & Ramírez, 2021) (Destilados Puros, 2023). Estas proporciones son ajustadas cuidadosamente durante el proceso de mezclado, y su precisión es crítica, ya que pequeñas variaciones pueden afectar tanto el sabor como el cumplimiento de las normativas sanitarias.

Finalmente, los tiempos de operación o permanencia durante cada etapa del proceso tienen un impacto determinante sobre la calidad sensorial, la estabilidad química y la inocuidad del producto final. Durante la etapa de mezcla, se recomienda un tiempo de agitación de entre 10 a 20 minutos, dependiendo de la homogeneidad deseada y la viscosidad de los ingredientes (García, Torres, & Bernal, 2020). En la etapa de reposo, tiempos de residencia de 24 a 72 horas permiten una adecuada estabilización del aguardiente, facilitando la interacción molecular entre el etanol, el agua y los componentes aromáticos. Finalmente, en la etapa de almacenamiento, el producto puede permanecer desde unos días hasta varios meses, según el perfil de calidad esperado y el régimen de distribución.

### **3.10 Normativas aplicables a la producción y automatización del aguardiente**

La producción y automatización del aguardiente en plantas industriales debe regirse por una combinación de normativas sanitarias, técnicas y de seguridad industrial, que aseguran la calidad del producto, el cumplimiento legal y la operación segura de los sistemas. En Colombia, existen disposiciones legales fundamentales que regulan el sector de bebidas alcohólicas:

La Ley 1816 de 2016, conocida como la Ley de Régimen de Control y Comercialización de Bebidas Alcohólicas, establece las condiciones para la producción, distribución, envasado y comercialización de estas bebidas en Colombia, incluyendo aspectos de rotulado, trazabilidad y fiscalización (Congreso de la República de Colombia, 2016).

El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) establece regulaciones sanitarias para el cumplimiento de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en plantas de bebidas alcohólicas (INVIMA, 2023).

La Norma Técnica Colombiana NTC 708 establece los requisitos que debe cumplir el aguardiente anís para ser comercializado, en cuanto a concentración de alcohol, características organolépticas, entre otros (ICONTEC, 2006).

La Resolución 2400 de 1979 del Ministerio de Trabajo regula aspectos de seguridad e higiene industrial en instalaciones donde se manipulan sustancias inflamables o potencialmente peligrosas.

Desde el punto de vista de automatización industrial, los sistemas de control, instrumentación, sensórica y comunicación deben cumplir con estándares técnicos internacionales, orientados a la seguridad, interoperabilidad y eficiencia de los procesos. Entre las normas más relevantes se encuentran:

IEC 61131-3: Define los lenguajes de programación estándar para controladores lógicos programables (PLC), como Ladder Diagram (LD) y Structured Text (ST) (International Electrotechnical Commission (IEC), 2010).

IEC 60204-1: Regula la seguridad del equipamiento eléctrico en máquinas industriales, incluyendo tableros de control, protecciones y cableado (International Electrotechnical Commission (IEC), 2010).

IEC 61508 / IEC 61511: Aplican al diseño de sistemas eléctricos, electrónicos y programables relacionados con la seguridad funcional (SIL – Safety Integrity Level) (International Electrotechnical Commission (IEC), 2010).

IEC 60529: Establece los grados de protección IP (Ingress Protection) de los equipos frente a polvo, agua y condiciones ambientales (International Electrotechnical Commission (IEC), 2010).

ISO 13849-1: Estándar de seguridad de los sistemas de control de máquinas, especialmente en relación con funciones críticas (International Organization for Standardization (ISO), 2015).

NFPA 70 (NEC): Código eléctrico nacional que incluye requerimientos de seguridad para instalaciones con líquidos inflamables como etanol ( NFPA – National Fire Protection Association, 2018).

Respecto al almacenamiento de líquidos, los tanques de mezcla o almacenamiento deben cumplir con:

ASME Sección VIII: Norma para diseño y fabricación de recipientes a presión (American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2015).

API 650: Especificación para tanques verticales soldados, comúnmente usados en plantas de bebidas (API – American Petroleum Institute, 2014).

NFPA 30: Código de líquidos inflamables y combustibles que regula condiciones de almacenamiento, ventilación y materiales compatibles ( NFPA – National Fire Protection Association, 2018).

### **3.11 Variables Críticas**

Existen ciertas variables críticas que deben ser estrictamente monitoreadas y controladas para garantizar la calidad del producto, la estabilidad del proceso y la seguridad operativa. Estas variables representan los principales puntos de control dentro del sistema automatizado, y su comportamiento afecta directamente el desempeño global del proceso. Entre las variables críticas más relevantes en este tipo de aplicaciones se encuentran:

Temperatura: Es fundamental en múltiples etapas del proceso, especialmente durante la mezcla y el reposo, donde influye en la disolución de compuestos y en la estabilidad del licor. Un mal control de la temperatura puede comprometer las características organolépticas del producto o alterar su grado alcohólico (Ruiz & López, 2018).

Caudal: La medición del flujo de líquidos es esencial para garantizar que los volúmenes de alcohol, agua, esencias y jarabes se dosifiquen correctamente durante el mezclado. Además, permite detectar bloqueos o fallas en tuberías y bombas (García, Torres, & Bernal, 2020).

Peso / Nivel: El control del peso o del nivel en los tanques permite verificar que las cantidades de producto se mantengan dentro de los márgenes establecidos. Es una variable crítica para controlar el volumen total en procesos de carga, descarga y almacenamiento (Martínez & Pérez, 2019).

Presión: Especialmente en etapas donde se realiza trasiego presurizado o calentamiento cerrado, ya que influye directamente en la estabilidad de los fluidos y la seguridad del sistema. Un control inadecuado de la presión puede generar condiciones inseguras, dañar equipos o alterar las propiedades fisicoquímicas del producto (Ruiz & López, 2018).

Estado de válvulas y bombas: Aunque no son variables físicas medibles en el sentido tradicional, el monitoreo del estado de los actuadores es indispensable para validar la secuencia lógica del proceso y para reaccionar ante fallas mecánicas.

Comunicación y tiempo de respuesta: Variables de carácter funcional que inciden en la eficiencia del sistema. Una señal tardía entre sensores, PLC y actuadores puede generar errores de sincronización, pérdidas de producto o fallas operativas. En este sentido, el tiempo de respuesta de los elementos también es considerado una variable crítica de análisis en pruebas experimentales (Groover, 2020).

## **4. Metodología**

### **4.1 Tipo de investigación**

El presente proyecto se enmarca en el enfoque de la investigación aplicada, ya que busca resolver un problema concreto del entorno industrial mediante la implementación de conocimientos técnicos en un entorno práctico. En este caso se diseña e implementa una maqueta funcional que simula la automatización parcial del proceso de producción de aguardiente, replicando condiciones industriales a pequeña escala con fines formativos. La investigación aplicada se caracteriza por utilizar teorías y conceptos previamente desarrollados para dar respuesta a necesidades específicas del entorno productivo, aportando así soluciones innovadoras y contextualizadas (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014).

Así mismo, la metodología adoptada puede clasificarse como experimental de carácter tecnológico, ya que se lleva a cabo la construcción, integración y validación de un sistema automatizado real. En este proyecto se manipulan variables tales como la secuencia de control, el tipo de sensores empleados y la lógica programada en el PLC, evaluando su comportamiento a través de pruebas y ajustes durante el desarrollo. Este tipo de investigación es común en proyectos de ingeniería, donde se busca la verificación funcional de diseños y algoritmos de control en entornos simulados o físicos (Gómez, 2018).

El enfoque de la investigación es cuantitativo, dado que el sistema diseñado puede ser evaluado mediante parámetros medibles como tiempos de operación, respuesta de sensores, estabilidad de la secuencia automatizada y la correcta ejecución de eventos programados. Además, se plantea una estructura secuencial lógica en la ejecución del proceso automatizado, permitiendo analizar el desempeño del sistema desde una perspectiva técnica con base en indicadores objetivos (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Este proyecto también puede considerarse tipo descriptivo y propositivo, ya que documenta y explica detalladamente cada etapa del diseño e implementación del sistema automatizado, y a la vez propone una solución práctica para entender la automatización industrial a través de una maqueta funcional.

### **4.2 Diseño metodológico**

El diseño metodológico del proyecto se llevó a cabo en una serie de fases organizadas de manera secuencial y lógica, orientadas al cumplimiento de los objetivos específicos planteados. Cada fase incluyó actividades técnicas, de diseño, implementación y verificación, que garantizaron la construcción de una maqueta funcional capaz de simular el proceso automatizado de producción de aguardiente. A continuación, se describen las fases principales del proyecto:

### **4.2.1 Etapa 1**

Se realizó un análisis del proceso real de la producción en plantas licoreras, identificando las etapas clave que podían ser replicadas en una maqueta: mezcla de materias primas, reposo y almacenamiento. A partir de esto, se definieron los requerimientos funcionales del sistema escala, considerando limitaciones físicas, de presupuesto y disponibilidad de componentes. Esta etapa permitió establecer los criterios de selección de sensores, actuadores, motobombas, electroválvulas y elementos estructurales de la maqueta.

### **4.2.2 Etapa 2**

Esta consistió en el diseño del sistema de automatización, tanto en su dimensión física (maqueta) como lógica (programación). Se elaboraron diagramas de flujo y GRAFCET para definir la secuencia de funcionamiento del proceso, identificando las entradas y salidas del PLC Siemens y su vinculación con sensores y actuadores disponibles.

### **4.2.3 Etapa 3**

Se procedió a la implementación física de la maqueta, construyendo la estructura de soportes, instalando los tanques, conectando el sistema con tuberías o mangueras apropiadas y fijando los sensores, motobombas, electroválvulas y motor de agitación. Esta fase implicó pruebas parciales de funcionamiento, ajuste de conexiones y solución de problemas como fugas, interferencia entre componentes o errores de integración.

### **4.2.4 Etapa 4**

Una vez validada la estructura, se desarrolla la programación identificando entradas digitales (sensores) y salidas digitales (actuadores) en el entorno TIA Portal, implementando la lógica secuencial del proceso automatizado mediante diagramas de escalera (Ladder). También se diseñó una interfaz HMI básica para el monitoreo del sistema, permitiendo visualizar variables críticas como temperatura y flujo, además, de controlar el avance de las etapas.

### **4.2.5 Etapa 5**

Finalmente, se realiza una fase de pruebas y ajustes, en la que se ejecutan ciclos completos del sistema automatizado para verificar su funcionamiento. Se recopilaron datos sobre tiempos de respuesta, coherencia en la secuencia lógica, estabilidad del sistema y comportamiento de los componentes, lo que permitió realizar ajustes finales para asegurar el funcionamiento de la maqueta.

## **4.3 Requerimientos técnicos y tecnológicos**

El desarrollo de una maqueta automatizada para simular el proceso de producción de aguardiente a escala requiere una combinación de recursos técnicos, materiales y

tecnológicos que permitan garantizar su funcionalidad, compatibilidad y facilidad de implementación. Esta sección presenta los principales requerimientos necesarios para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Desde el punto de vista tecnológico, el control del sistema está basado en un PLC Siemens disponible en el laboratorio de automatización de la universidad, programado mediante el entorno TIA Portal. Este software permite la configuración de hardware, asignación de entradas y salidas, programación en lenguaje escalera y diseño de interfaces HMI. El uso de esta herramienta es funcional para replicar prácticas industriales modernas en un entorno académico, permitiendo a los estudiantes familiarizarse con entornos profesionales de programación y control (Siemens, 2020).

En cuanto a los requerimientos de instrumentación, el sistema utiliza sensores de bajo costo debido a la naturaleza del proyecto. Entre ellos se encuentran sensores de temperatura, sensores de flujo y celdas de carga para medición de peso. Estos dispositivos permiten el monitoreo de variables relevantes en cada etapa del proceso y su señal es procesada por el PLC para tomar decisiones en la secuencia de control. Para la ejecución de acciones físicas, emplean actuadores como electroválvulas, motobombas y motor de agitación, todos compatibles con alimentación de 12 voltios, lo cual facilita la integración segura de la maqueta (LovTechnology, 2023).

A nivel estructural, la maqueta fue construida sobre una base física de tamaño reducido, utilizando tanques plásticos y metálicos, soportes en madera y otro tipo de elementos para las conexiones. Se identificaron desafíos como fugas en las mangueras, por lo que se evalúa el uso de tuberías CPVC como alternativa para mejorar la estanqueidad y durabilidad del sistema. Esta solución permite mantener un diseño compacto, replicable y visualmente comprensivo.

También se requirió de la plataforma Arduino UNO para recibir algunas señales de sensores análogos utilizados, ya que el PLC con el que se hicieron los experimentos solo cuenta con 2 entradas análogas, lo cual limita el uso de sensores en la maqueta. Además, se requirió de materiales auxiliares como terminales, cables, estructura de soporte, borneras, hornillo, relé de estado sólido, etc. A nivel de herramientas, se emplearon elementos básicos de laboratorio como multímetro, cautín, pelacables, taladro, fuente, etc. Así como estaciones de prueba para la validación de cada subsistema antes de su integración completa. Finalmente, se contemplaron requerimientos de documentación y soporte técnico, tales como hojas de datos (datasheets) de los componentes, manual del PLC Siemens y ejemplos de programación en TIA Portal. Estos recursos fueron fundamentales para garantizar una correcta implementación y facilitar el proceso de prueba y depuración del sistema (García, Torres, & Bernal, 2020).

## 4.4 Diagrama de flujo funcional

El diseño funcional del sistema automatizado se estructuraba en una lógica secuencial por eventos, donde cada etapa del proceso se activa únicamente tras el cumplimiento de condiciones específicas determinadas por sensores o temporizadores. Este enfoque asegura un control riguroso del flujo del proceso, evitando errores por ejecución simultánea de acciones y garantizando la trazabilidad del sistema.

El proceso automatizado simula 3 etapas fundamentales de la producción del aguardiente: mezcla de materias primas, reposo/filtrado y almacenamiento final. A continuación, se describe el flujo lógico del sistema (Ilustración 2):

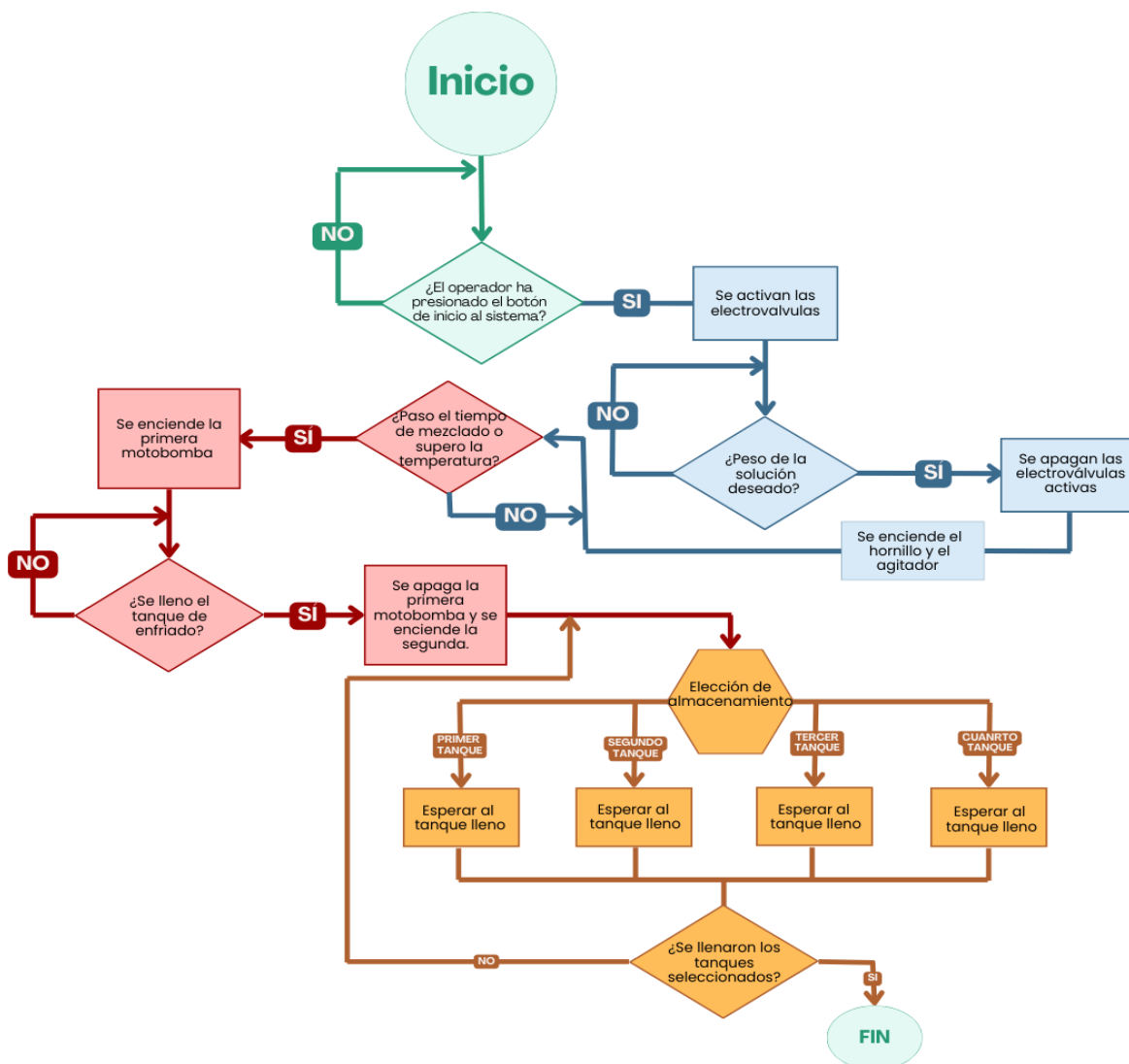


Ilustración 2: Diagrama de flujo. Fuente: Autor

**Inicio del sistema:** el operador enciende el sistema desde la HMI o un botón físico. El sistema verifica que todos los sensores estén en estado inicial y que el tanque principal esté vacío.

**Etapa de mezcla:**

- Se habilitan las electroválvulas de los tanques de materias primas (azúcar, agua, anís, alcohol) en orden específico según programación.
- Cada válvula permanece abierta el tiempo necesario para asegurar la dosificación correcta (control por tiempo o sensor de peso).
- Una vez alcanzado el volumen deseado, las válvulas se cierran y se activa el motor de agitación, operando durante un tiempo programado.
- Se activa el hornillo o resistencia térmica para alcanzar la temperatura objetivo (monitoreada por el sensor).

**Etapa de reposo y filtrado:**

- Terminada la mezcla, la motobomba impulsa el líquido del tanque de reposo/filtrado.
- Mediante un sensor de temperatura se verifica que tenga la temperatura adecuada para pasar al almacenamiento.
- Durante esta fase, el líquido pasa por un sistema de filtrado ubicado en las salidas de las electroválvulas, el cual consiste en una malla, para eliminar residuos sólidos o impurezas simuladas.

**Etapa de almacenamiento:**

- La segunda motobomba transfiere la mezcla ya filtrada a uno de los 2 tanques de almacenamiento.
- La selección del tanque se realiza según el tipo de aguardiente que se produzca.

**Fin de ciclo:**

- Una vez completado el proceso, el sistema retorna al estado inicial, esperando un nuevo ciclo de producción.
- Se muestra mensaje de la HMI indicando el estado final del proceso y permitiendo el reinicio manual.

## **5. Desarrollo**

En esta sección se requiere poner en contexto el desarrollo del proceso, describiendo de manera detallada cada una de las etapas y acciones llevadas a cabo a lo largo de su implementación, con base en lo planeado en los capítulos anteriores y con el fin de ofrecer una visión clara y estructurada del trabajo realizado.

### **5.1 Análisis del proceso real**

Para el análisis del proceso de producción del aguardiente, se investigó y estudió el método que se lleva a cabo en diferentes licoreras en Colombia. Esto nos ayudó a fortalecer nuestro conocimiento de materias primas utilizadas para la creación de aguardiente, etapas claves de dichos procesos para poder ser replicadas en nuestro proyecto, así como elementos, instrumentos, máquinas y todo tipo de equipos que son necesarios o complementarios en el proceso de producción.

En Boyacá se encuentra la Nueva Licorera de Boyacá, reconocida por ser la productora del aguardiente Líder. Debido a su cercanía y accesibilidad, utilizamos esta empresa como guía para el diseño y desarrollo de nuestro proyecto. Tuvimos la oportunidad de ingresar en varias ocasiones a su planta, con el objetivo de conocer su funcionamiento, estructura, equipos, materias primas y el método de control que aplican en sus procesos y en el manejo de los equipos para la producción de diferentes tipos de licores. Esta empresa cuenta con dos bodegas donde se lleva a cabo todo el proceso de producción del aguardiente. Para el inicio de producción, cuentan con tanques de almacenamiento de materias primas, las cuales ingresan a un tanque de aproximadamente 10.000 litros donde cumplen un proceso de mezclado y preparación en base a la receta que estén preparando. Seguido de esto, el líquido pasa a un segundo tanque del mismo tamaño, donde se deja un tiempo para hacer pruebas y revisiones de la receta y estado del producto, para luego ser distribuido en alguno de los 4 tanques de 8.000 litros que tienen destinados al almacenamiento. Dependiendo de la receta, el líquido queda en espera por uno o varios días. Una vez listo, el aguardiente es enviado a la siguiente bodega, donde se encuentra todo el proceso de embotellado, etiquetado y empaquetado de este producto.

#### **5.1.1 Etapas Elegidas Para Automatizar**

En el presente proyecto de tesis, se optó por automatizar únicamente tres etapas del proceso real: mezclado, reposo y almacenamiento, decisión que responde a factores técnicos, didácticos y económicos. En primer lugar, estas tres fases permiten representar de forma clara

los principios fundamentales de la automatización industrial: control secuencial, censado de variables críticas y actuación mecánica coordinada. Por ejemplo, el proceso de mezclado involucra múltiples entradas y salidas, lo que lo convierte en un excelente caso para modelar control lógico programado. La etapa de reposo introduce la necesidad de gestión temporal y monitoreo pasivo de condiciones como la temperatura, fundamentales en el diseño de sistemas automáticos de espera controlada. Por su parte, el almacenamiento es una operación de transferencia que implica control de caudal, nivel y finalización por evento, lo cual facilita la integración de sensores de flujo y motobombas, además de mostrar la utilidad de condiciones lógicas condicionales. Es importante mencionar que para la etapa de reposo también se manejará un proceso de filtrado, el cual se hará por medio de una malla ubicada a las salidas de las electroválvulas para hacer un proceso de limpieza del producto.

Adicionalmente, la elección de estas fases responde a una limitación natural de escala y presupuesto. Etapas como el tratamiento del agua o el embotellado requieren equipos industriales complejos y costosos, además de condiciones sanitarias y de seguridad difíciles de replicar en un entorno académico. Por tanto, seleccionar tres fases representativas del proceso industrial nos permite construir una maqueta funcional, pedagógicamente valiosa y factible de implementar.

### **5.1.2 Recetas y Cantidades**

Dado que las recetas exactas de producción de aguardiente son propiedad intelectual protegida por las licoreras y no se encuentran disponibles de forma pública o detallada, en este proyecto se optó por establecer una formulación base aproximada, sustentada en estudios técnicos, literatura académica y documentos regulatorios como la NTC 708 (ICONTEC, 2006). De acuerdo con estas fuentes, un aguardiente típico contiene entre un 24% y 30% de volumen de alcohol etílico, diluido en agua tratada y saborizado con esencia natural o sintética de anís, además de otros aditivos permitidos.

En consecuencia, se adoptó como receta de referencia una formulación compuesta por aproximadamente 29% de alcohol etílico neutro, 69% de agua tratada y 2% de esencia de anís y azúcar, ajustada para representar condiciones realistas de producción. Esta receta fue empleada como base para establecer un paralelismo proporcional a pequeña escala dentro de la maqueta automatizada. Por ejemplo, para simular un lote de 1 litro en condiciones experimentales, se utilizaron 290 ml de alcohol, 690 ml de agua y 20 ml de esencia, manteniendo así la proporción de los componentes originales.

Este enfoque proporcional no solo facilita la implementación física y segura del sistema a escala, sino que además permite preservar la lógica secuencial del proceso real en cuanto a volúmenes relativos, tiempos de operación, mezcla homogénea y transferencia entre tanques.

Sin necesidad de trabajar con cantidades industriales, manteniendo la fidelidad del proceso dentro del contexto educativo y experimental del proyecto.

## 5.2 Requerimientos funcionales

En esta sección se definieron los requerimientos funcionales del sistema a escala. Para la construcción de la maqueta física fue necesario considerar aspectos como las limitaciones físicas del proyecto, presupuestos y disponibilidad. Al tratarse de un modelo a escala, también se tuvo en cuenta la compatibilidad de elementos electrónicos y físicos. Esto permitió seleccionar de una manera adecuada componentes como sensores, actuadores, motobombas, electroválvulas y elementos estructurales de la maqueta, entre otros, que se detallan en la tabla de componentes presentada a continuación en la tabla 4.

### 5.2.1 Caracterización de los sensores

Para la implementación del sistema automatizado se eligieron los sensores de peso, temperatura y caudal, que se adaptaran a los requerimientos que tuvimos en el proyecto, tanto en voltaje, costos, facilidad de adquisición y compatibilidad entre los mismos. se desarrolló un anexo donde se llevó a cabo una comparación entre diferentes sensores sus características y su justificación de elección.

#### Sensor de temperatura

Para el sensor de temperatura se usó una Termocupla WZP-PT100, la cual es una termocupla de 2 hilos; cuenta con un rango de medición de temperatura desde los  $-200^{\circ}\text{C}$  hasta los  $400^{\circ}\text{C}$ . Tiene un principio de funcionamiento en el que una resistencia de platino varía linealmente con la temperatura. Esta variación en medida mediante un circuito de puente de Wheatstone y posteriormente amplificada por un amplificador operacional para que pueda ser leída por el PLC.

*Tabla 1: Ficha técnica del sensor WZP-PT100 (Lake Shore, Inc)*

| <b>WZP - PT100</b>               |                                                                           |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo de sensor</b>            | RTD (Termorresistencia de platino)                                        |
| <b>Variable medida</b>           | Temperatura                                                               |
| <b>Rango de medición</b>         | $-200^{\circ}\text{C}$ a $400^{\circ}\text{C}$                            |
| <b>Precisión</b>                 | $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ de $-10^{\circ}\text{C}$ a $80^{\circ}\text{C}$ |
| <b>Sensibilidad</b>              | $0.00385\ \Omega/^{\circ}\text{C}$                                        |
| <b>Señal de salida</b>           | Variación de resistencia                                                  |
| <b>Tipo de acondicionamiento</b> | Puente de Wheatstone + OPAMP                                              |

## Sensor de peso

Para medir peso se usó una galga extensiométrica YZC-133, la cual cambia su resistencia de acuerdo con su deformación bajo carga. Esto produce una señal de baja magnitud que es amplificada y convertida a digital por el módulo HX711.

El módulo HX711 es un convertidor análogo digital de 24 bits, que es especializado para hacer acondicionar la señal generada por las galgas extensiométricas.

Tabla 2: Ficha técnica YZC-133 (Datasheet HUB)

| YZC-133                          |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| <b>Tipo de sensor</b>            | Galga extensiométrica    |
| <b>Variable medida</b>           | Peso                     |
| <b>Rango de medición</b>         | 0Kg a 10Kg               |
| <b>Precisión</b>                 | $\pm 0.05\text{Kg}$      |
| <b>Sensibilidad</b>              | $\sim 2.0\text{mV/V}$    |
| <b>Voltaje de entrada</b>        | 5VDC a 10VDC             |
| <b>Señal de salida</b>           | Variación de resistencia |
| <b>Tipo de acondicionamiento</b> | AC/DC HX711 + OPAMP      |

## Sensor de caudal

Internamente, el sensor cuenta con una turbina que gira con el flujo del líquido. Esta turbina tiene un imán que activa un sensor de efecto Hall cada que gira. Cada revolución genera una señal digital que puede ser contada como pulsos por segundo.

Tabla 3: Ficha técnica YF-S201 (Components101)

| YF-S201                          |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| <b>Tipo de sensor</b>            | Sensor de efecto hall |
| <b>Variable medida</b>           | Caudal                |
| <b>Rango de medición</b>         | 1L a 30L              |
| <b>Precisión</b>                 | $\pm 2\%$             |
| <b>Voltaje de entrada</b>        | 5VDC a 24V            |
| <b>Señal de salida</b>           | Pulsos digitales      |
| <b>Máxima presión de trabajo</b> | 1.75Mpa               |
| <b>Temperatura de operación</b>  | -10°C a 80°C          |

Tabla 4: Componentes físicos. Fuente: Autor

| Nombre                                                           | Etiqueta P&ID                  | Cantidad | Imagen                                                                               | Costo   |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Sensor Temperatura<br>Termocupla WZP<br>- PT100                  | TT-101<br>TT-102               | 2        |    | 19.000  |
| Sensor de Caudal<br>YF-S201                                      | FT-105                         | 1        |    | 18.000  |
| Sensor de Peso<br>Celda de Carga<br>10Kg YZC-133                 | WT-101                         | 1        |   | 14.000  |
| Electroválvula<br>Solenoid 12VDC<br>- 1/2" Sin presión           | 1-CV-001<br>.<br>.<br>1-CV-010 | 8        |  | 280.000 |
| Mini Bomba De<br>Diafragma Para<br>Agua Aire Dc6-<br>12v R385 5w | P-001<br>P-002                 | 2        |  | 60.000  |

Motor DC 50  
gr\*cm 2000 RPM  
(12V) / Dinamo  
(6V)

A-001

1



9.000

Hornillo eléctrico

EH-101

1



25.000

Replay Estado  
Sólido SSR-25DA  
Capacidad Max  
380VAC - 25A

1



32.000

Placa de  
Desarrollo UNO  
R3 Compatible  
con Arduino

AC101

1



59.000

filHX711 Modulo  
Conversor  
Análogo a Digital  
24 Bits

1



6.000

Cables Jumper  
Arduino Dupont x  
40

2 metros



15.000

|                                           |                                      |         |                                                                                      |         |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tanque Acero inoxidable<br>capacidad 2.3L | TK-105<br>TK-106                     | 2       |    | 100.000 |
| Tanque plástico<br>capacidad 1L           | TK-107<br>TK-108                     | 2       |    | 15.000  |
| Tanque Plástico<br>capacidad 0.75L        | TK-101<br>TK-102<br>TK-103<br>TK-104 | 4       |   | 20.000  |
| Tubería CPVC                              |                                      | 1 metro |  | 6.000   |
| manguera                                  |                                      | 1 metro |  | 4.000   |

|                          |       |    |                                                                                    |         |
|--------------------------|-------|----|------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Codos, acoples y tapones |       | 10 |  | 15.000  |
| Madera                   | 1 m2  |    |                                                                                    | 50.000  |
|                          | Otros |    |                                                                                    | 60.000  |
|                          | Total |    |                                                                                    | 807.000 |

### 5.3 Diagrama P&ID

Luego de hacerse el análisis correspondiente, procedimos a elaborar un diagrama P&ID del proceso que se va a automatizar. El diagrama se diseñó usando el programa AutoCAD Plant 3D. Este nos permitió representar de forma gráfica la estructura física de producción de aguardiente. En este solo incluimos los elementos esenciales del sistema, omitiendo circuitos de acoplamiento/potencia que se usaron. Se representaron los tanques de almacenamiento, los sensores de campo, los actuadores y las válvulas de control, además de cómo estos están conectados a un sistema de control centralizado que en este caso fue el PLC.

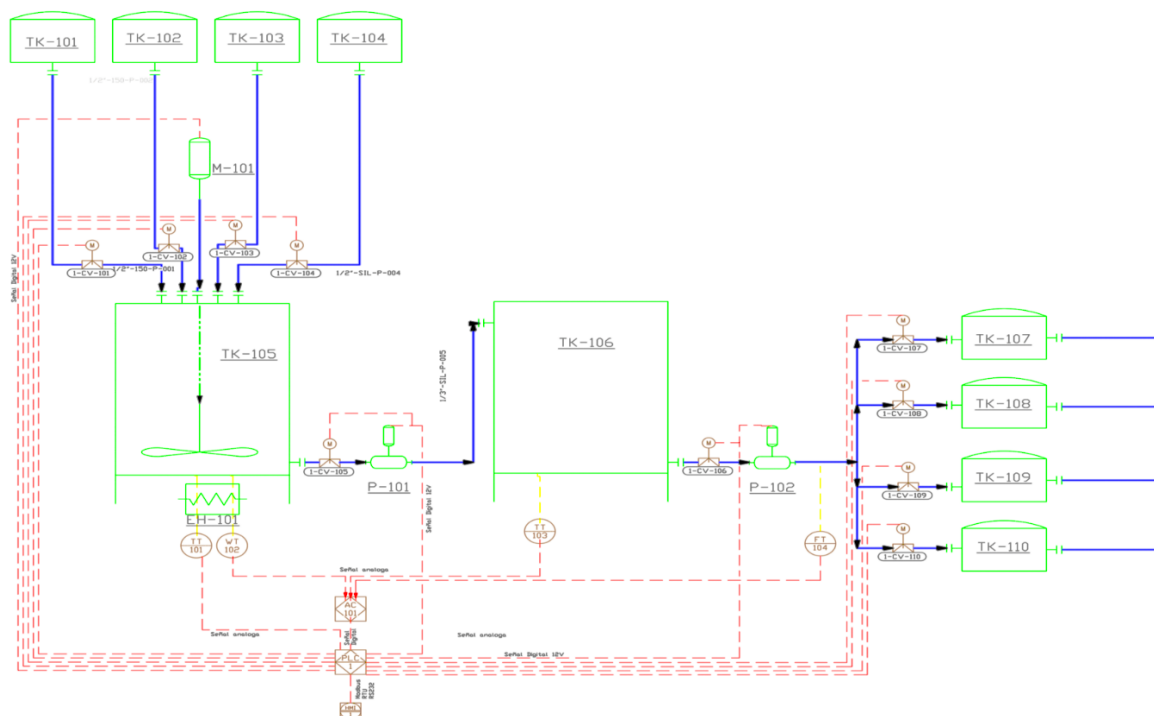


Ilustración 3: Diagrama P&ID. Fuente: Autor

Teniendo en cuenta que el diseño que se propuso está inspirado en la planta de la Nueva Licorera de Boyacá, se decidió hacer una planta de 10 tanques: 4 de almacenamiento de materias primas (Saborizantes, Almíbar, Agua, Etanol), un tanque de calentamiento y mezclado, un tanque de reposo y filtrado, y finalmente, 4 tanques de almacenamiento del producto final (Ilustración 3).

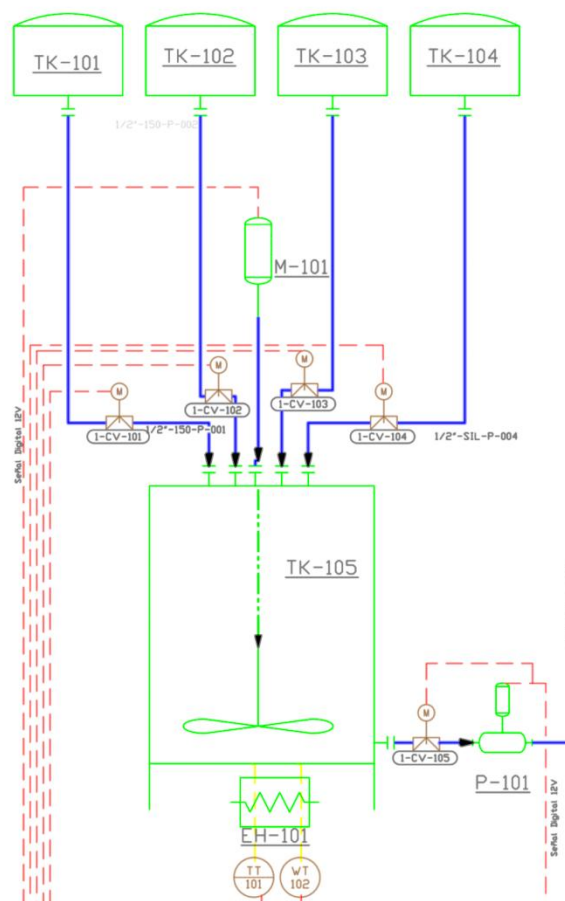


Ilustración 4: Etapa Mezclado P&ID. Fuente: Autor

En el diagrama se pueden identificar los tanques de materia prima, etiquetados TK-101, TK-102, TK-103 Y TK-104, los cuales están conectados mediante tuberías individuales al tanque central de calentamiento. Cada tubería está controlada por electroválvulas etiquetadas CV001, CV-002, CV-003, CV-004, con las cuales se aseguró un llenado lineal. Estas se activan cuando un sensor de peso, ubicado debajo del tanque de calentamiento, envía una señal para dar paso secuencialmente a las materias primas (Ilustración 4). El sensor es controlado por un Arduino por cuestiones de entradas análogas al PLC. El Arduino se encarga de enviar una señal, basada en los valores de peso de la receta, para dar paso al siguiente tanque de almacenamiento.

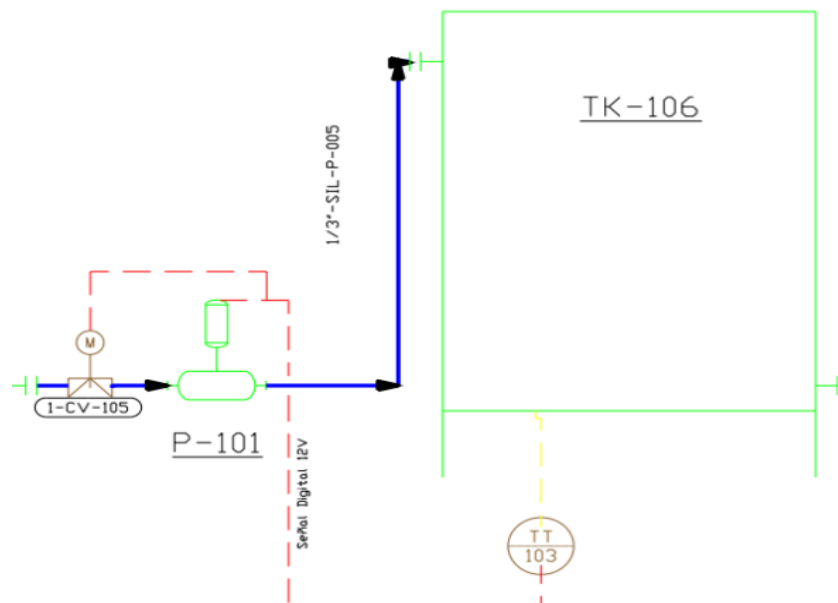


Ilustración 5: Etapa de Reposo P&ID. Fuente: Autor

Posteriormente, cuando el líquido ya está en su totalidad de la receta, se calentó y se mezcló hasta la temperatura de aproximadamente 50°C. Se prosigue a activar una motobomba (P-101) y una electroválvula (CV-105) para dar paso al tanque de enfriado y filtrado (Ilustración 5).

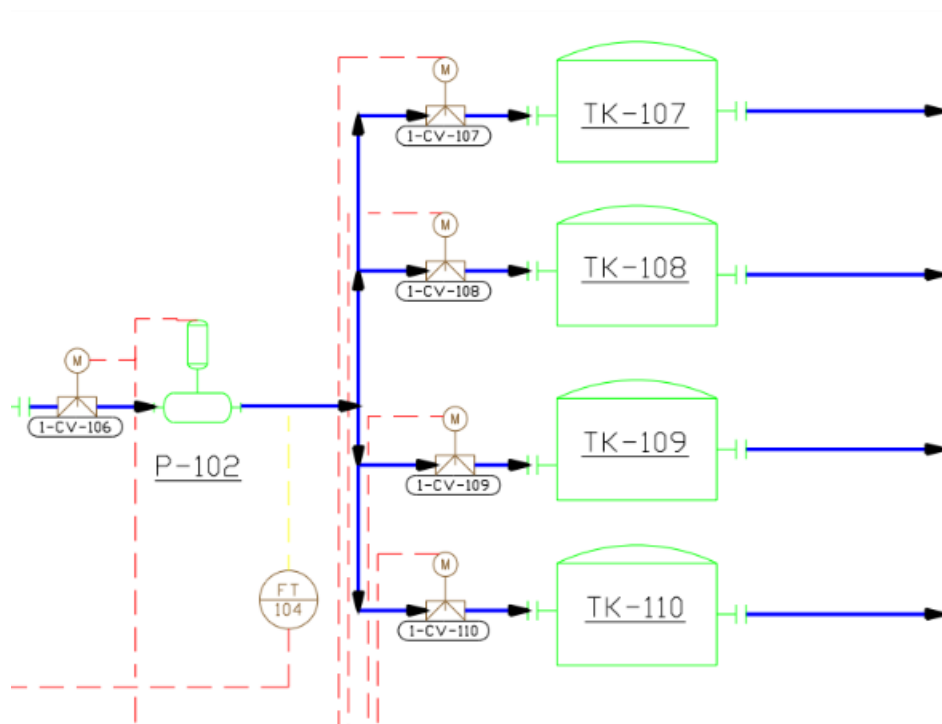


Ilustración 6: Etapa Almacenamiento P&ID. Fuente: Autor

El proceso continuó, y dependiendo de la receta que se hubiera escogido, irá a los tanques TK-107, TK-108, TK-109 o TK-110, los cuales se logran mediante una segunda motobomba (P-102) y una electroválvula (CV-106). Cada tanque de almacenamiento está asociado a la vez a una electroválvula CV-107, CV-108, CV-109 y CV-110, los cuales se dan paso al tanque de almacenamiento al cual irán el producto final (Ilustración 6).

## **5.4 Diagrama GRAFCET**

Este diagrama ayudó a entender la secuencia lógica que se utiliza en el sistema automatizado. Su principal objetivo fue representar de forma clara y estructurada el comportamiento secuencial del proceso, permitiendo organizar las diferentes etapas que se tendrían, las condiciones necesarias para avanzar en cada una y las acciones que se deben ejecutar (Ilustración 7).

Se pasa de la etapa inicial a la etapa 1 cuando se activa la variable booleana inicio. En esta etapa comienza la apertura de las electroválvulas hacia el tanque de calentamiento y mezclado, comenzando con la primera electroválvula (EV1), la cual permanecerá abierta hasta que se active el primer indicador de peso. Luego se da paso a la segunda etapa, en la cual se activa la segunda electroválvula y se apaga la primera. Este mismo proceso se repite hasta la etapa 4, momento en el que el volumen del tanque alcanza el valor deseado (condición de peso P4 activa).

A partir de ahí se pasa a la quinta etapa, en la cual se activa el hornillo y el motor de agitación, los cuales permanecerán activos mientras la temperatura del tanque (TK-105) alcance los 50°C (la condición T1 esté activa). Posteriormente, se inicia la fase de enfriamiento y filtrado con la etapa 5, que activa la quinta electroválvula y la primera motobomba (MT1). Ambos dispositivos se apagarán y se pasará a la siguiente etapa cuando el volumen del tanque de calentamiento llegue a aproximadamente 0 ml (cuando el sensor de peso envíe su última activación P5). En la sexta etapa, lo único que se espera es que el producto se enfríe para su correcto almacenamiento. Luego de que el producto se ha enfriado hasta alcanzar la temperatura deseada de 18°C (la condición T2 está activa).

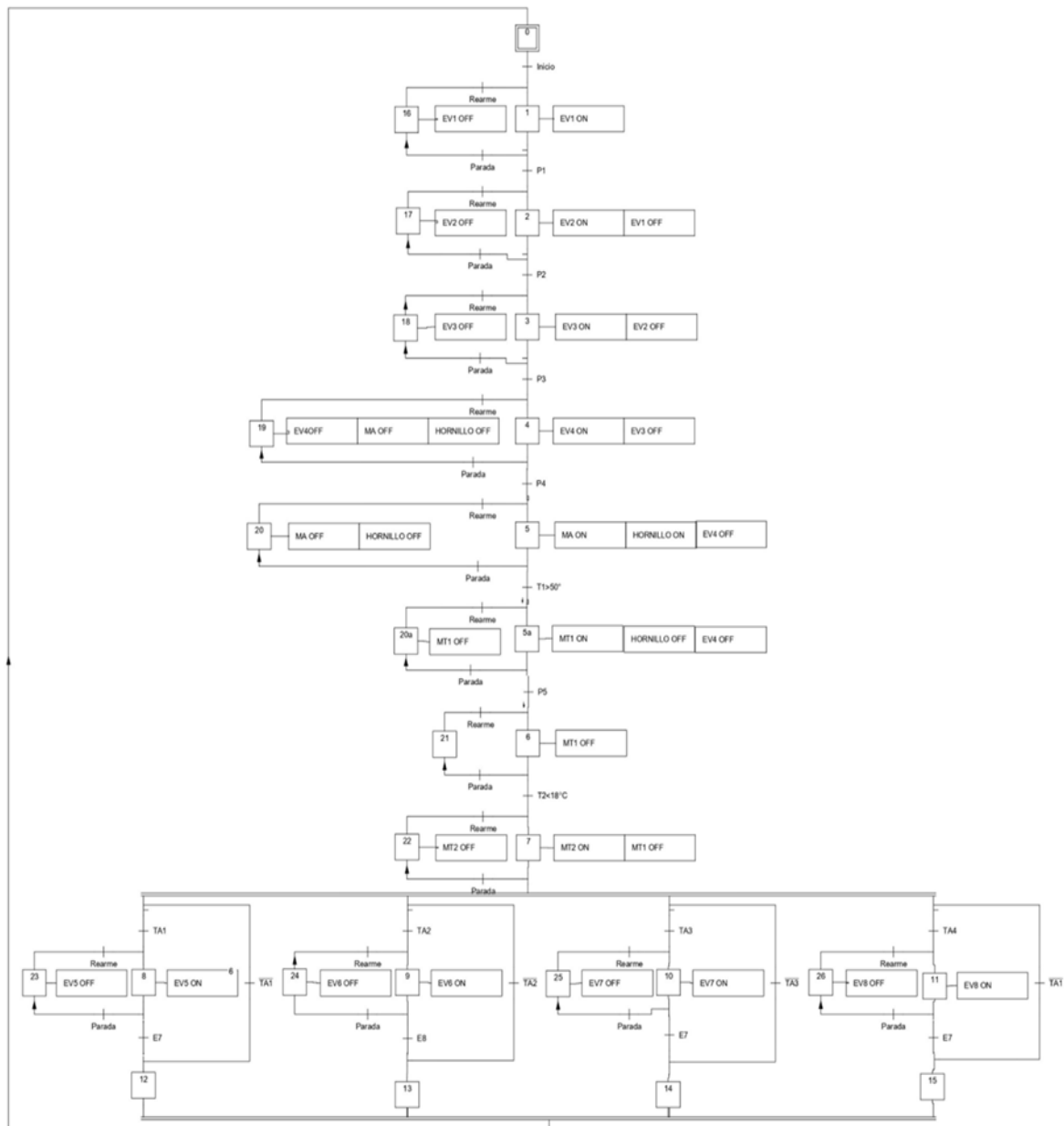


Ilustración 7: GRAFCET del proceso. Fuente: Autor

El proceso continúa pasando a etapas en paralelo, las cuales están controladas por las condiciones TA1, TA2, TA3 y TA4, con las que se eligen que electroválvulas estarán activas y qué tanque de almacenamiento se llenará. En caso de no activarse alguna condición, la electroválvula tampoco lo hace y pasa directamente a la siguiente etapa (Etapa 12, 13, 14 y 15). Cuando se cumplan estas etapas, se habrá concluido el proceso.

Cada etapa principal tiene un sistema de paro y rearme. La condición parada permite detener en una etapa exacta en caso de que haya algún error o se desee, sin necesidad de reiniciar todo el proceso. La condición de rearme continúa el proceso en la etapa que se haya hecho la parada.

## 5.5 Variables PLC

En las siguientes tablas se presentan las variables que se mencionan en el GRAFCET y su relación con las direcciones asignadas en el PLC.

En la tabla 5 se presentan las entradas principales, tanto digitales como análogas, que se utilizaron en la automatización del sistema. Estas incluyen variables asociadas al sensor de peso (P1 a P5), temperatura (T1 y T2) y condiciones de operación física (inicio, parada, rearme y paro de emergencia). Cada una de estas entradas corresponde a un identificador lógico en el GRAFCET y está asociada a una dirección en el PLC.

*Tabla 5: Variables de entrada. Fuente: Autor*

| Entradas                 | Nombre variable | Direcciones |
|--------------------------|-----------------|-------------|
| <b>Inicio</b>            | I               | I0,0        |
| <b>Peso1</b>             | P1              | I0,1        |
| <b>Peso2</b>             | P2              | I0,2        |
| <b>Peso3</b>             | P3              | I0,3        |
| <b>Peso4</b>             | P4              | I0,4        |
| <b>Peso5</b>             | P5              | I0,5        |
| <b>Flujo</b>             | F               | I0,7        |
| <b>Parada emergencia</b> | PE              | I1,0        |
| <b>Parada</b>            | Parada          | I1,3        |
| <b>Rearme</b>            | Rearme          | I1,4        |
| <b>Temp1</b>             | T1              | IW64        |
| <b>Temp2</b>             | T2              | IW66        |

La tabla 6 muestra las salidas del sistema; estas están asociadas a diferentes actuadores físicos. Entre estas se encuentran las electroválvulas (EV1 a EV8), las motobombas en conjunto con electroválvulas (MTEV 1 y MTEV 2), el hornillo y el motor agitador. Estas salidas permiten ejecutar acciones definidas en las diferentes etapas del proceso, según lo establecido en la lógica de control. Al igual que la tabla anterior, cada una de estas salidas corresponde a un identificador lógico de GRAFCET, y está asociada a una dirección en el PLC.

*Tabla 6: Variables de salida. Fuente: Autor*

| Salidas                 | Nombre variable | Direcciones |
|-------------------------|-----------------|-------------|
| <b>Electroválvula 1</b> | EV1             | Q0,0        |
| <b>Electroválvula 2</b> | EV2             | Q0,1        |

|                                       |          |      |
|---------------------------------------|----------|------|
| <b>Electroválvula 3</b>               | EV3      | Q0,2 |
| <b>Electroválvula 4</b>               | EV4      | Q0,3 |
| <b>Motobomba 1 y Electroválvula 5</b> | MTEV1    | Q0,4 |
| <b>Motobomba 2 y Electroválvula 6</b> | MTEV2    | Q0,5 |
| <b>Hornillo</b>                       | Hornillo | Q0,6 |
| <b>Motor Agitador</b>                 | MA       | Q0,7 |
| <b>Electroválvula 7</b>               | EV7      | Q1,0 |
| <b>Electroválvula 8</b>               | EV8      | Q1,1 |

Finalmente, en la tabla 7 se enlistan las memorias internas del PLC, que se utilizan para elegir a qué tanque irá el producto final (TA1 a TA4), o para gestionar las etapas de transición. Estas variables no corresponden a una señal física, sino que son marcadores lógicos que permiten gestionar el llenado, conservar y activar estados intermedios del sistema.

*Tabla 7: Memorias PLC. Fuente: Autor*

| <b>Memorias</b>                | <b>Nombre variable</b> | <b>Direcciones</b> |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|
| <b>Tanque Almacenamiento 1</b> | TA1                    | M0,0               |
| <b>Tanque Almacenamiento 2</b> | TA2                    | M0,1               |
| <b>Tanque Almacenamiento 3</b> | TA3                    | M0,2               |
| <b>Tanque Almacenamiento 4</b> | TA4                    | M0,3               |
| <b>Memorias de Etapas</b>      | E1, E2, E3 ...         | M0.4 en adelante   |

## 5.6 Modelado en 3D

Como parte del desarrollo del proyecto, se diseñó un modelo tridimensional de la planta, con el objetivo de visualizar de forma clara las disposiciones de los componentes del sistema automatizado (Ilustración 8). Este diseño permitió representar de forma más realista la estructura general del proceso, facilitando el montaje en físico de la planta y la correspondencia del diseño digital, la maqueta física y el esquema lógico definido en el GRAFCET, el P&ID y el diagrama de conexiones.

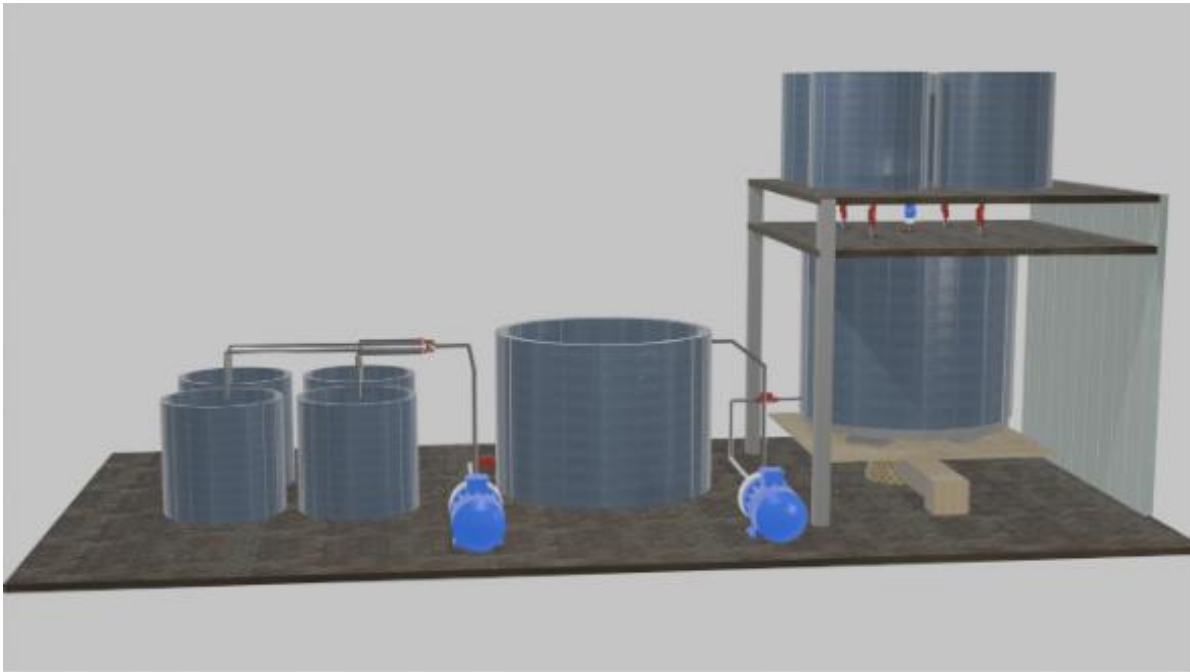


*Ilustración 8: Modelo planta 3D. Fuente: Autor*

## **5.7 Calibración de sensores**

Para garantizar la confiabilidad del sistema, se calibraron los sensores mediante la comparación de los sensores con instrumentos de censados externos al sistema.

### **5.7.1 Sensor de temperatura**

La calibración del sensor de temperatura se hizo mediante la comparación de la lectura de un termómetro digital externo al sistema y de la termorresistencia WZP-PT100. El valor se observaba directamente en el PLC. Después de verificar que el acondicionador de la señal era lineal, se calibraron los valores del sensor directamente en la programación del PLC.

Para permitir que el PLC lea la temperatura detectada por un sensor WZP-PT100, se diseñó un circuito adaptador de señal basado en OPAMP (Ilustración 11). El objetivo del circuito es convertir la variación resistiva del sensor PT100 en una señal de voltaje proporcional y lineal, adecuada para ser interpretada por la entrada analógica del PLC.

La resistencia de la PT100 tiene una resistencia que varía linealmente con la temperatura. A los 0°C, su valor es de 100  $\Omega$  para mantener la simetría del sensor. Se hace uso de un puente de Wheatstone, en el cual R5 también tiene un valor de 100  $\Omega$ . Este puente genera una pequeña diferencia de potencial a la variación de resistencia del sensor.

La variación del puente es muy pequeña, por lo cual se requiere un amplificador diferencial que permita aumentar la señal a un nivel útil para el PLC.

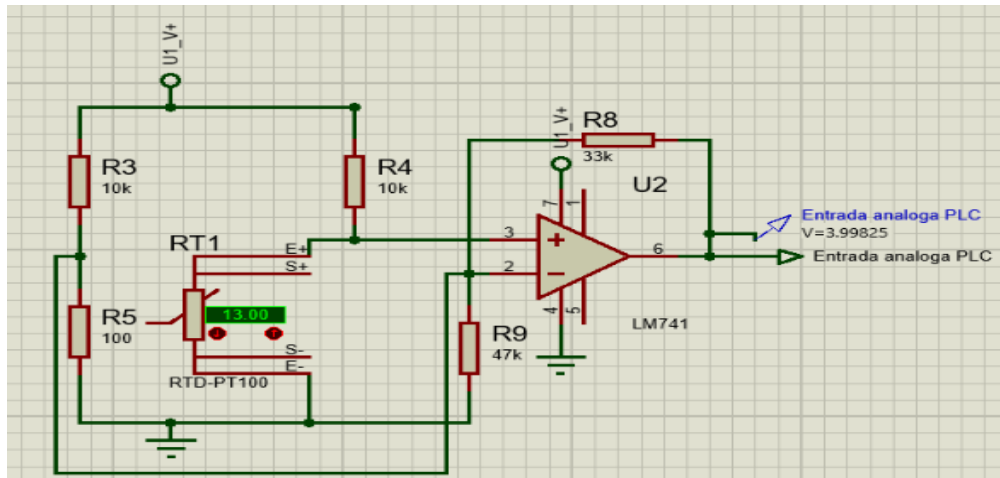


Ilustración 9: Circuito para Pt100. Fuente: Autor

### 5.7.2 Sensor de peso

La calibración del sensor de peso es fundamental para que el sistema pueda saber cuánto de la receta se está preparando y saber cuándo ya se llegó a las proporciones deseadas de cada ingrediente.

Esta calibración consiste en determinar el factor de escala que tiene la celda de carga para convertir las señales digitales que entrega el acondicionador de señal Hx711 que usa en conjunto con la celda de carga en señales físicas de peso. Este factor varía individualmente para cada celda, pues hasta en celdas del mismo modelo no es el mismo.

Para eso, se hace una lectura de la señal que se obtiene del HX711 en crudo con un peso de 1 Kg. Antes de que se colocara el peso en la balanza, se inició el Arduino con el código para calibrar. En este se hace una tara automática, y en ese punto, después de la tara, ahí sí se coloca el peso. Esto nos entregó un valor en crudo, el cual era de aproximadamente 36059; este valor se divide entre el peso y con esto se obtiene el factor de escala.

$$\text{Factor de escala} = \frac{\text{Valor medido en crudo}}{\text{Peso del objeto medido}}$$

En este caso el factor fue de 36.059 aproximadamente, y se coloca mediante el comando de la librería `setScale(36.059)` para calibrar el sensor de peso.

### 5.7.3 Sensor de flujo

La calibración del sensor de flujo es fundamental para calcular los litros almacenados en los tanques de almacenamiento. Para la calibración se usó un recipiente graduado para medir volúmenes de líquido conocidos y un microcontrolador Arduino para contar los pulsos emitidos por el sensor YF-S201. Siendo con estas dos variables que se calculó el factor de conversión (pulsos por litro) usando la fórmula

$$K = \frac{\text{Numero de pulsos}}{\text{Volumen}(L) * 60}$$

Con la cual se obtuvo que el factor de escala era de 290.47; con este factor se configura el código principal, el cual sirve para medir el volumen de agua que ha pasado por el sensor.

## 5.8 Circuitos de adaptación de voltaje

### 5.8.1 Amplificador de voltaje

Para permitir la compatibilidad entre las señales digitales procedentes del Arduino (5 voltios) y las entradas digitales del PLC, que requieren tensiones superiores (entre 12 y 24 voltios), se diseñó un circuito basado en un amplificador operacional (OPAMP) configurado como amplificador no inversor (Ilustración 9).

El diseño está compuesto por dos etapas. La primera corresponde al amplificador no inversor, cuya ganancia está descrita por la relación entre las resistencias R1 Y R2 según la siguiente ecuación:

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

En este caso, con las resistencias R1= 10K $\Omega$  y R2=14K $\Omega$ , se obtiene una ganancia de aproximadamente 2.4, con la cual se puede elevar la tensión de 5 voltios a alrededor de 12 voltios. Esta señal ya podría ser apta para ser interpretada por el PLC como un estado lógico alto.

La segunda etapa corresponde a un OPAMP configurado como seguidor de voltaje o *buffer*. En esta configuración, el OPAMP proporciona un acoplamiento de impedancia, lo cual evita que el PLC interfiera con la señal de entrada o modifique el funcionamiento del amplificador principal. Este circuito, al tener una ganancia unitaria, entrega la misma tensión de salida que de entrada, pero con una alta capacidad de corriente y baja intensidad.

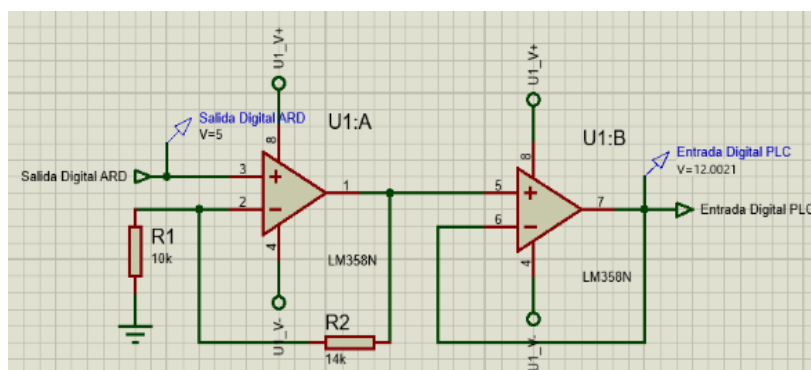


Ilustración 10: Circuito amplificador. Fuente: Autor

Este circuito proporciona una conexión confiable entre los dos dispositivos, preservando la integridad de las señales digitales y protegiendo ambos dispositivos ante posibles incompatibilidades eléctricas.

### 5.8.2 Circuito adaptador de nivel

Se diseñó un circuito para adaptar la tensión proveniente de una salida digital del PLC (12 V) a una señal digital compatible con el Arduino (5 V) (Ilustración 10). Esta conversión es esencial para evitar daños en el Arduino, pues este no está diseñado para soportar tensiones mayores a 5.5 V.

Para lograr esto, se hace uso de un divisor de voltaje, el cual tiene una ganancia menor a uno para garantizar una atenuación de la señal de 12 voltios. La ecuación que define la ganancia está definida por:

$$G = \frac{R7}{R7 + R6}$$

Con las resistencias  $R1 = 10 \text{ K}\Omega$  y  $R2 = 14 \text{ K}\Omega$  se obtiene una atenuación de aproximadamente 0.41, lo que nos permite reducir la tensión de 12 V a aproximadamente 5 V, un valor seguro y reconocible como un nivel lógico alto por el Arduino.

La salida del divisor de voltaje se conecta a la entrada no inversora de un OPAMP en modo de seguidor de voltaje, con el fin de garantizar un adecuado acoplamiento de impedancia, lo que impide que el divisor sea afectado por la carga del Arduino, garantizando una señal estable y limpia.

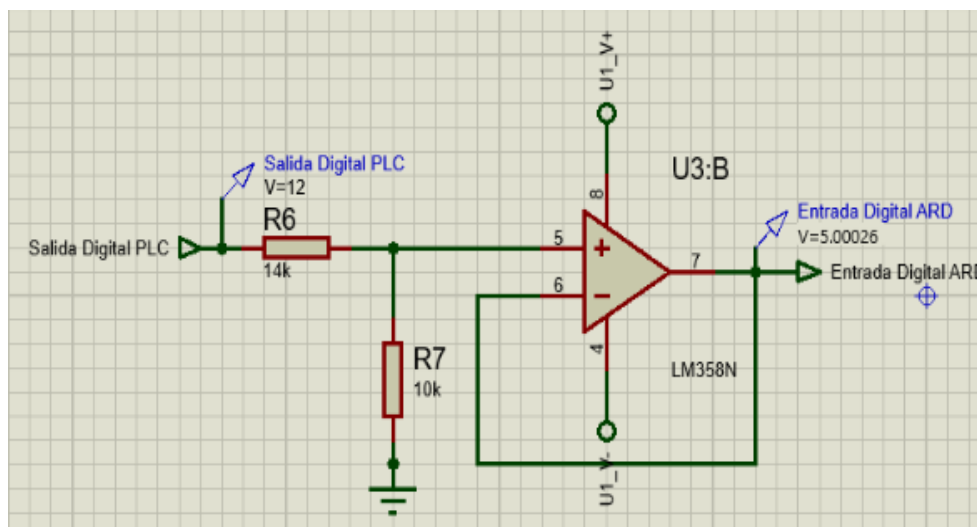


Ilustración 11: Circuito adaptador de tensión. Fuente: Autor

## 6. Resultados

### 6.1 Implementación física

Como primer resultado, se logró la implementación de una maqueta física a pequeña escala, la cual simula el proceso de producción de aguardiente de manera automatizada. Se construyó una estructura principal en madera, que funciona como soporte para todos los componentes del sistema. En esta estructura se integraron correctamente sensores, actuadores, motobombas, tanques y demás elementos, replicando a escala las etapas del proceso de producción de aguardiente (Ilustración 12-13).



*Ilustración 12: Maqueta a escala. Fuente: Autor*

Durante la implementación, se presentó una limitación en la etapa final del proceso, relacionada con la disposición de las tuberías y la potencia de la motobomba utilizada. Esta situación impidió una distribución eficiente del líquido hacia los cuatro tanques de almacenamiento planificados, ya que la motobomba no contaba con la presión suficiente para cubrir toda la distancia requerida. Por esta razón, se optó por suspender solo de manera física dos de los tanques de almacenamiento de la maqueta.



*Ilustración 13: Maqueta a escala. Fuente: Autor*

## **6.2 TIA Portal**

Como resultado del proceso del diseño y programación, se logró implementar exitosamente el sistema de automatización, desarrollado en TIA Portal utilizando programación LADDER. Este entorno permitió estructurar la lógica basada en el GRAFCET y P&ID definidos anteriormente, y además facilitó tanto la simulación del sistema como la validación del funcionamiento en la maqueta física.

El uso de LADDER facilitó la traducción directa del GRAFCET a instrucciones lógicas secuenciales, permitiendo representar de manera clara las condiciones, las etapas y las acciones de cada proceso, utilizando contactores, bobinas, temporizadores y banderas internas del PLC.

Como se puede ver en la ilustración 14, se utilizó un sistema de activación por etapas que permitió evaluar cada parte del proceso y, en caso de error, corregir el sistema. En la primera línea del programa se verifica en qué etapa se está actualmente, y a menos que sea en la etapa de llenado de tanques de almacenamiento, no puede haber más de una etapa activa al mismo tiempo. Además, esta lógica permite comprobar que no esté ninguna etapa activa para poder dar inicio al sistema.

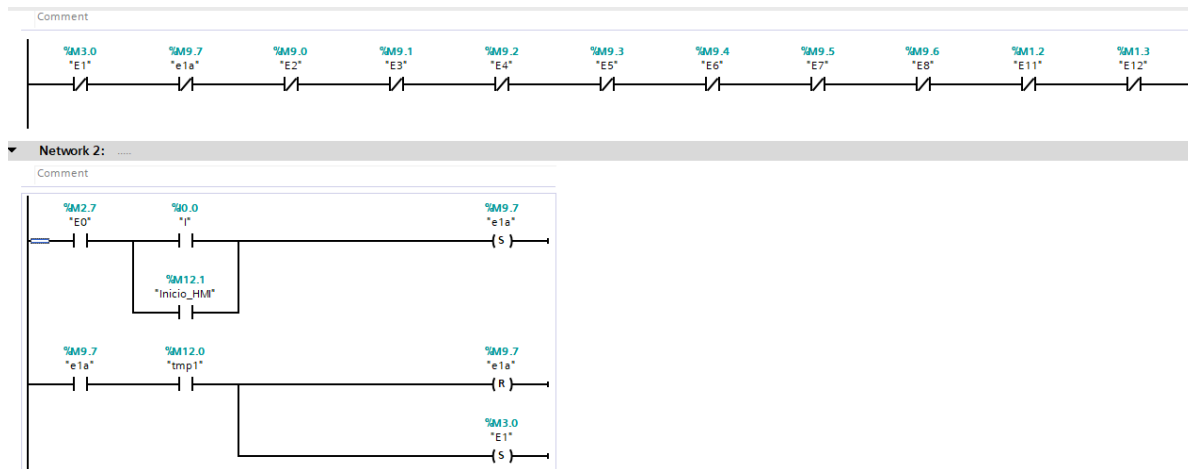


Ilustración 14: TIA Portal etapas. Fuente: Autor

Además de la programación principal por etapas, se usaron bloques auxiliares, como en la ilustración 15, para capturar y escalar las temperaturas de los sensores conectados a las entradas analógicas, llevándolas a un rango de 0 a 100°C. Estos bloques nos facilitaron la activación o desactivación de condiciones de transición. Dado que el PLC utilizado contaba únicamente con dos entradas análogas, se usó un Arduino UNO para leer señales de los sensores restantes de la maqueta. Gracias a esto, fue posible interpretar los sensores analógicos en entradas digitales.

Para permitir la comunicación entre el Arduino y el PLC, se emplearon circuitos adaptadores de nivel y amplificadores de voltaje. Por un lado, las señales provenientes del PLC hacia el Arduino debieron atenuarse para evitar daños en los circuitos de este. Por otro lado, fue necesario amplificar las señales de la salida del Arduino para que el PLC pudiera leerlas correctamente.

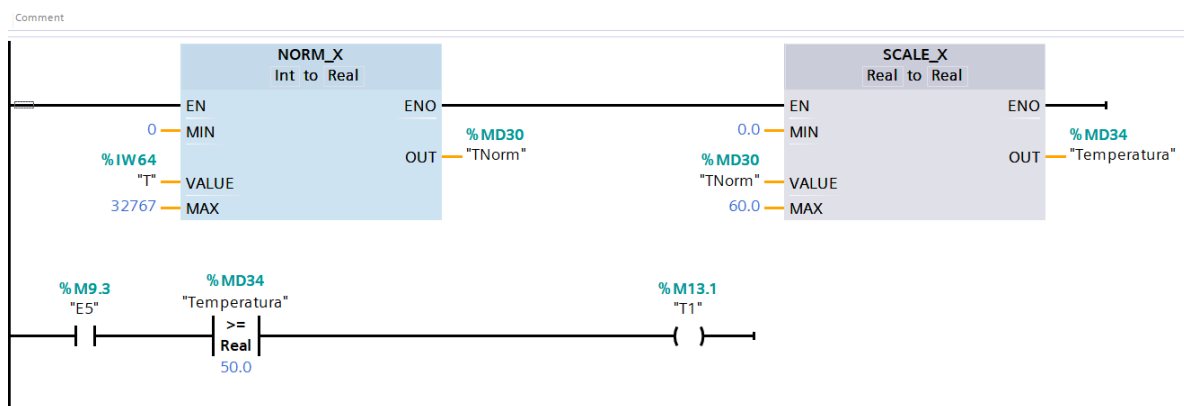


Ilustración 15: TIA Portal escalado de temperatura. Fuente: Autor

En cada etapa, tal como se diseñó en el GRAFCET, se activan uno o más actuadores, como se observa en la ilustración 16. Debido a las limitaciones en la cantidad de salidas disponibles

del PLC, se optó por combinar salidas cuando fue posible, como las de las electroválvulas y motobombas de transición entre tanques.

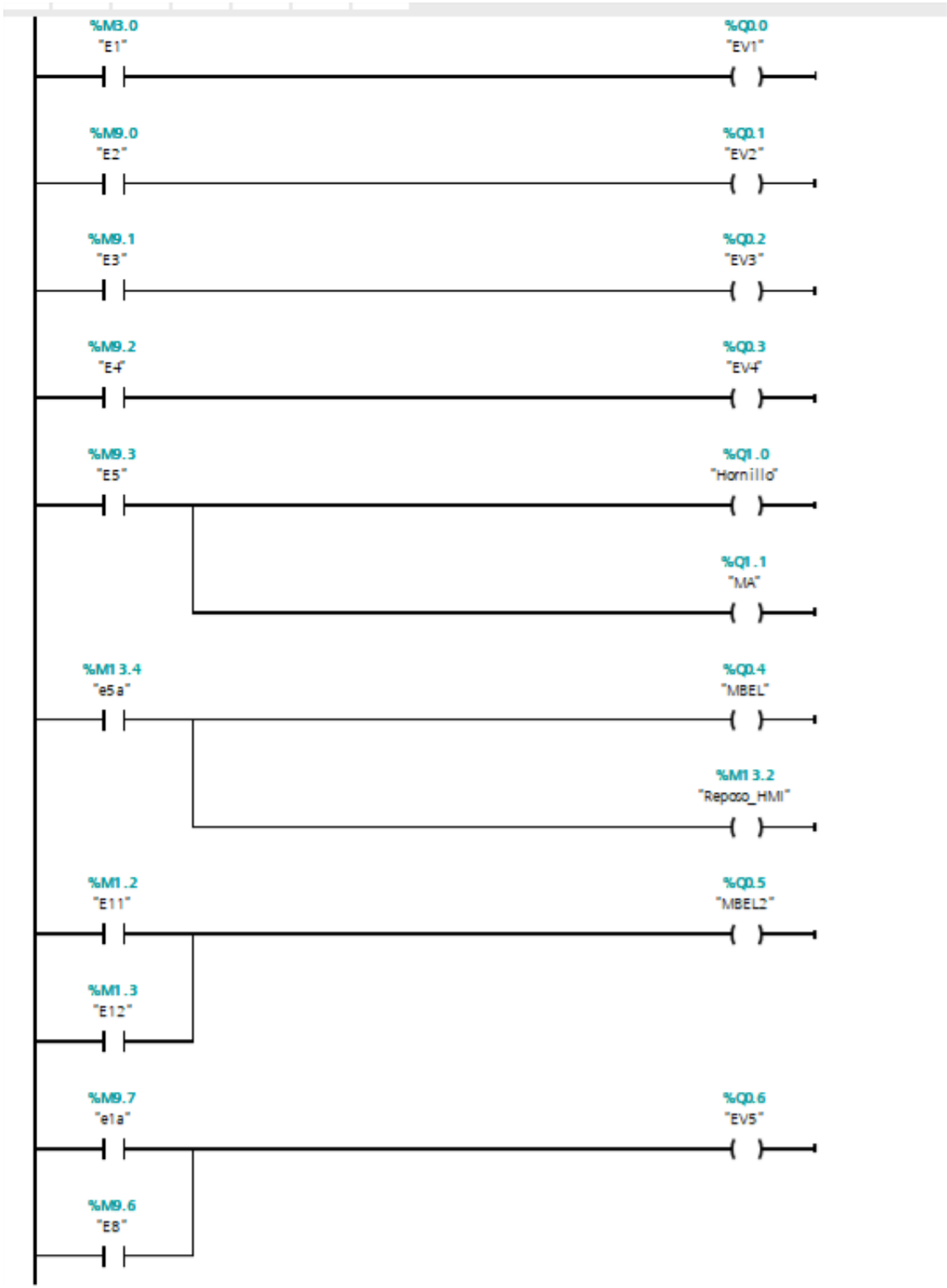


Ilustración 16: TIA Portal activación actuadores. Fuente: Salidas

Se diseñó un sistema de parada y rearme para casos de emergencia, permitiendo detener el proceso en una etapa específica sin necesidad de reiniciar todo el sistema. Esta funcionalidad resultó especialmente útil frente a fallo físicos o de programación, ya que facilitaba el reinicio de una etapa sin tener que repetir todo el ciclo del proceso.

Las condiciones de parada y rearme pueden activarse mediante pulsadores físicos como a través de botones en el HMI y en el SCADA.

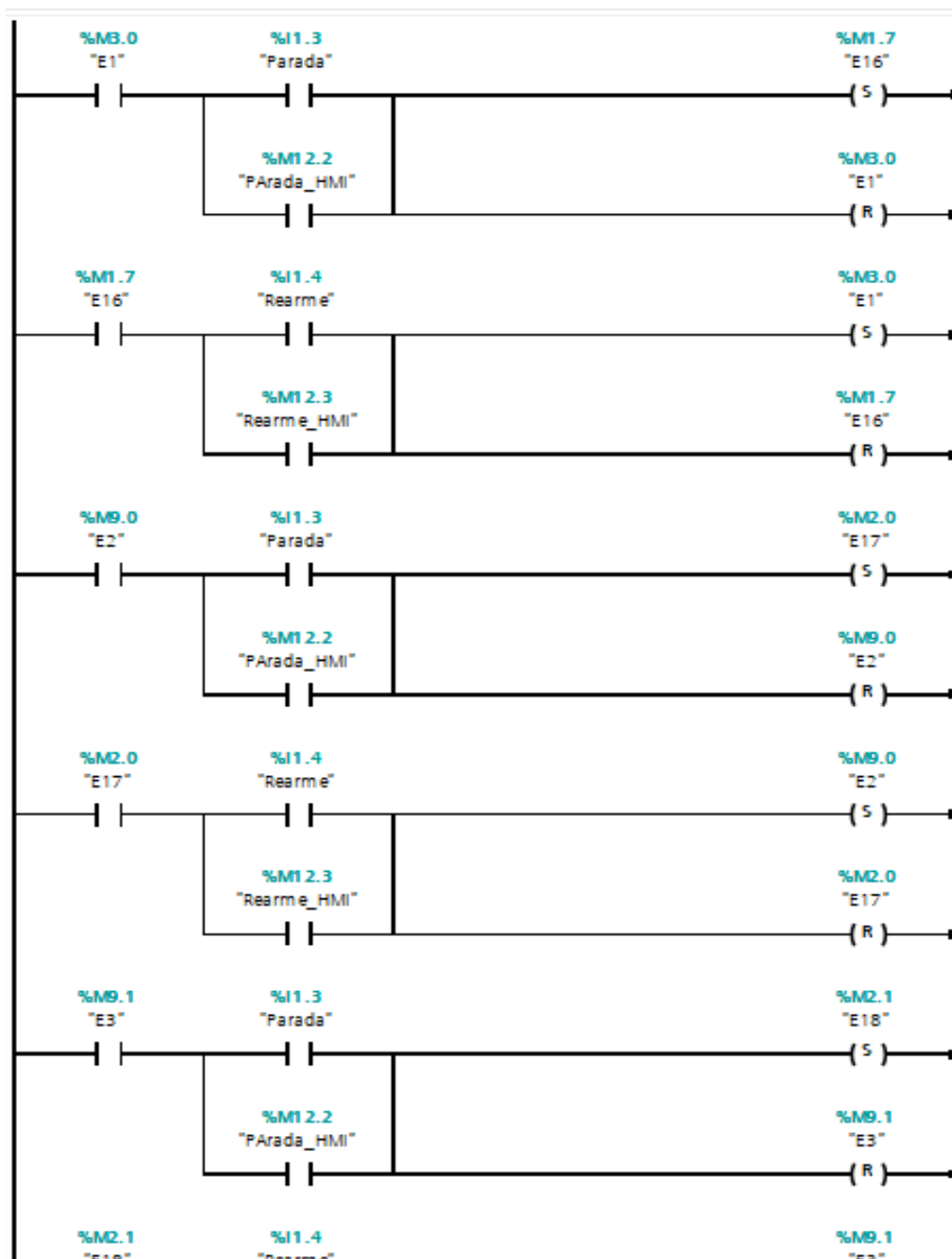


Ilustración 17: TIA Portal parada y rearme. Fuente: Autor

## 6.3 HMI

Como complemento a la programación desarrollada, se implementó un HMI en el entorno de TIA Portal, con el objetivo de proporcionar una visualización clara y accesible de cada fase del proceso. Además, permite al operario la interacción con el sistema.

Desde la interfaz principal (Ilustración 18), es posible acceder a cada una de las fases del proceso: mezclado, reposo y almacenamiento. Además, se incluye un botón dedicado a gestionar las recetas.

### 6.3.1 Interfaz inicial

Para acceder a las diferentes interfaces de sistema, es necesario iniciar sesión y seleccionar una receta. Por defecto, el sistema carga una receta en caso de que no se tenga acceso al HMI. En caso de no iniciar sesión, no se podrá acceder a las distintas fases del proceso.



Ilustración 18: HMI principal. Fuente: Autor

### 6.3.2 Interfaz de recetas

Una vez iniciada la sesión, se accede a la interfaz de selección de recetas, que se aprecia en la ilustración 19. En esta se puede elegir la receta, y en caso de iniciar sesión como administrador, modificar los valores y pesos de las recetas.

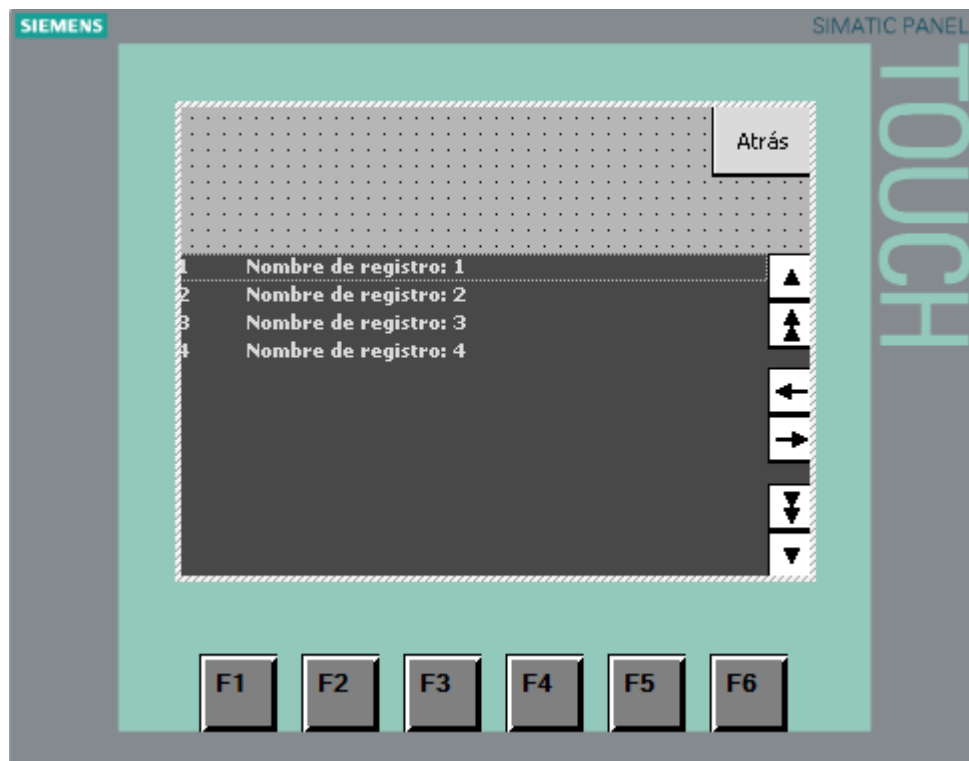


Ilustración 19: HMI recetas. Fuente: Autor

Las recetas elegidas están compuestas por la información en peso del agua, almíbar, etanol y esencias. Por defecto, se muestran los valores de la receta cargada en la ilustración 20.

| ... | Name      | Display name | Tag   | Data type | Data length | Default value |
|-----|-----------|--------------|-------|-----------|-------------|---------------|
|     | Agua      | Agua         | peso1 | Int       | 2           | 350           |
|     | Almibar   | Almibar      | peso2 | Int       | 2           | 320           |
|     | Etanol    | Etanol       | peso3 | Int       | 2           | 300           |
|     | Escencias | Escencias    | peso4 | Int       | 2           | 50            |
|     | TA1       | Tanque 1     | TA1   | Bool      | 1           | 1             |
|     | Ta2       | Tanque 2     | TA2   | Bool      | 1           | 0             |

Ilustración 20: Elementos de recetas. Fuente: Autor

Se crearon 3 recetas: Aguardiente normal, extra anís y extra azúcar (Ilustración 20). Al seleccionar una de estas recetas, se hacen cambios en la programación del PLC, modificando los valores de activación de las condiciones de peso. Además, se determina a qué tanque de almacenamiento será enviado el producto final.

| ... | Name         | Display name | Number | Agua | Almibar | Etanol | Escencias | TA1 | Ta2 |
|-----|--------------|--------------|--------|------|---------|--------|-----------|-----|-----|
|     | Aguardiente  | Aguardiente  | 1      | 350  | 320     | 300    | 50        | 1   | 0   |
|     | Extra aniz   | Extra aniz   | 2      | 350  | 300     | 330    | 80        | 0   | 1   |
|     | Extra azucar | Extra azucar | 3      | 300  | 380     | 300    | 50        | 1   | 1   |

Ilustración 21: Recetas. Fuente: Autor

### 6.3.3 Interfaz de mezclado

En la interfaz de mezclado se representa gráficamente el proceso, incluyendo indicadores tanto de los tanques, electroválvulas y sensores de temperatura. Cuando se inicia el proceso y se habilita el paso a las materias primas, se cambia el color del indicador. En caso de que esté apagada la electroválvula, el indicador será rojo y, en contrario, cuando esté activa, se cambia a verde.

En esta interfaz también cuenta con botones funcionales de inicio, rearme y atrás. El botón de inicio pone en marcha al sistema, comenzando con el proceso de automatización; este se configuró como un paralelo al botón físico de inicio. Lo mismo ocurre con los botones de parada y rearme del sistema. El botón de atrás permite regresar a la pantalla principal.

A medida que se activan las electroválvulas, también sube el nivel del tanque TK-105 en el HMI. Cuando se activa el motor agitador, este comienza a girar, mostrando así el proceso que se está realizando. Además, el tanque incluye una barra lateral que funciona como indicador de temperatura. El cual irá variando su color dependiendo de la temperatura; en el caso de que la temperatura sea de 0 a 25°, será azul; si va de 26 a 40°, será amarillo y cuando se supere este umbral, se tornará color rojo.

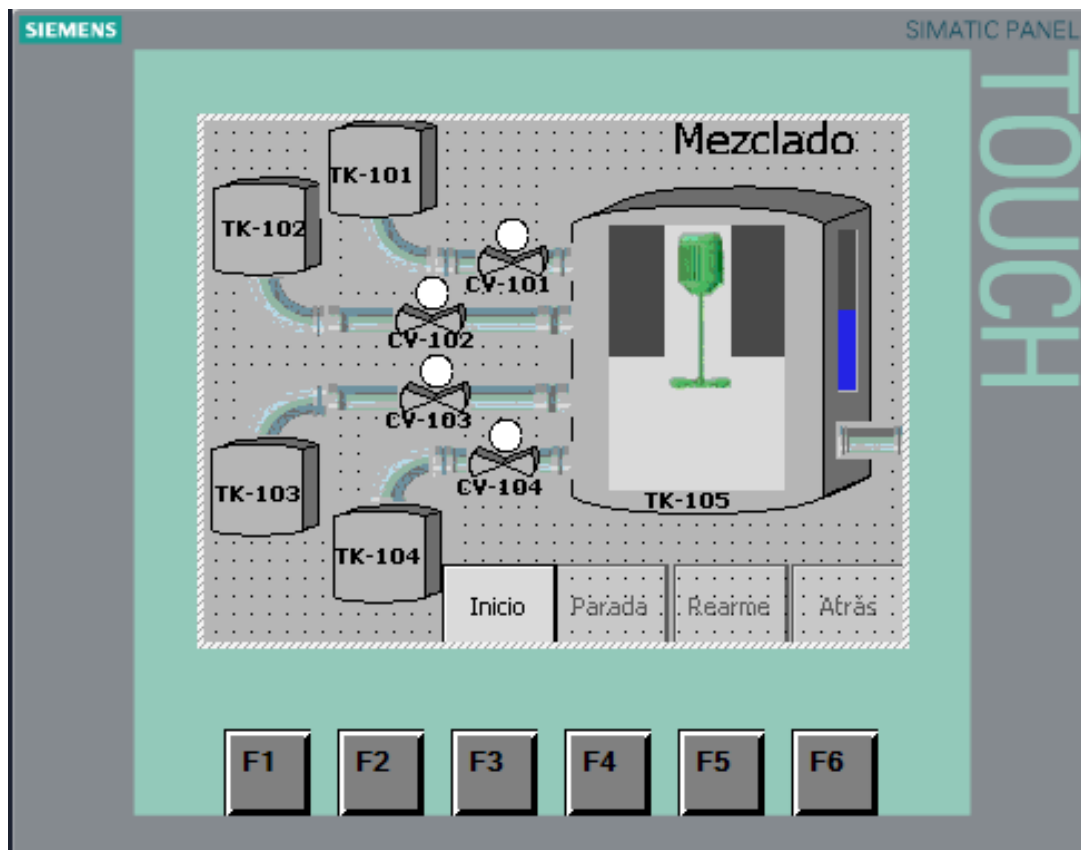


Ilustración 22: HMI mezclado. Fuente: Autor

### 6.3.4 Interfaz de reposo

AL igual que en la etapa de mezclado, la interfaz de reposo cuenta con el tanque de reposo TK-106, el cual representa gráficamente el llenado del tanque de la maqueta física. En el costado derecho del tanque se encuentra el indicador de temperatura que varía según los datos recibidos del sensor. Además, los indicadores de estado de la electroválvula y la motobomba se iluminan en color verde mientras estos dispositivos están activos. Se mantienen los botones de control: parada, rearme y atrás.

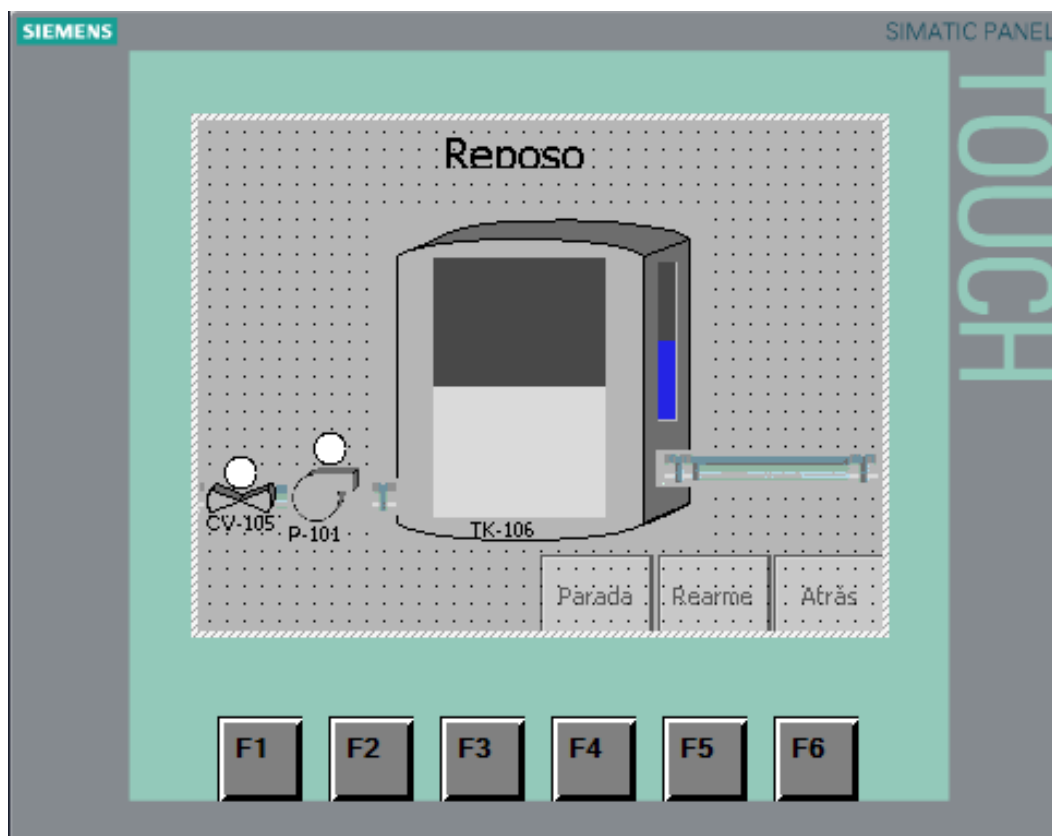


Ilustración 23: HMI reposo. Fuente: Autor

### 6.3.5 Almacenamiento

Como en las otros interfaces, se mantienen los botones de parada, rearme y atrás. Según la receta seleccionada, el sistema determina a qué tanque de almacenamiento se dirigía el producto final. Por lo tanto, en esta interfaz puede visualizarse uno de los tanques vacío y uno lleno, o ambos llenos. Los indicadores de estado de las motobombas y electroválvulas también se activan.

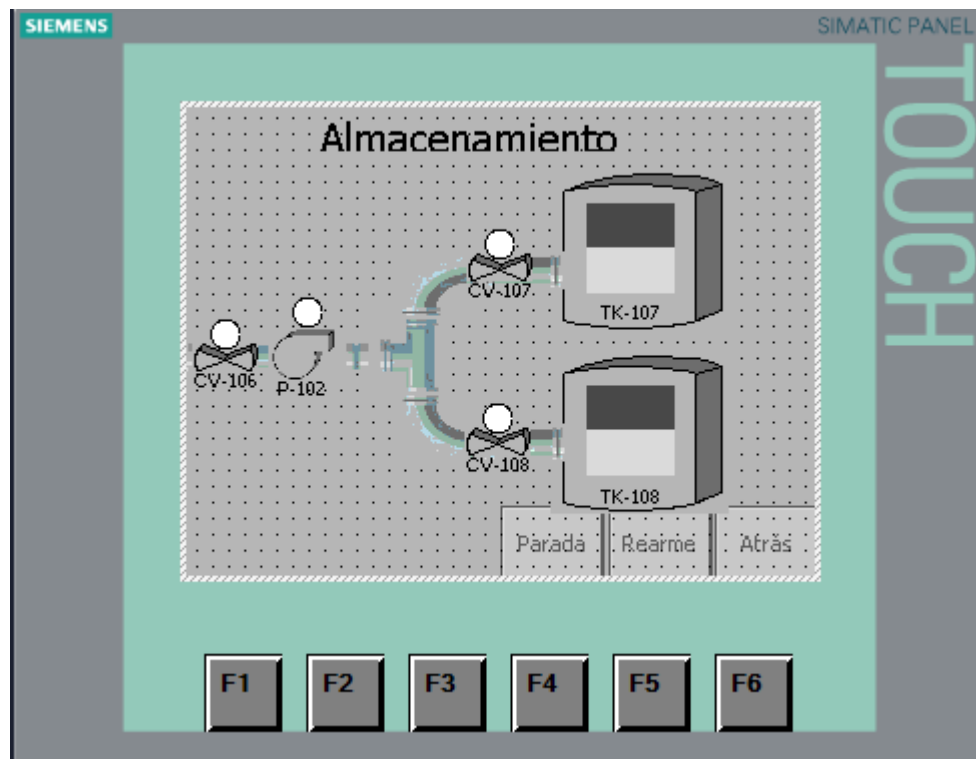


Ilustración 24: HMI almacenamiento. Fuente: Autor

## 6.4 SCADA

Para el SCADA se utilizó el KEPServeX6 como herramienta para crear un servidor y establecer la conexión con las variables del PLC (Ilustración 25). Desde este servidor es posible monitorear el estado de todas las variables y, asimismo, modificarlas si es necesario.

Project

Connectivity

SIEMENS

S7-1200

Aliases

Advanced Tags

Alarms & Events

Add Area...

Data Logger

Add Log Group...

EFM Exporter

Add Poll Group...

IDF for Splunk

Add Splunk Connection...

IoT Gateway

Add Agent...

Local Historian

Add Datastore...

Profile Library

Add Profile...

Scheduler

Add Schedule...

SNMP Agent

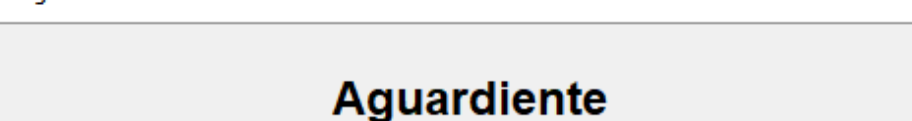
Add Agent...

| Tag Name | Address | Data Type | Scan Rate |
|----------|---------|-----------|-----------|
| EV1      | Q0.0    | Boolean   | 100       |
| EV2      | Q0.1    | Boolean   | 100       |
| EV3      | Q0.2    | Boolean   | 100       |
| EV4      | Q0.3    | Boolean   | 100       |
| EV5      | Q0.6    | Boolean   | 100       |
| EV6      | Q0.7    | Boolean   | 100       |
| F        | I0.7    | Boolean   | 100       |
| H        | Q1.0    | Boolean   | 100       |
| Inicio   | M12.1   | Boolean   | 100       |
| MA       | Q1.1    | Boolean   | 100       |
| ME1      | Q0.4    | Boolean   | 100       |
| ME2      | Q0.5    | Boolean   | 100       |
| P1       | I0.1    | Boolean   | 100       |
| P2       | I0.2    | Boolean   | 100       |
| P3       | I0.3    | Boolean   | 100       |
| P4       | I0.4    | Boolean   | 100       |
| P5       | I0.5    | Boolean   | 100       |
| Parada   | M12.4   | Boolean   | 100       |
| PE       | I1.0    | Boolean   | 100       |
| Rearme   | M12.6   | Boolean   | 100       |
| T1       | MD34    | Float     | 100       |
| T2       | MD42    | Float     | 100       |

Ilustración 25: Servidor SCADA. Fuente: Autor

|                            |  |                                |           |         |              |         |
|----------------------------|--|--------------------------------|-----------|---------|--------------|---------|
| Kepware.KEPServerEX.V6     |  | Item ID                        | Data Type | Value   | Timestamp    | Quality |
| DataLogger                 |  | SIEMENS.S7-1200.EV1            | Boolean   | 0       | 14:07:05.590 | Good    |
| System                     |  | SIEMENS.S7-1200.EV2            | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
| ThingWorx                  |  | SIEMENS.S7-1200.EV3            | Boolean   | 1       | 14:07:03.590 | Good    |
| SIEMENS_Statistics         |  | SIEMENS.S7-1200.EV4            | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
| SIEMENS_System             |  | SIEMENS.S7-1200.EV5            | Boolean   | 0       | 14:01:06.598 | Good    |
| <b>SIEMENS.S7-1200</b>     |  | SIEMENS.S7-1200.EV6            | Boolean   | 0       | 14:03:51.597 | Good    |
| SIEMENS.S7-1200_Statistics |  | SIEMENS.S7-1200.F              | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
| SIEMENS.S7-1200_System     |  | SIEMENS.S7-1200.H              | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.Inicio         | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.MA             | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.ME1            | Boolean   | 0       | 14:07:01.590 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.ME2            | Boolean   | 0       | 14:03:53.601 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.P1             | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.P2             | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.P3             | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.P4             | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.P5             | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.Parada         | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.PE             | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.Rearme         | Boolean   | 0       | 13:53:44.890 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200_Rack           | Byte      | 0       | 13:53:44.871 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200_Slot           | Byte      | 1       | 13:53:44.871 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.T1             | Float     | 38.5595 | 14:07:07.591 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200.T2             | Float     | 0       | 14:07:58.591 | Good    |
|                            |  | SIEMENS.S7-1200_CurrentPDUSize | Word      | 240     | 13:53:45.872 | Good    |

Por esta razón, se optó por desarrollar una interfaz utilizando Python, junto con las librerías OPCUA y Tkinter. Mediante la librería OPCUA, establece la conexión con el servidor creado en KEPServerX 6, el cual a su vez está conectado al PLC. La interfaz gráfica fue diseñada mediante TKinter, una interfaz de usuario lo más similar a la interfaz hecha en el HMI, con el objetivo de estandarizar las interfaces y su uso tanto en el SCADA como en el HMI.



SCADA Aguardiente

# Aguardiente

Mezclado

Reposo

Almacenamiento

63

En la interfaz de la fase de mezclado (Ilustración 28) se muestra una representación gráfica de los tanques TK-101, TK-102, TK-103, TK-104, TK-105, junto con los indicadores de las electroválvulas CV-101, CV-102, CV-103, CV-104, los cuales cambian cuando los dispositivos estén activos, al igual que el indicador de temperatura. Estos elementos permiten al operario identificar rápidamente el estado del sistema sin necesidad de comprobar físicamente cada componente o revisar las variables del PLC directamente. Además, se observan los botones de inicio, parada, rearme y atrás, todos completamente funcionales y sincronizados con la lógica del PLC, como se observa en la parte derecha de la Ilustración 28.

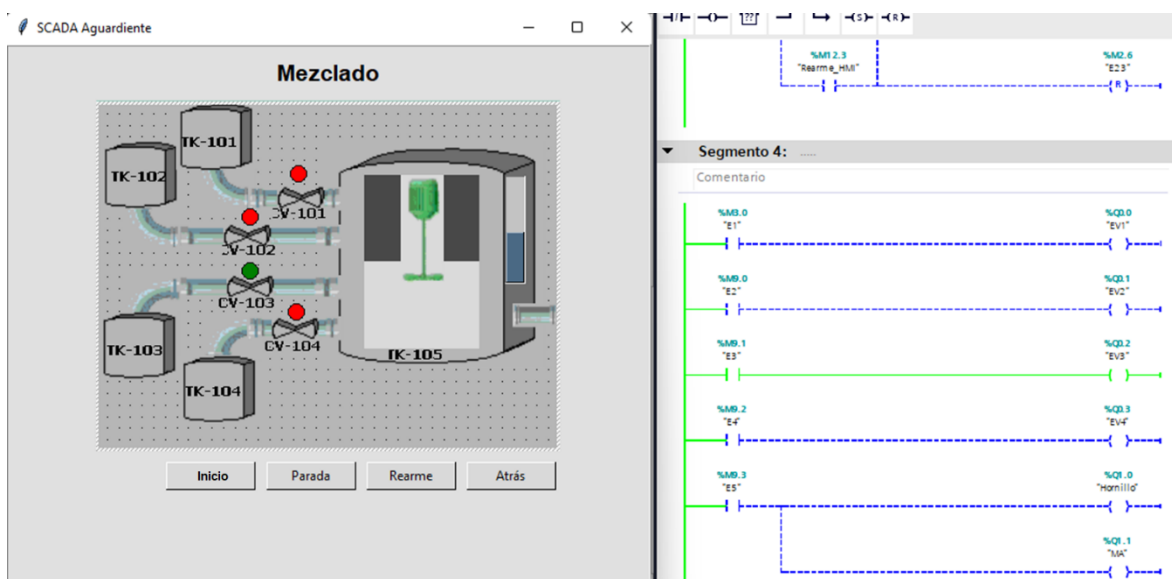


Ilustración 28: Interfaz Mezclado: Fuente: Autor

En la interfaz de reposo (Ilustración 29) se centra en el tanque TK-106, donde se realiza la etapa de enfriamiento de producto. En esta pantalla se visualiza el funcionamiento de la motobomba P-1-1 y la electroválvula CV-105, ambas con indicadores visuales que se activan cuando los dispositivos están en funcionamiento. Al igual que en la etapa de mezclado, se incluye un indicador de temperatura ubicado al costado del tanque, y los botones de parada, rearme y atrás, todos funcionales y sincronizados con el PLC.

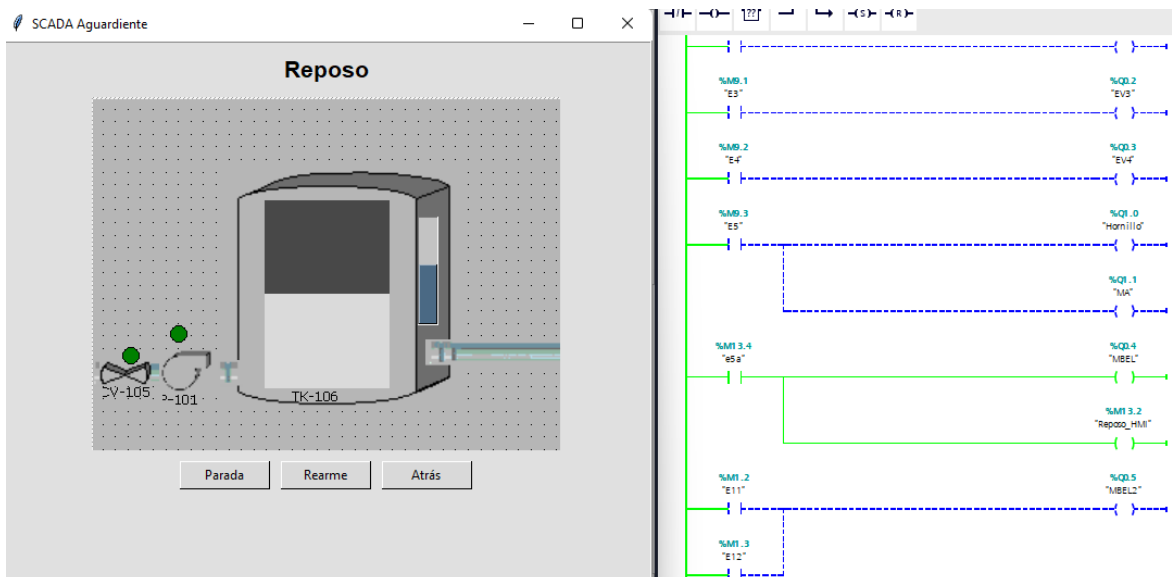


Ilustración 29: Interfaz Reposo: Fuente: Autor

Finalmente, en la interfaz de almacenamiento (Ilustración 30) se representan los tanques Tk-107 y TK-108, hacia los cuales se dirige el producto terminado, dependiendo de la receta que se encuentre seleccionada. Además, la interfaz permite monitorear el estado de las válvulas CV-106, CV-107 y CV-108, así como el de la motobomba P-102, utilizando los mismos principios de indicadores visuales aplicados en las etapas anteriores.

Al igual que en las etapas anteriores, en el costado derecho de la interfaz se muestra la selección del tanque de destino, así como la activación de la motobomba y de las electroválvulas.

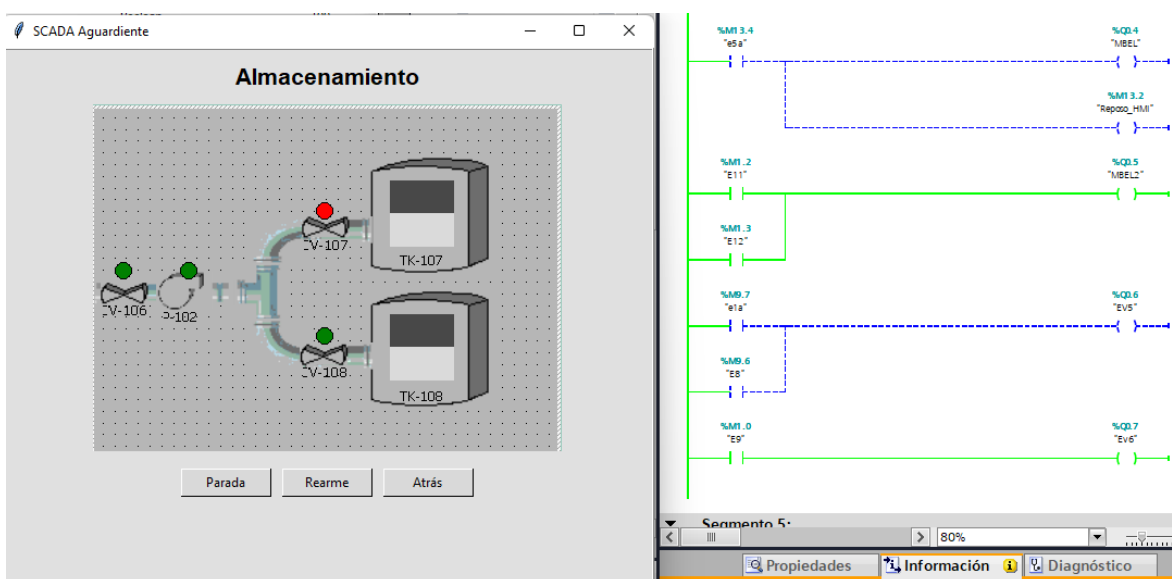


Ilustración 30: Interfaz Almacenamiento. Fuente: Autor

## 6.5 Tiempos de respuesta

Para obtener los tiempos de respuesta de sensores y actuadores, se utilizaron temporizadores tipo TON y marcas internas en TIA Portal, registrando el momento de activación y desactivación de cada elemento mediante un temporizador de referencia. La duración de funcionamiento que se calculó restando ambos valores y almacenando los datos, ya que dicho proceso se repitió en múltiples pruebas, tanto en etapas por separado como en el proyecto final. Los tiempos fueron exportados manualmente y organizados en tablas para su análisis comparativo.

Tabla 8: Tiempos etapa de mezclado. Fuente: Autor

| Etapa De Mezclado |       |       |        |        |        |        |       |       |
|-------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Etiqueta          | 8-abr | 8-abr | 15-abr | 15-abr | 28-abr | 28-abr | 6-may | 6-may |
| TT-101            | 996   | 797   | 1123   | 1094   | 1002   | 873    | 986   | 1012  |
| WT-102            | 327   | 324   | 417    | 379    | 361    | 306    | 434   | 412   |
| CV-101            | 89    | 104   | 104    | 109    | 101    | 94     | 119   | 106   |
| CV-102            | 111   | 110   | 93     | 111    | 106    | 124    | 98    | 110   |
| CV-103            | 98    | 117   | 116    | 141    | 118    | 121    | 103   | 110   |
| CV-104            | 123   | 117   | 88     | 120    | 112    | 96     | 112   | 122   |
| M-101             | 207   | 177   | 229    | 199    | 203    | 153    | 256   | 243   |

Tiempos  
ms

Tabla 9: Análisis etapa de mezclado. Fuente: Autor

| Etapa De Mezclado |            |                          |             |             |            |                     |
|-------------------|------------|--------------------------|-------------|-------------|------------|---------------------|
| Etiqueta          | Media (ms) | Desviación Estándar (ms) | Mínimo (ms) | Máximo (ms) | Rango (ms) | Coef. Variación (%) |
| TT-101            | 985.38     | 106.87                   | 797         | 1123        | 326        | 10.85%              |
| WT-102            | 370.00     | 48.24                    | 306         | 434         | 128        | 13.04%              |
| CV-101            | 103.25     | 9.13                     | 89          | 119         | 30         | 8.84%               |
| CV-102            | 107.88     | 9.34                     | 93          | 124         | 31         | 8.66%               |
| CV-103            | 115.50     | 12.99                    | 98          | 141         | 43         | 11.25%              |
| CV-104            | 111.25     | 12.75                    | 88          | 123         | 35         | 11.46%              |
| M-101             | 208.38     | 33.94                    | 153         | 256         | 103        | 16.29%              |

Podemos observar que las electroválvulas (CV-101 a CV-104) presentan una dispersión baja en sus tiempos de respuesta (coeficiente de variación <12%), lo cual indica un comportamiento estable y confiable del sistema de apertura y cierre, aspecto importante para la dosificación precisa durante la etapa de mezcla.

En contraste, el motor M-101 presenta la mayor variabilidad relativa (16.29%), posiblemente debido a variaciones en carga mecánica, condiciones de alimentación o diferencias en el tipo de mezcla. Finalmente, los sensores de temperatura TT-101 y el de peso WT-102 muestran valores medio altos y una desviación notable. Estos resultados evidencian la necesidad de filtrado de datos o retardos programados para estabilizar la lectura en campo real.

Tabla 10: Tiempos etapa de reposo. Fuente: Autor

| Etapa De Reposo |       |       |        |        |        |        |       |       |               |
|-----------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|---------------|
| Etiqueta        | 8-abr | 8-abr | 15-abr | 15-abr | 28-abr | 28-abr | 6-may | 6-may | Tiempos<br>ms |
| TT-103          | 864   | 858   | 788    | 1067   | 894    | 997    | 1126  | 894   |               |
| CV-105          | 117   | 110   | 65     | 99     | 97     | 127    | 98    | 106   |               |
| P-101           | 178   | 195   | 266    | 235    | 218    | 186    | 238   | 204   |               |

Tabla 11: Análisis etapa de reposo. Fuente: Autor

| Etapa De Reposo |               |                             |                |                |               |                        |
|-----------------|---------------|-----------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------------|
| Etiqueta        | Media<br>(ms) | Desviación<br>Estándar (ms) | Mínimo<br>(ms) | Máximo<br>(ms) | Rango<br>(ms) | Coef. Variación<br>(%) |
| TT-103          | 936.00        | 115.69                      | 788            | 1126           | 338           | 12.36                  |
| CV-105          | 102.38        | 18.31                       | 65             | 127            | 62            | 17.89                  |
| P-101           | 215.00        | 29.93                       | 178            | 266            | 88            | 13.92                  |

Durante la etapa de reposo, el sensor de temperatura TT-103 presenta la mayor variabilidad absoluta; sin embargo, su coeficiente de variación (CV) es moderado (11.43%), lo que sugiere una estabilidad relativa adecuada respecto a su magnitud.

La electroválvula CV-105 muestra la mayor variabilidad relativa, con un CV de 19.83%, lo que podría indicar que el tiempo de apertura/cierre puede ser menos constante o posiblemente afectado por condiciones externas.

Por otro lado, la motobomba P-101 presenta un comportamiento más estable, con un CV del 14.13%, lo cual se considera un comportamiento aceptable en procesos automatizados como este.

Tabla 12: Tiempos etapa de almacenamiento. Fuente: Autor

| Etapa De Almacenamiento |       |       |        |        |        |        |       |       |               |
|-------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|---------------|
| Etiqueta                | 8-abr | 8-abr | 15-abr | 15-abr | 28-abr | 28-abr | 6-may | 6-may | Tiempos<br>ms |
| FT-104                  | 407   | 270   | 377    | 327    | 345    | 283    | 368   | 321   |               |

|               |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| <b>CV-106</b> | 109 | 116 | 108 | 131 | 116 | 92  | 108 | 89  |  |
| <b>P-102</b>  | 183 | 162 | 216 | 213 | 193 | 179 | 246 | 219 |  |
| <b>CV-107</b> | 108 | 113 | 132 | 111 | 116 | 94  | 106 | 127 |  |
| <b>CV-108</b> | 96  | 104 | 93  | 122 | 103 | 114 | 79  | 117 |  |

Tabla 13: Análisis etapa de almacenamiento. Fuente: Autor

| Etapa De Almacenamiento |               |                             |                |                |               |                        |
|-------------------------|---------------|-----------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------------|
| Etiqueta                | Media<br>(ms) | Desviación Estándar<br>(ms) | Mínimo<br>(ms) | Máximo<br>(ms) | Rango<br>(ms) | Coef.<br>Variación (%) |
| <b>FT-104</b>           | 337.25        | 46.73                       | 270            | 407            | 137           | 13.86                  |
| <b>CV-106</b>           | 108.62        | 13.48                       | 89             | 131            | 42            | 12.41                  |
| <b>P-102</b>            | 201.38        | 27.02                       | 162            | 246            | 84            | 13.42                  |
| <b>CV-107</b>           | 113.38        | 11.98                       | 94             | 132            | 38            | 10.56                  |
| <b>CV-108</b>           | 103.50        | 14.15                       | 79             | 122            | 43            | 13.67                  |

En la etapa final, se obtuvieron resultados más estables en los diferentes componentes del sistema. El sensor de flujo FT-104 presentó una media elevada y una variabilidad moderada (CV ~13.86%), lo cual es aceptable considerando que este tipo de sensor puede verse afectado por variaciones en presión o densidad.

Las electroválvulas CV-106, CV-107 y CV-108 mostraron un comportamiento relativamente estable, con coeficientes de variación entre 10.56% y 13.67%, dentro del rango considerado aceptable para actuadores controlados digitalmente.

La motobomba P-102 también evidenció un rendimiento consistente, con una variación del 13.42%, lo que indicaba estabilidad en su tiempo de operación.

Tabla 14: Tiempos de todas las etapas. Fuente: Autor

| Todas Las Etapas |       |       |        |        |        |        |        |        |               |
|------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| Etiqueta         | 6-may | 6-may | 12-may | 12-may | 16-may | 16-may | 20-may | 20-may | Tiempos<br>ms |
| TT-101           | 516   | 786   | 900    | 849    | 762    | 986    | 1012   | 873    |               |
| WT-102           | 340   | 370   | 384    | 295    | 347    | 268    | 401    | 307    |               |
| CV-101           | 97    | 110   | 109    | 92     | 102    | 121    | 119    | 107    |               |
| CV-102           | 105   | 124   | 103    | 125    | 114    | 84     | 93     | 116    |               |
| CV-103           | 79    | 106   | 122    | 113    | 105    | 96     | 121    | 92     |               |
| CV-104           | 120   | 97    | 92     | 86     | 98     | 112    | 101    | 129    |               |

|               |     |     |      |      |      |     |      |     |
|---------------|-----|-----|------|------|------|-----|------|-----|
| <b>M-101</b>  | 191 | 179 | 232  | 210  | 203  | 158 | 187  | 208 |
| <b>TT-103</b> | 904 | 995 | 1077 | 1116 | 1023 | 829 | 1099 | 969 |
| <b>CV-105</b> | 123 | 133 | 77   | 122  | 113  | 85  | 124  | 98  |
| <b>P-101</b>  | 186 | 234 | 238  | 244  | 225  | 168 | 194  | 231 |
| <b>FT-104</b> | 336 | 348 | 270  | 549  | 375  | 276 | 403  | 365 |
| <b>CV-106</b> | 91  | 109 | 160  | 108  | 117  | 82  | 128  | 104 |
| <b>P-102</b>  | 213 | 193 | 214  | 175  | 198  | 143 | 224  | 207 |
| <b>CV-107</b> | 122 | 98  | 87   | 108  | 96   | 119 | 107  | 92  |
| <b>CV-108</b> | 101 | 104 | 107  | 121  | 108  | 119 | 79   | 124 |

*Tabla 15: Análisis de todas las etapas. Fuente: Autor*

| <b>Todas Las Etapas</b> |                       |                                |                        |                        |                       |                                |
|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| <b>Etiqueta</b>         | <b>Media<br/>(ms)</b> | <b>Desv. estándar<br/>(ms)</b> | <b>Mínimo<br/>(ms)</b> | <b>Máximo<br/>(ms)</b> | <b>Rango<br/>(ms)</b> | <b>Coef.<br/>Variación (%)</b> |
| <b>TT-101</b>           | 834.75                | 154.13                         | 516                    | 1012                   | 496                   | 18.47                          |
| <b>WT-102</b>           | 346.38                | 37.70                          | 268                    | 401                    | 133                   | 10.89                          |
| <b>CV-101</b>           | 107.50                | 9.53                           | 92                     | 121                    | 29                    | 8.86                           |
| <b>CV-102</b>           | 108.88                | 13.00                          | 84                     | 125                    | 41                    | 11.94                          |
| <b>CV-103</b>           | 102.50                | 13.66                          | 76                     | 122                    | 46                    | 13.33                          |
| <b>CV-104</b>           | 106.00                | 13.65                          | 92                     | 129                    | 37                    | 12.88                          |
| <b>M-101</b>            | 193.13                | 16.33                          | 158                    | 232                    | 74                    | 8.45                           |
| <b>TT-103</b>           | 1007.13               | 75.45                          | 829                    | 1116                   | 287                   | 7.49                           |
| <b>CV-105</b>           | 119.88                | 10.44                          | 85                     | 143                    | 58                    | 8.71                           |
| <b>P-101</b>            | 211.00                | 28.07                          | 145                    | 244                    | 99                    | 13.30                          |
| <b>FT-104</b>           | 359.38                | 93.93                          | 270                    | 549                    | 279                   | 26.14                          |
| <b>CV-106</b>           | 116.63                | 16.85                          | 82                     | 160                    | 78                    | 14.45                          |
| <b>P-102</b>            | 198.25                | 23.46                          | 143                    | 231                    | 88                    | 11.83                          |
| <b>CV-107</b>           | 104.13                | 14.36                          | 87                     | 131                    | 44                    | 13.79                          |
| <b>CV-108</b>           | 102.00                | 14.75                          | 79                     | 124                    | 45                    | 14.46                          |

El sensor de flujo FT-104 presentó la mayor variabilidad relativa (26.14%), lo que indica fluctuaciones en el caudal posiblemente atribuibles a variaciones en la presión de la bomba o el tipo de mezcla. De manera similar, el sensor de temperatura TT-101 evidenció un comportamiento significativamente variable (CV de 18.47%), probablemente debido a inestabilidad térmica durante la fase de mezcla y calentamiento.

En contraste, el motor agitador M-101 y el sensor de temperatura TT-103 mostraron un desempeño más estable, con coeficientes de variación de 8.45% y 7.49% respectivamente, lo cual demuestra una buena repetibilidad tanto en el control térmico del reposo como en la agitación de la mezcla.

Al comparar los resultados obtenidos en las pruebas individuales por etapa con la tabla consolidada del sistema completo, se observan diferencias que evidencian comportamientos no completamente lineales ni consistentes entre pruebas aisladas y el sistema en operación completa. Por ejemplo, el sensor de temperatura TT-103, que en la etapa de reposo mostró estabilidad con un CV del 7.49%, presentó un aumento considerable en sus tiempos de respuesta durante la operación global, alcanzando valores superiores a 1100 ms. Esto sugiere posibles interferencias térmicas o retrasos acumulativos al integrarse con otras fases del proceso.

Asimismo, la motobomba P-102, que había mantenido una respuesta moderada en la etapa de almacenamiento, evidenció una mayor exigencia en la operación general, con incrementos en el tiempo promedio. Por otro lado, componentes como M-101 y Cv-105 mantuvieron tiempos coherentes tanto en pruebas individuales como en el sistema completo, lo cual confirma su confiabilidad operativa.

Si bien se reconoce que los sensores y actuadores empleados en la presente maqueta no corresponden a estándares industriales, su selección respondió a criterios académicos, presupuestales y de disponibilidad dentro del entorno universitario. En ese sentido, el proyecto se enmarca en un enfoque didáctico que busca replicar el comportamiento lógico de un sistema automatizado a través de componentes de bajo costo, pero técnicamente caracterizables.

Los tiempos de respuesta y comportamiento dinámico de los sensores fueron verificados mediante pruebas de campo y contrastados con los datos proporcionados en sus fichas técnicas, lo que permite validar su funcionamiento dentro de márgenes razonables de error para fines académicos. Si bien no se puede equiparar directamente este comportamiento al de una planta industrial real, los principios de control secuencial, la lógica de operación, la adquisición de datos y la estructura del sistema sí mantienen una correspondencia funcional que permite extrapolar aprendizajes significativos hacia entornos industriales.

## **6.6 Errores de peso**

Se utilizó el sensor de peso para estimar el volumen inicial, convirtiendo los gramos a mililitros. Con el sensor de flujo, ubicado en la última etapa del proceso, se obtuvo volumen final. A partir de estos datos se realizaron análisis cualitativos y cuantitativos, que permitieron evaluar los resultados de la producción final del producto. Los cuales se presentan a continuación en la tabla 13:

Tabla 13: Pesos iniciales. Fuente: Autor

| Fecha  | ml Inicial | ml final |
|--------|------------|----------|
| 6-may  | 1088       | 621      |
| 6-may  | 1137       | 618      |
| 12-may | 1114       | 604      |
| 12-may | 1245       | 615      |
| 16-may | 1064       | 613      |
| 16-may | 1125       | 617      |
| 20-may | 1181       | 609      |
| 20-may | 1102       | 613      |

Cálculo de rendimiento o eficiencia volumétrica:  $Eficiencia (\%) = \left( \frac{final}{inicial} \right) \times 100$

La eficiencia está entre 49.40% y 57.63%. Este rango de valores sugiere que aproximadamente la mitad del volumen inicial se entrega al final del proceso. Esta pérdida se ve reflejada principalmente en la profundidad que tienen los tanques de mezclado y reposo, ya que en ellos queda una cantidad considerable de líquido. Esto ocurre debido a que la salida no está ubicada al nivel más bajo del tanque, sino que 1cm más arriba.

Análisis de pérdida volumétrica absoluta:  $Perdida = inicial - final$ . Las pérdidas se encuentran entre 451 ml y 630 ml. A partir de estos valores, se puede calcular un promedio de pérdida, que corresponde a 518.25 ml, resultado de la sumatoria de todas las pérdidas. Estas pérdidas están muy relacionadas con lo mencionado anteriormente sobre los tanques y, además, con el líquido que queda estancado en las tuberías durante el traslado de un tanque a otro.

Tabla 14: Análisis estadísticos. Fuente: Autor

| Inicial (ml) | Final (ml) | Eficiencia % | Perdida (ml) |
|--------------|------------|--------------|--------------|
| 1088         | 621        | 57.07 %      | 467          |
| 1137         | 618        | 54.35 %      | 519          |
| 1114         | 604        | 54.23 %      | 510          |
| 1245         | 615        | 49.40 %      | 630          |
| 1064         | 613        | 57.63 %      | 451          |
| 1125         | 617        | 54.84 %      | 508          |
| 1181         | 609        | 51.54 %      | 572          |
| 1102         | 613        | 55.63 %      | 489          |

Además de esto, también podemos evaluar la media de eficiencia y la desviación estándar:

$$\mu = \frac{\sum \text{eficiencias}}{n} \approx \frac{434.7}{8} = 54.34\% \quad \text{y} \quad \sigma \approx 2.38\%$$

. Podemos decir que una desviación de  $\pm 2.38\%$  en la eficiencia nos indica que el sistema presenta un comportamiento relativamente constante, con variaciones mínimas entre ciclos. Esto refleja una repetibilidad aceptable del proceso: si bien no es completamente estable, el margen de error es bajo y manejable.

## 7. Conclusiones

Desde el punto de vista de ingeniería, se implementó una lógica de control secuencial coherente, representada por un diagrama GRAFCET y desarrollada en TIA Portal bajo el lenguaje Ladder. Este enfoque permitió estructurar de forma clara las etapas del proceso y facilitar su depuración, asegurando la trazabilidad y estabilidad del sistema automatizado. La secuencia lógica fue validada mediante simulaciones y pruebas en la maqueta física, evidenciando que la transición entre etapas depende efectivamente del cumplimiento de condiciones de sensores y no del tiempo arbitrario, garantizando mayor precisión en la operación.

El desarrollo de las interfaces HMI y SCADA constituyó un aporte significativo al sistema, al permitir la interacción entre el operador y el proceso de forma intuitiva. La visualización del estado de sensores, la activación de actuadores, el seguimiento de recetas y el monitoreo remoto mediante Python con OPC-UA fortalecieron la funcionalidad del sistema y ofrecieron una experiencia cercana a las soluciones industriales reales. Esto demuestra que, incluso con recursos limitados, es posible implementar herramientas de supervisión altamente efectivas y formativas.

En términos de evaluación del desempeño, los datos obtenidos permitieron medir de manera objetiva variables como los tiempos de respuesta de sensores y actuadores, los cuales se mantuvieron dentro de rangos aceptables para un sistema académico. Las electroválvulas mostraron buena consistencia, con coeficientes de variación bajos (menos del 12%), lo que valida su confiabilidad para la simulación del proceso. No obstante, se detectó una mayor variabilidad en el sensor de temperatura y en el motor agitador, lo cual pone en evidencia la importancia del filtrado de datos y del acondicionamiento de señales en sistemas de control con sensores analógicos, especialmente cuando se utilizan componentes económicos.

Desde el punto de vista académico, la maqueta desarrollada constituye un valioso recurso de enseñanza-aprendizaje. Su diseño compacto, modular y visualmente comprensible facilita la explicación de conceptos clave de la automatización industrial, como el control por eventos, el uso de diagramas de estado, la programación de PLC y la integración de sistemas de supervisión. Además, al utilizar componentes accesibles y tecnología abierta, se amplía su aplicabilidad en diferentes contextos educativos, permitiendo su réplica o adaptación por parte de otras instituciones.

Cabe destacar que, aunque el enfoque principal fue académico, se respetaron principios fundamentales de la ingeniería de automatización, como la documentación técnica, la representación normalizada de procesos y la validación funcional por etapas. Esto otorga al proyecto una base metodológica sólida, que puede ser utilizada como referencia para futuras

investigaciones o desarrollos orientados a la modernización de microprocesos industriales reales.

Finalmente, el proyecto evidenció algunas limitaciones operativas, principalmente relacionadas con la potencia de las bombas y el sistema de distribución final del producto, las cuales afectaron parcialmente la implementación física completa de la etapa de almacenamiento, limitándola a dos tanques. No obstante, estas restricciones no comprometieron la validez del sistema automatizado ni su lógica de control. Más bien, permiten reflexionar sobre la importancia del dimensionamiento adecuado de los componentes y del diseño en sistemas de automatización real.

En resumen, esta tesis no solo cumplió con los objetivos planteados, sino que también aportó una solución formativa integral, replicable y con potencial de mejora, consolidando una base práctica y conceptual sólida para la enseñanza de la automatización aplicada al sector licorero. Además, proporciona evidencia concreta de que es posible transferir conocimientos complejos de automatización a través de maquetas funcionales bien estructuradas y técnicamente viables.

## 8. Trabajos Futuros

Una de las principales proyecciones consiste en la ampliación de la maqueta para incluir etapas adicionales del proceso industrial licorero, como la fermentación, destilación o envasado, permitiendo representar el ciclo productivo completo del aguardiente. Esto requeriría el diseño de nuevos módulos de control, integración de sensores adicionales y actualización del sistema de supervisión.

También se plantea la posibilidad de optimizar el sistema, reemplazando las conexiones actuales por tuberías más robustas y mejorando la estanqueidad de las válvulas y motobombas. Esto no solo resolvería problemas de fugas detectados durante la implementación, sino que también permitiría operar con mayores caudales y presiones, acercando más el sistema a condiciones industriales reales.

Otra línea relevante sería la implementación de controladores PID para el manejo más preciso de variables como temperatura o caudal, lo cual permitiría introducir técnicas avanzadas de control en el entorno académico. Para ello, sería necesario utilizar sensores con mejor resolución, incorporar módulos de expansión al PLC y ajustar la lógica de programación.

Además, se podría integrar el sistema a una plataforma SCADA profesional, ampliando la capacidad de visualización remota, almacenamiento histórico de datos y generación de reportes de producción. Esto acercaría aún más el proyecto a los estándares de automatización utilizados en la industria 4.0.

## 9. Referencias

- NFPA – National Fire Protection Association. (2018). NFPA 30: Flammable and Combustible Liquids Code. Quincy, Massachusetts, USA: NFPA.
- Alberto Brunete, P. S. (2025). *Introducción a la Automatización Industrial*. [https://bookdown.org/alberto\\_brunete/intro\\_automatica/secuenciales.html](https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/secuenciales.html): Autopublicado.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2015). Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII: Rules for Construction of Pressure Vessels. Nueva York, USA: ASME.
- API – American Petroleum Institute. (2014). API 650 – Welded Tanks for Oil Storage. Washington D.C, USA: American Petroleum Institute.
- Automatismos de Colombia. (2023). *Servicios de automatización industrial*. Obtenido de Automatismos de Colombia: <https://automatismosdecolombia.com.co>
- Boyacá Sie7e Días. (diciembre de 2019). *Nueva Licorera de Boyacá reactivó su planta y alista nuevos productos*. Obtenido de Boyacá Sie7e Días: <https://boyacasietedias.com.co/nueva-licorera-de-boyaca-reactivo-su-planta-y-alista-nuevos-productos/>
- Brunete, A., San Segundo, P., & Herrero, R. (2025). *Introducción a la automatización industrial*. Madrid: Autopublicado en Bookdown.
- Components101. (s.f.). YF-S201- Water Flow Measurement Sensor. Obtenido de [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/YF-S201-Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/YF-S201-Datasheet.pdf)
- Congreso de la República de Colombia. (2016). Ley 1816 de 2016. Por la cual se regula la organización del monopolio rentístico de licores. Bogota, Colombia: Diario Oficial No. 50.093.
- Datasheet HUB. (s.f.). YZC-133 20kg Range Weighing Sensor Load Cell Sensor. Obtenido de <https://datasheethub.com/wp-content/uploads/2022/10/YZC-131A.pdf>
- Dematic. (2023). *How automation solves the biggest challenges in the food and beverage industry*. Obtenido de Dematic: <https://www.dematic.com>

- Destilados Puros. (2023). *La automatización en la producción de bebidas alcohólicas*.  
Obtenido de Destilados Puros: <https://destiladospuros.puntanetwork.com>
- Durán, A. F. (2020). *PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA FÁBRICA DE LICORES DE ANTIOQUIA, ITAGUI - COLOMBIA*. Itagui: Universidad de Pamplona.
- Durán, W., & Tabares, J. (2020). *Propuesta de automatización de planta de producción de aguardiente mediante la representación de procesos con P&ID*. Universidad de Pamplona: <https://repositoriodspace.unipamplona.edu.co>.
- El Espectador. (2023). *Fábricas de licores lideran ventas de aguardiente en Colombia*.  
Obtenido de El Espectador:  
<https://www.elespectador.com/economia/empresas/fabricas-de-licores-lideran-ventas-de-aguardiente-en-colombia/>
- El Tiempo. (2015). *Fábrica de Licores de Antioquia automatiza su producción*.  
Obtenido de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16550055>
- Euroinnova. (2023). *Componentes de la automatización industrial*. Obtenido de Euroinnova Educación: <https://www.euroinnova.com>
- García, L., Martínez, J., & Rodríguez, A. (2020). Impacto de la automatización en la eficiencia de procesos en la industria alimentaria. *Revista Colombiana de Ingeniería Industrial*, 16(2), págs. 45-52.
- García, P., Torres, M., & Bernal, F. (2020). Sostenibilidad energética en procesos automatizados: un enfoque desde la eficiencia productiva. *Revista Latinoamericana de Tecnología*, 12(1), págs. 88-97.
- Gómez, J. (2018). *Metodologías de investigación en ingeniería aplicada*. Ciudad de México: Alfaomega.
- Groover, M. P. (2020). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson Education.
- Hernández, C., Álvarez, R., & Ramírez, D. (2021). Evaluación del nivel de automatización en plantas procesadoras de bebidas alcohólicas en Latinoamérica. *Ingeniería y Sociedad*, 10(1), págs. 25-34.
- Hernández, L., Osorio, C., & Valbuena, R. (2021). Aplicaciones de la automatización en plantas agroindustriales colombianas. *Revista Colombiana de Ingeniería*, 19(2), págs. 45-56.

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill.
- ICONTEC. (2006). NTC 708: Aguardiente anís. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- IMEPI México. (2023). *¿Qué es una Interfaz Humano-Máquina (HMI)?* Obtenido de IMEPI: <https://imepi.com.mx/que-es-una-interfaz-hombre-maquina-hmi/>
- International Electrotechnical Commission (IEC). (2010). IEC 60204-1: Safety of Machinery – Electrical Equipment of Machines. Ginebra, Suiza: IEC.
- International Electrotechnical Commission (IEC). (2010). IEC 60529: Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code). Ginebra, Suiza: IEC.
- International Electrotechnical Commission (IEC). (2010). IEC 61131-3: Programmable Controllers – Part 3: Programming Languages. Ginebra, Suiza: IEC.
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). ISO 13849-1: Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design. Ginebra, Suiza: ISO.
- INVIMA. (2023). Obtenido de Buenas prácticas de manufactura en bebidas alcohólicas: <https://www.invima.gov.co/buenas-practicas-de-manufactura-en-bebidas-alcoholicas>
- ISA – International Society of Automation. (2010). ISA/IEC 61511: Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector. Research Triangle Park, NC, USA: ISA.
- KnowHow Distrelec. (2023). *Automated Solutions in Food and Beverage Manufacturing*. Obtenido de KnowHow Distrelec: <https://knowhow.distrelec.com>
- Lake Shore, Inc. (s.f.). PT-100 Platinum RTDs – Datasheet (Models PT-102, PT-103, PT-111). Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1gpb8Q4D2MF8MsvNq0OzaXiXbOa1VQbGO/view>
- Logicbus. (2024). *¿Qué es HMI?: definición, tendencias y características clave*. Obtenido de Logicbus: <https://www.logicbus.com.mx/blog/que-es-hmi-definicion-tendencias-y-caracteristicas-clave-que-debes-conocer/>
- LovTechnology. (2023). *Automatización industrial: Funcionamiento y aplicaciones de los PLC*. Obtenido de LovTechnology: <https://lovtechnology.com>

- LovTechnology. (2023). *Sensores y Actuadores: La Columna Vertebral de la Automatización Industrial*. Obtenido de LovTechnology: <https://lovtechnology.com/sensores-y-actuadores-la-columna-vertebral-de-la-automatizacion-industrial/>
- Maquetas Didácticas. (2023). *Kits educativos para automatización y control*. Obtenido de Maquetas Didácticas: <https://maquetasdidacticas.com>
- Martínez, A., & Pérez, L. (2019). Problemas operacionales en sistemas semimanuales de producción de licores. *Revista de Ingeniería de Procesos*, 7(1), págs. 33-41.
- MasterPLC. (2022). *¿Qué es un PLC y cómo funciona?* Obtenido de MasterPLC: <https://masterplc.com/automatizacion/controlador-logico-programable/>
- Moreno, A., & García, D. (2020). *Diseño de un tablero didáctico para prácticas de automatización*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).
- Moreno, H., & Cuéllar, D. (2019). Revista Colombiana de Automatización. En *Supervisión y adquisición de datos en procesos industriales con sistemas SCADA* (págs. 45-58). Bogotá: Asociación Colombiana de Automatización y Control.
- Muñoz Vizhñay, R. P., & Benavides Maldonado, R. F. (2004). *Diseño de la automatización del proceso productivo del aguardiente Cantaclaro*. Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Reporte Industrial. (2023). *Tecnología y eficiencia en destilerías modernas*. Obtenido de Reporte Industrial: <https://reporteindustrial.com>
- Rockwell Automation. (2023). *Soluciones integradas para bebidas y alimentos*. Obtenido de Rockwell Automation: <https://www.rockwellautomation.com>
- Rodríguez, J., Pérez, A., & Linares, H. (2021). *Diseño de una maqueta educativa para el control de velocidad de motores DC sin escobillas*. Universidad de Cienfuegos.
- Ruiz, J., & López, C. (2018). Automatización y control de procesos en la industria de bebidas: una revisión técnica. *Revista Técnica de Ingenierías*, 22(3), págs. 78-85.
- Sampieri, R., Collado, C., & Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación: Rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México D.F.: McGraw-Hill Education.
- Sánchez, R., Gómez, M., & Ruiz, E. (2018). *Diseño de maqueta de procesos para formación técnica en instrumentación industrial*. Universidad de León.

- SDI Industrial. (2022). *PLC | ¿Qué es, funcionamiento, uso, tipos, programación?*  
Obtenido de SDI Industrial: <https://sdindustrial.com.mx/blog/que-es-un-plc/>
- Siemens. (abril de 2020). *TIA Portal S7-300 Básico*. Obtenido de Siemens:  
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:cf01a726-b70d-46c9-be97-64ffdd9b302b/version:1586969491/tia-portal-s7-300-basico1.pdf>
- Smart Engineering. (2023). *Simuladores para formación en control industrial*.  
Obtenido de Smart Engineering: <https://smartengineering.cl>
- Telcomplus. (2023). *Controladores lógicos programables (PLC): conceptos básicos, tipos y aplicaciones*. Obtenido de Telcomplus:  
<https://telcomplus.org/controladores-logicos-programables/>
- Torres, S., Jiménez, L., & Rodríguez, M. (2021). Implementación de maquetas didácticas para la enseñanza de sistemas automatizados con PLCs en ingeniería. *Revista Pedagógica de Tecnología*, 15(2), págs. 60-68.
- Transductor.net. (2023). *Tema 7: Sensores y Actuadores Industriales*. Obtenido de Transductor.net: <https://transductor.net/tema-7-sensores-y-actuadores-industriales/>
- Transistores.info. (2024). *Sensores y Actuadores Inteligentes: El Corazón de la Automatización Avanzada*. Obtenido de Transistores.info:  
<https://transistores.info/sensores-y-actuadores-inteligentes-el-corazon-de-la-automatizacion-avanzada/>
- Universidad de Guadalajara. (2017). *Sistemas de Control Secuencial*. Obtenido de Universidad de Guadalajara:  
[https://www.cucei.udg.mx/carreras/mecanica/sites/default/files/ua\\_sistemas\\_de\\_control\\_secuencial.pdf](https://www.cucei.udg.mx/carreras/mecanica/sites/default/files/ua_sistemas_de_control_secuencial.pdf)
- Universidad de Jaén. (2021). *Virtualización de maquetas docentes para prácticas de automatización de sistemas secuenciales*. Obtenido de Crea UJAEN:  
<https://crea.ujaen.es>
- Universidad Politécnica de Baja California. (s.f.). *Control Secuencial*. Obtenido de Universidad Politécnica de Baja California:  
<https://www.upbc.edu.mx/IM/Manuales%20de%20Asignatura/plan%202006/sexto%20cuatrimestre/Control%20secuencial.pdf>
- Vinetur. (2023). *La inteligencia artificial y el futuro de las bebidas alcohólicas*.  
Obtenido de Vinetur: <https://vinetur.com>

## **10. Anexos**

Como anexos complementarios para el libro de Tesis y trabajo realizado se describen a continuación los entregables que serán proporcionados.

1. Archivos de P&ID y GRAFECT en su programa de creación.
2. Circuitos en Proteus simulando el análisis de comportamientos.
3. Planta en 3D creada en Blender 4.4.
4. Códigos en Arduino para la implementación de los circuitos y otros.
5. Programación en Tia Portal, que corresponde al manejo completo de la maqueta para el uso de esta durante todo el proceso de tesis, incluyendo en esta misma la interfaz HMI de la pantalla del PLC Siemens.
6. Programación SCADA para el control y supervisión a distancia.
7. Código Python que complementa con interfaz al SCADA para el monitoreo.
8. Cotización de un presupuesto real del proyecto a nivel industrial echo en Word.
9. Carpeta con todas las imágenes para su correcta visualización.
10. Comparación de Sensores echo en Word.