

**SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN DEL NIVEL DE TANQUES PULMÓN DEL  
ÁREA ANEXA AL ÁREA DE ENVASADO DE LA INDUSTRIA LICORERA DEL  
CAUCA (ILC)**



Universidad  
del Cauca

Monografía de Trabajo de Grado  
Modalidad: Práctica Profesional

Presentado por:

Jose Eduardo Burbano Ante

Director: Ing. Laura Bermúdez Córdoba

Asesor de la empresa: Ing. Juan Manuel Segura

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL  
POPAYÁN, FEBRERO 2024

## Tabla de contenido

### Contenido

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Planteamiento del problema. ....	7
1.2. Marco teórico.....	8
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1. Objetivo general. ....	11
1.3.2. Objetivos específicos.....	11
CAPITULO II: CONCEPTUALIZACIÓN.....	12
2.1. Industria licorera del cauca.....	12
2.1.1. Proceso de producción de aguardiente en la industria licorera del cauca. ....	13
2.2. Desarrollo de la metodología.....	14
2.3. Problemáticas del sistema.....	15
2.4. Fuentes de Información Utilizadas en el Proyecto. ....	17
2.5. Técnicas de Recopilación de Datos .....	17
2.6. Requerimientos del cliente. ....	18
2.6.1. Método de entrevistas aplicado en la industria licorera del cauca. ....	18
2.6.2. Análisis de los datos de las fuentes primarias .....	21
2.6.3. Requerimientos identificados a través de las entrevistas y el análisis documental. ...	22
2.6.4. objetivos del cliente.....	24
2.7. Principios fundamentales aplicados en el diseño de una interfaz HMI de alto rendimiento.....	24
CAPITULO III: INGENIERÍA CONCEPTUAL.....	27
3.1. Etapas de producción de aguardiente en la industria licorera del Cauca.....	27
3.1.1. Etapas del proceso de preparación de aguardiente en la industria licorera del Cauca. ....	28
3.1.2. Proceso de almacenamiento y envasado de aguardiente en la industria licorera del Cauca. ....	30
3.2. P&ID actual de la industria licorera del cauca. ....	31
3.3. Isa 88 aplicada en el proceso de producción de aguardiente de la ILC.....	34

3.3.1. Modelo de proceso. ....	35
3.3.2. Modelo físico.....	37
3.3.3. Modelo de control procedimental.....	39
3.4. Escenarios de Automatización. ....	41
3.5. Descripción del sistema de supervisión.....	42
CAPITULO IV: INGENIERÍA BÁSICA. ....	43
4.1. Propuesta de control para el proceso de almacenamiento de aguardiente para envasar. .....	43
4.2. Propuesta de mejora para proceso de almacenamiento de aguardiente.....	45
4.3. Diagrama P&ID del proceso con las modificaciones.....	47
4.4. Activos existentes.....	49
4.5. Criterios de selección de instrumentos nuevos.....	54
4.5.1. Criterios de selección para la bomba centrífuga.....	54
4.5.2. Criterios de selección para las válvulas solenoides.....	55
4.5.3. Criterios de selección para transmisor de nivel.....	55
4.5.4 Criterios de selección para el transmisor de presión. ....	56
4.5.5. Criterios de selección para la periferia descentralizada.....	56
4.5.6. Criterios de selección para el Switch de comunicaciones.....	57
4.6. Selección de instrumentos nuevos.....	57
4.6.1. Selección de válvulas solenoides.....	58
4.6.2. Selección de Dispositivo para el Monitoreo del Nivel en Tanques de Almacenamiento.....	59
4.6.3. Selección de transmisor de presión para la protección de la bomba.....	62
4.6.4. Selección de bomba centrífuga.....	63
4.6.5. Selección de periferia descentralizada ET 200 eco PN.....	64
4.6.6. Selección switch Scalance x204-2.....	65
CAPITULO V. INGENIERIA DE DETALLE.....	66
5.1. Arquitectura.....	66
5.2 Diagrama de lazo.....	68
5.2.1. Lazo de control de presión tubería.....	69
5.2.2. Lazo de nivel de tanques.....	70

5.2.3. Lazo de control de valvulas solenoides.....	71
5.3. Propuesta de automatización para el sistema de supervisión. ....	72
5.4. Programación en TIA Portal.....	73
5.5. Diseño de la Interfaz HMI de Alto Rendimiento según recomendaciones para el diseño de HMI de alto rendimiento del apartado 2.7.....	76
5.6. Estudio económico para la implementación del sistema de supervisión del área anexa y el área de envasado .....	83
5.6.1. Costos de implementación.....	83
5.6.1.1. Costos de instrumentación y elementos finales de control.....	83
5.6.1.2. Presupuesto de Materiales para la Instalación, Montaje y Arranque. ....	84
5.7. Análisis de costos. ....	85
5.7.1. Análisis de pérdidas económicas.....	85
5.7.2. Inversión y Pérdidas .....	85
5.7.3. Contribución Económica y Expectativas Futuras.....	85
5.7.4. Cálculo del valor neto actual (VAN).....	86
6. Presentación y Difusión del Diseño de Arquitectura y HMI de Alto Rendimiento del Sistema de Supervisión para la industria licorera del cauca.....	88
7. Conclusión.....	89
8.0. Trabajos Futuros en la Industria Licorera del Cauca.....	90
9. Bibliografía.....	91

## índice de figuras.

Figura 1. Diagrama de flujo general de la producción de aguardiente.....	13
Figura 2. Diagrama de flujo de la segunda línea de envasado. ....	14
Figura 3. Etapas y áreas de producción de aguardiente.....	28
Figura 4. Área de almacenamiento (Aguardiente Tradicional).....	32
Figura 5. Área de almacenamiento (Aguardiente Sin Azúcar).....	33
Figura 6. P&ID del área anexa al área de envasado. ....	33
Figura 7. Modelo de proceso. ....	36
Figura 8. Modelo Físico. ....	38
Figura 9. Modelo de control procedimental. ....	40
Figura 10. P&ID Área de almacenamiento con modificaciones (aguardiente tradicional)..	47
Figura 11. P&ID Área de almacenamiento con modificaciones (Aguardiente sin azúcar)..	48
Figura 12. P&ID Área anexa al área de envasado.....	48
Figura 13. P&ID General del área de almacenamiento.....	49
Figura 14. Diseño inicial de la arquitectura del sistema de supervisión.....	66
Figura 15. Diseño final de la arquitectura del sistema de supervisión. ....	68
Figura 16. Lazo presión de la tubería. ....	69
Figura 17. Lazo de nivel de los tanques de almacenamiento. ....	70
Figura 18. Lazo Válvulas solenoides.....	71
Figura 19. Código de encendido y apagado del sistema ....	73
Figura 20. Código de activación manual de válvula por faceplate.....	74
Figura 21. Código de activación del modo automático.....	74
Figura 22. Código de nivel alto del tanque pulmón TK1. ....	75
Figura 23. Código de nivel máximo en el tanque pulmón TK1. ....	75
Figura 24. Pantalla de inicio del sistema de supervisión.....	77
Figura 25. Pantalla de proceso del sistema de supervisión.....	77
Figura 26. Faceplate del sistema de supervisión. ....	78
Figura 27. Indicadores de alarma prioridad 2.....	78
Figura 28. Indicadores de alarma prioridad 1.....	79
Figura 29. Pantalla tendencias del sistema de supervisión.....	80
Figura 30. Pantalla niveles del sistema de supervisión. ....	81
Figura 31. Pantalla de selección de tendencias.....	81
Figura 32. Pantalla de tendencias de los tanques de almacenamiento.....	82
Figura 33. Pantalla de alarmas.....	82

## Índice de tablas.

Tabla 1. Tiempos de parada en la línea de producción por falta de producto. ....	21
Tabla 2. Propuesta de control. ....	45
Tabla 3. Instrumentación del área de almacenamiento. ....	51
Tabla 4. Instrumentación del área anexa al área de envasado. ....	53
Tabla 5. Plc y módulos del área anexa al área de envasado. ....	54
Tabla 6. Opciones de válvulas solenoides. ....	59
Tabla 7. Tipos de sensores en los transmisores de nivel. ....	60
Tabla 8. Opciones de transmisores de nivel ultrasónicos. ....	61
Tabla 9. Especificaciones del transmisor de presión baumer. ....	62
Tabla 10. Opciones de transmisor de presión para la protección de la bomba. ....	63
Tabla 11. Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga. ....	64
Tabla 12. Especificaciones técnicas del Switch Scalance. ....	65
Tabla 13. Elementos del lazo de la presión de la tubería. ....	69
Tabla 14. Elementos del lazo de nivel de los tanques de almacenamiento. ....	70
Tabla 15. Elementos del lazo válvulas solenoides. ....	71
Tabla 16. Costos de instrumentación. ....	84
Tabla 17. Elementos para el presupuesto de materiales. ....	85

# **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.**

## **1.1. Planteamiento del problema.**

En la Industria Licorera del Cauca (ILC), el área de preparación y almacenamiento es responsable de supervisar los tanques de almacenamiento y preparar el licor cuando es necesario. Como parte de las mejoras que se están implementando en la empresa, se han instalado nuevos tanques pulmón en el área anexa al área de envasado, que deben mantenerse llenos de licor para alcanzar la producción diaria establecida.

Sin embargo, el operario encargado de supervisar los tanques pulmón no tiene información sobre el nivel de llenado de los mismos, lo que puede generar retrasos en la producción debido a la falta de producto.

Cuando se presentan problemas de falta de producto, se generan bajas en la producción debido a la imposibilidad de llenar algunas botellas a la medida estándar, lo que conlleva a la destrucción de las tapas para recuperar el producto. Esto se refleja en los documentos internos de procedimiento por baja de elementos. Además, los problemas causados por la falta de producto generan gastos adicionales en horas extras para los trabajadores con el fin de mantener la trazabilidad de la empresa. Todos estos gastos en horas extras son reportados por el área de recursos humanos de la ILC.

Además de los problemas de falta de producto, la ILC enfrenta otro problema relacionado con los nuevos tanques pulmón. La empresa tiene un problema de pérdida de presión en la tubería que alimenta los tanques pulmón en la línea principal de embotellamiento de aguardiente. Este problema debe ser solucionado para evitar mayores consecuencias en la producción.

## **1.2. Marco teórico.**

Con el fin de delimitar el alcance del proyecto y mejorar la comprensión del mismo, se definirán los conceptos fundamentales relacionados con las actividades llevadas a cabo en la ILC en Popayán. Esto incluye los conceptos básicos sobre los procesos de automatización, las características técnicas, las herramientas de desarrollo y el manejo de información necesarios para entender el proyecto. A continuación, se presentan estos conceptos fundamentales que sirvieron como base para el diseño del sistema de supervisión remota.

**1.2.1. Sistema de supervisión:** Un sistema de supervisión es un conjunto de dispositivos interconectados y software que permiten medir y monitorear el comportamiento de un proceso en tiempo real. Estos sistemas son capaces de detectar y diagnosticar posibles fallas, y de tomar decisiones automáticas para corregir el proceso y mantener las condiciones de operación normales. La supervisión puede realizarse de forma local o remota, y los datos recopilados pueden ser visualizados y analizados en tiempo real a través de una interfaz gráfica de usuario.[1]

**1.2.2. Componentes del sistema de supervisión:** En el diseño de un sistema de supervisión para monitorear y controlar procesos industriales, se requieren tres componentes esenciales que forman la base de un sistema de supervisión efectivo. La instrumentación y la adquisición de datos proporcionan información precisa y en tiempo real sobre el proceso, mientras que la Interfaz Hombre-Máquina (HMI) permite a los operadores monitorear y controlar el proceso de manera efectiva. Estos tres componentes trabajan en conjunto para proporcionar una supervisión completa y efectiva de los procesos industriales. [2][3]

**1.2.3. Instrumentación:** La instrumentación es un componente esencial de cualquier sistema de supervisión. Se refiere al conjunto de dispositivos, sensores y equipos de medición utilizados para obtener información sobre el funcionamiento de un proceso o sistema. La instrumentación permite monitorear y controlar diferentes variables, y provee



datos precisos y en tiempo real para la toma de decisiones en el control y supervisión de los procesos.

En el caso de un sistema de supervisión remota para tanques de almacenamiento, la instrumentación es importante para medir el nivel de líquido en los tanques, así como para detectar y monitorear otros parámetros relevantes. La información recopilada por la instrumentación se utiliza para generar alertas y alarmas en caso de desviaciones o situaciones de riesgo, y para tomar medidas preventivas o correctivas en consecuencia. Por lo tanto, la instrumentación es un elemento clave en el diseño de un sistema de supervisión confiable y efectivo para garantizar el correcto funcionamiento y seguridad de los procesos industriales. [4]

**1.2.4. Adquisición de datos:** La adquisición de datos es un proceso que se utiliza para recopilar información de sensores, dispositivos y sistemas de medición, y transformarla en datos digitales que puedan ser analizados y utilizados para la supervisión, el control y la toma de decisiones en un entorno industrial. La adquisición de datos puede ser realizada por hardware y software especializados, que trabajan juntos para capturar los datos, transmitirlos a un sistema de procesamiento central, y convertirlos en información útil.

En términos más específicos, el proceso de adquisición de datos implica la conexión de los dispositivos de medición y sensores a un sistema de acondicionamiento de señales que los prepara para su conversión a una forma digital. Luego, los datos digitales se transmiten a través de una red de comunicaciones, ya sea mediante una conexión cableada o inalámbrica, a un sistema central de procesamiento y almacenamiento. Este sistema central, a su vez, utiliza software especializado para transformar los datos en información útil para el análisis, la supervisión y el control de procesos industriales. [5]

**1.2.5. HMI:** La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es un sistema de hardware y software que permite a los operadores interactuar con una máquina o sistema. La HMI proporciona información visual y de audio que permite a los operadores supervisar el funcionamiento del sistema y tomar decisiones en tiempo real. La HMI también puede proporcionar una

forma de controlar la operación del sistema. La HMI es una parte importante de los sistemas de control automatizados en la industria y se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde el control de procesos químicos hasta la automatización de líneas de producción en la fabricación. Las características de la HMI incluyen la visualización de datos en tiempo real, alarmas y alertas para el operador, capacidades de registro y análisis de datos, y capacidades de control.

En resumen, la HMI es una herramienta para la supervisión y el control de sistemas automatizados y ayuda a los operadores a tomar decisiones informadas en tiempo real mediante la presentación de datos relevantes en una interfaz fácil de usar. [6][7]

**1.2.6. Estándar ISA 101:** Establece pautas para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de pantallas de visualización efectivas en el control de procesos, que sean seguras, eficaces y eficientes en todas las condiciones de funcionamiento. El objetivo de la norma es mejorar la comprensión de los datos del proceso, facilitar la toma de decisiones y reducir los riesgos de error humano, mediante la implementación de buenas prácticas en el diseño de interfaces gráficas de usuario. [8]

**1.2.7. HMI de alto rendimiento:** Una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) de alto rendimiento es aquella que presenta información industrial de forma sencilla y clara, sin elementos de diseño innecesarios. Según la norma ISA-101, esta HMI debe ser intuitiva, eficiente y segura para el usuario, ofreciendo información relevante y actualizada en tiempo real, y permitiendo la interacción a través de diversos dispositivos. Además, una HMI de alto rendimiento debe proporcionar una visualización clara y efectiva de los datos, navegación intuitiva y una presentación cuidadosa de otros elementos de diseño, como el color, tamaño y ubicación, para optimizar la experiencia del usuario. En resumen, un HMI de alto rendimiento se enfoca en mejorar la experiencia del usuario al interactuar con procesos industriales, optimizando el diseño y la funcionalidad para una mayor eficiencia y seguridad. [9][10]

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Proponer el diseño de un sistema de supervisión para los nuevos tanques pulmón de la Industria Licorera del Cauca, que permita conocer en tiempo real el nivel de llenado y garantice la alimentación constante de la línea principal de envasado de aguardiente.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Definir los requerimientos de usuario para el sistema de supervisión remota del área anexa al área de envasado de la Industria Licorera del Cauca.
- Diseñar un sistema de supervisión que permita el monitoreo en tiempo real de los niveles de llenado de los tanques pulmón.
- Elaborar una propuesta económica de la ejecución del proyecto de automatización para la supervisión del área anexa al área de envasado de la Industria Licorera del Cauca.

## **CAPITULO II: CONCEPTUALIZACIÓN**

### **2.1. Industria licorera del cauca.**

La Industria Licorera del Cauca (ILC) es una importante empresa ubicada en la ciudad de Popayán, en el Departamento del Cauca, que se dedica a la producción de licores, como el Aguardiente Caucano Tradicional y sin azúcar, Ginebra Vicker's Gin, Ron Gorgona, Cremas y Escarchados. La compañía contribuye activamente al desarrollo de la educación, la salud y el deporte, convirtiéndose en una empresa socialmente comprometida en la región.

La ILC se divide en las siguientes áreas físicas de producción:

- Área de almacenamiento y preparación de licor.
- Área de cremas y escarchados.
- Área de envasado.
- Área anexa al área de envasado.
- Área de Bodega de productos terminados.

### 2.1.1. Proceso de producción de aguardiente en la industria licorera del cauca.

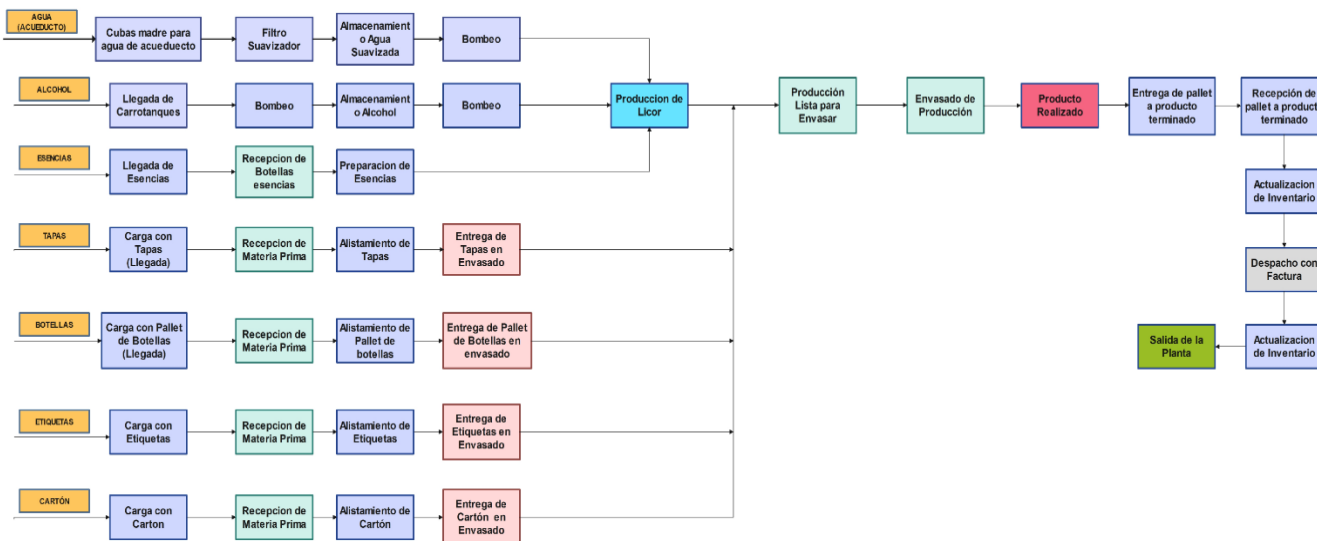


Figura 1. Diagrama de flujo general de la producción de aguardiente.

Fuente: Propia.

En el diagrama de flujo presentado en la **Figura 1**, se pueden visualizar las diferentes etapas que integran el proceso de preparación de aguardiente de la Industria Licorera del Cauca. La imagen muestra el flujo de actividades desde la recepción de las materias primas hasta la obtención del producto final listo para su venta.

En primer lugar, se destaca la etapa inicial de recepción de las materias primas necesarias para el envasado del producto. Estas materias primas son entregadas en el área específica destinada al proceso de envasado.

Una vez que se disponen de todas las materias primas requeridas para la producción del aguardiente, se procede a la etapa de fabricación del licor. Durante esta fase, el licor es producido, reposado y se almacena listo para ser utilizado en las dos líneas de envasado existentes.

En estas líneas de envasado, se lleva a cabo la etapa final del proceso, donde el aguardiente es envasado y sale como producto terminado, preparado y listo para ser comercializado.

Es importante destacar que el diagrama de flujo proporciona una representación visual de las diferentes etapas del proceso de preparación del aguardiente en la Industria Licorera del Cauca, brindando una visión clara y ordenada de las actividades involucradas en la producción del producto final.

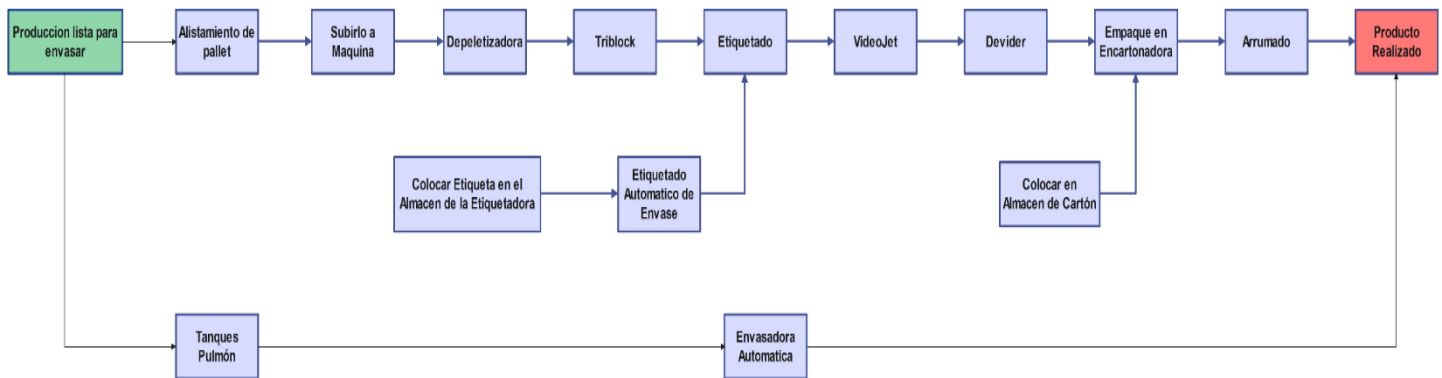


Figura 2. Diagrama de flujo de la segunda línea de envasado.

Fuente: Propia.

La **Figura 2** representa la línea antigua de envasado, en la que parte del proceso es manual. En ella se reflejan todas las actividades realizadas por la línea antigua de producción.

## 2.2. Desarrollo de la metodología.

Durante la pasantía en la empresa ILC, se aplicó la metodología del ciclo de vida de un proyecto de ingeniería, un enfoque estructurado y secuencial ampliamente utilizado en la gestión de proyectos. Esta metodología se empleó específicamente en la fase de diseño, que se subdivide en tres etapas esenciales: ingeniería conceptual, ingeniería básica e ingeniería de detalle. A través de este enfoque, se logró gestionar y desarrollar eficazmente el proyecto. Cada fase se llevó a cabo de manera secuencial, y se realizaron actividades específicas en cada etapa del proyecto, desde su concepción hasta su finalización.

La fase de diseño representa un momento destacable en la metodología del ciclo de vida de un proyecto de ingeniería, ya que en esta etapa se toman decisiones fundamentales que dan forma al proyecto.

Durante la etapa de ingeniería conceptual, se definió el problema a resolver y se establecieron los objetivos del proyecto. Esta etapa desempeñó un papel esencial en la creación de una dirección clara para el proyecto, garantizando que todos los miembros del equipo comprendieran y estuvieran de acuerdo con los objetivos planteados.

En la etapa de ingeniería básica, se realizó una evaluación técnica y económica de las alternativas de solución. Esta etapa fue de vital importancia para seleccionar la mejor opción, considerando diversos factores como costos, plazos, disponibilidad de recursos y riesgos potenciales.

Finalmente, en la fase de ingeniería de detalle, se desarrollaron los planos, cálculos y especificaciones necesarios para la implementación del proyecto. En esta etapa se concentró la mayor parte del trabajo de diseño, y se generaron los documentos esenciales para la construcción del proyecto.

Cada una de estas etapas desempeñó un papel fundamental en el éxito del proyecto de ingeniería. Al seguir esta metodología, se aseguró de que el proyecto se desarrollara de manera eficiente y efectiva, cumpliendo con todos sus objetivos.

### **2.3. Problemáticas del sistema.**

La Industria Licorera del Cauca (ILC) se enfrenta a múltiples desafíos en su proceso de producción, particularmente en las áreas de preparación y almacenamiento, así como en la línea principal de embotellamiento de aguardiente. Estos desafíos tienen un impacto significativo en la empresa, que incluye retrasos en la producción, deterioro de productos y un aumento en los costos operativos. A continuación, analizaremos las causas de estos problemas identificados.

En la actualidad, la ILC se encuentra en una fase de renovación gracias al contrato 051 de 2021, que implica la modernización del área de envasado. En el área de preparación y almacenamiento, el personal supervisa los tanques de almacenamiento y prepara el licor según sea necesario. Como parte de las mejoras implementadas, se han instalado tres nuevos tanques pulmón en el área adyacente al área de envasado. Estos tanques, que se

alimentan desde el área de preparación y almacenamiento a una distancia de 120 metros, deben mantenerse llenos de licor para cumplir con la producción diaria establecida.

En primer lugar, se ha identificado un problema relacionado con la falta de suministro de producto en los nuevos tanques pulmón de la ILC. A pesar de las mejoras implementadas, el operario a cargo carece de información sobre el nivel de llenado de estos tanques, lo que puede ocasionar demoras en la producción debido a la escasez de producto. Esta insuficiencia de producto resulta en una disminución en la producción, ya que no se pueden llenar algunas botellas según las medidas estándar. Como consecuencia, se ven obligados a desechar las tapas para recuperar el producto que no se llenó completamente, lo cual queda reflejado en los registros internos de procedimientos por pérdida de elementos. Además, la falta de producto genera gastos adicionales en horas extras para los trabajadores, con el propósito de garantizar la trazabilidad de la empresa.

El segundo problema identificado se relaciona con la disminución de la presión en la tubería que alimenta los tanques pulmón en la línea principal de embotellamiento de aguardiente. Este inconveniente se debe a tres factores interrelacionados. En primer lugar, la tubería utilizada para el transporte del aguardiente es estrecha, lo que dificulta el flujo del líquido y genera una resistencia que reduce la presión. En segundo lugar, cuando el nivel de líquido en los tanques de almacenamiento disminuye, también lo hace la presión del flujo, lo que requiere una producción adicional de aguardiente para mantener los tanques en un nivel adecuado y preservar la presión requerida. Esta práctica no solo resulta ineficiente, sino que también afecta negativamente la calidad del producto y aumenta los costos de producción. Por último, la distancia que debe recorrer el aguardiente desde su origen hasta los tanques pulmón también contribuye a la disminución de la presión, debido a la pérdida de energía del líquido provocada por la fricción y otras fuerzas presentes a lo largo del recorrido.



## 2.4. Fuentes de Información Utilizadas en el Proyecto.

El proyecto se basó en una sólida recopilación de información de fuentes primarias, que proporcionaron una visión profunda de la problemática que afecta a la Industria Licorera del Cauca (ILC) en su proceso de producción de aguardiente. Las fuentes primarias de información se dividieron en tres áreas clave:

- **Área de Envasado:** Los documentos proporcionados por el área de envasado jugaron un papel fundamental en el análisis de los problemas identificados en la ILC. Estos documentos arrojaron luz sobre las operaciones relacionadas con el envasado de aguardiente y las dificultades encontradas en este proceso.
- **Área de Control de Calidad:** La información provista por el área de control de calidad fue necesaria para comprender las repercusiones de la problemática en la calidad de los productos de la ILC. Esto incluyó detalles sobre procedimientos de control de calidad y los resultados de las evaluaciones de calidad.
- **Área de Recursos Humanos:** Los documentos proporcionados por el área de recursos humanos brindaron información valiosa sobre los costos operativos y el impacto de la problemática en la carga laboral de la empresa. Esto fue esencial para evaluar el aspecto financiero y de recursos humanos del problema.

## 2.5. Técnicas de Recopilación de Datos

Para recopilar y analizar la información necesaria, se implementaron dos técnicas de recopilación de datos:

- **Entrevistas Semiestructuradas:** Durante la fase de investigación, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con el personal directamente involucrado en los problemas que afectan a la ILC. Estas entrevistas proporcionaron una comprensión en profundidad de las preocupaciones y perspectivas de los empleados, lo que permitió una visión más completa de la situación.

- **Análisis Documental:** Se realizó un análisis detallado de los documentos recopilados de las fuentes primarias. Este enfoque permitió una evaluación minuciosa de la documentación proporcionada, lo que contribuyó a identificar las causas y consecuencias de los problemas que enfrenta la ILC en su proceso de producción de aguardiente.

En conjunto, estas fuentes primarias y técnicas de recopilación de datos proporcionaron una base sólida para la investigación, análisis y comprensión de los desafíos que enfrenta la ILC en su proceso de producción de aguardiente.

## **2.6. Requerimientos del cliente.**

La obtención de requerimientos del cliente fue un paso en el proceso de desarrollo del sistema de supervisión para la Industria Licorera del Cauca (ILC). Estos requerimientos se derivaron de un enfoque integral que involucró la realización de entrevistas semiestructuradas con el personal clave de ILC. Además, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de documentos y registros proporcionados por el área de envasado, el área de control de calidad y el área de recursos humanos. Esta combinación de métodos permitió una comprensión profunda de las necesidades y desafíos específicos de la ILC y aseguró que el sistema de supervisión a desarrollar esté alineado con las expectativas y desafíos reales de la empresa.

### **2.6.1. Método de entrevistas aplicado en la industria licorera del cauca.**

Este apartado se centra en el proceso de obtención de los requerimientos del cliente, en este caso, la Industria Licorera del Cauca (ILC). El objetivo primordial es comprender las necesidades, desafíos y problemáticas específicas que la ILC enfrenta en su proceso de producción de aguardiente. Para llevar a cabo este proceso, se empleó una metodología basada en entrevistas semiestructuradas. A continuación, se detallan las etapas clave de esta metodología:

- **Reunión con el asesor de la empresa:** Se inició el proceso con una reunión clave con el asesor de la ILC. Esta reunión desempeñó un papel crucial para establecer los objetivos de las entrevistas y comprender a fondo el problema que la empresa estaba experimentando. La participación activa del asesor brindó una visión experta de la situación.
  
- **Identificación de los participantes:** En conjunto con el asesor de la empresa se identificaron a las personas necesarias para llevar a cabo las entrevistas. Se seleccionaron a los encargados de las áreas relevantes para el problema, con el objetivo de conocer las problemáticas que experimentaban en sus respectivas áreas de trabajo.
  
- **Preparación de la entrevista:** Se prepararon las preguntas y se estableció un guion a seguir en las entrevistas. Las preguntas estuvieron enfocadas en conocer los problemas específicos que presentaba cada área y las posibles soluciones que se podrían implementar. Las entrevistas fueron semiestructuradas y se permitió cierta flexibilidad en la formulación de las preguntas para adaptarse a la respuesta de los entrevistados. Además, se garantizó la confidencialidad de la información proporcionada por los participantes y se obtuvo su consentimiento informado antes de la realización de las entrevistas. Algunas de estas preguntas fueron las siguientes:
  - a. ¿Cómo se informa el área de preparación y almacenamiento de licor sobre el nivel de los tanques pulmón?
  
  - b. ¿Cómo se lleva a cabo la comunicación entre su área y otras áreas del proceso de producción?
  
  - c. ¿Cuáles son los mayores desafíos que enfrentan en su trabajo diario?
  
  - d. ¿Qué tipo de problemas o fallas han experimentado con los equipos o procesos en su área y cómo han solucionado estos problemas?

- e. ¿Cómo se aseguran de que se cumplan los estándares de calidad en su área de trabajo?
  - f. ¿Qué recomendaciones tendrían para mejorar los procesos en su área de trabajo?
  - g. ¿Cómo se resuelven los problemas o conflictos que surgen en su área de trabajo?
  - h. ¿Qué protocolos de seguridad se implementan en su área de trabajo?
- **Realización de las entrevistas:** Se realizaron las entrevistas con los encargados de las áreas identificadas previamente. Las entrevistas se llevaron a cabo en un ambiente cómodo y privado para que los entrevistados se sintieran cómodos y pudieran expresarse libremente.
  - **Análisis de los resultados de las entrevistas:** Finalmente, se realizó un análisis exhaustivo de los resultados de las entrevistas. Esto implicó la identificación de patrones y problemáticas comunes en las áreas encuestadas. A partir de este análisis, se lograron determinar los requerimientos del usuario para el sistema de supervisión, basados en las necesidades y desafíos específicos identificados durante las entrevistas.

Este proceso de entrevistas permitió una comprensión profunda de las necesidades y desafíos de la ILC, lo que servirá como base fundamental para el diseño de un sistema de supervisión efectivo y orientado a la resolución de las problemáticas identificadas en su proceso de producción de aguardiente.

## 2.6.2. Análisis de los datos de las fuentes primarias

**Documentación del área de envasado:** El Área de Envasado gestiona un documento denominado "Formato de Control de Paradas en la Línea Filling Systems (FOMA 41)". Este formato incluye varios ítems para identificar las causas de las paradas en la línea de producción. Al analizar el ítem número 18, se puede observar todas las horas perdidas en la ILC debido a la inactividad de la producción causada por la falta de producto. A continuación, se presenta una tabla resumiendo las paradas generadas en la línea debido a la falta de producto.

<b>Tiempo (Min) de parada por meses según FOMA 41 en la numeral falta de producto.</b>						
	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
<b>Enero</b>	0	155	0	0	0	0
<b>Febrero</b>	85	125	0	0	0	0
<b>Marzo</b>	148	140	0	0	0	0
<b>Abril</b>	0	322	199	0	0	345
<b>Mayo</b>	78	190	0	0	0	1150
<b>Junio</b>	255	160	551	282	0	100
<b>Julio</b>	1015	110	30	734	0	223
<b>Agosto</b>	396	0	0	386	230	0
<b>Septiembre</b>	195	0	845	0	208	126
<b>Octubre</b>	169	0	400	432	685	0
<b>Noviembre</b>	413	0	648	609	0	217
<b>Diciembre</b>	416	300	0	0	0	0

*Tabla 1. Tiempos de parada en la línea de producción por falta de producto.*

*Fuente: Industria licorera del cauca.*

**Documentación del área de control de calidad:** El área de Control de Calidad proporcionó una documentación importante para nuestra recopilación de información, en

particular el "Procedimiento Interno por Baja de Elementos". Este procedimiento detalla todos los elementos que son retirados por daños durante la etapa de envasado en la línea de producción. Nos enfocamos específicamente en la pérdida de tapas, que se relaciona con el problema de la falta de producto. Este documento arrojó luz sobre uno de los problemas fundamentales asociados con esta problemática.

**Documentación del área de recursos humanos:** El área de Recursos Humanos nos facilitó los documentos llamados "Costos Fabriles", los cuales reflejan los costos de producción de los productos de la ILC. A través de esta documentación, pudimos identificar cómo los costos de horas extras aumentan para compensar los tiempos perdidos debido a la falta de producto, asegurando así que se cumpla con la producción diaria establecida por la ILC.

### **2.6.3. Requerimientos identificados a través de las entrevistas y el análisis documental.**

Los requerimientos identificados a través de las entrevistas realizadas y el análisis exhaustivo de la documentación fueron fundamentales para el diseño del sistema de supervisión en la Industria Licorera del Cauca (ILC). Estos requisitos, extraídos directamente de las voces y perspectivas de los profesionales involucrados en el proceso de producción de aguardiente, abordan las necesidades críticas de la ILC en términos de comunicación, monitoreo, información y eficiencia:

- **Requerimiento 1. Mejorar la comunicación entre las áreas que intervienen en el proceso:** Una de las principales preocupaciones identificadas en las entrevistas fue la falta de comunicación efectiva entre las áreas que participan en el proceso de producción. Por tanto, uno de los requerimientos clave para el sistema de supervisión es mejorar la comunicación y el intercambio de información entre estas áreas. La solución debe facilitar una comunicación fluida y oportuna, permitiendo a las áreas trabajar de manera más sincronizada y coordinada.

- **Requerimiento 2. Monitoreo del nivel de los tanques pulmón:** Un aspecto necesario para garantizar la eficiencia del proceso de producción de aguardiente es el seguimiento constante del nivel de los tanques pulmón. Los entrevistados enfatizaron la importancia de contar con información actualizada y precisa sobre este parámetro. Por lo tanto, el sistema debe estar diseñado para proporcionar esta información en tiempo real y de manera accesible, permitiendo a los operarios tomar decisiones fundamentadas para mantener un flujo de producción constante y evitar situaciones de escasez o exceso.
- **Requerimiento 3. Información clara sobre la preparación del aguardiente:** Los operarios y responsables del proceso necesitan comprender de manera rápida y sencilla si deben preparar aguardiente sin azúcar o tradicional. La claridad en esta información es fundamental para evitar errores y garantizar la producción de aguardiente conforme a los estándares requeridos. Por lo tanto, el sistema debe ser capaz de proporcionar esta información de manera fácilmente comprensible y de manera actualizada.
- **Requerimiento 4. Proporcionar información sobre el estado de los lotes:** Los entrevistados destacaron la importancia de saber si los lotes de aguardiente están listos para ser depositados en los tanques pulmón. Este aspecto es importante para garantizar la eficiencia y la calidad del proceso, evitando retrasos innecesarios. Por lo tanto, el sistema debe permitir un seguimiento detallado y actualizado del estado de los lotes, proporcionando a los operarios la información necesaria para la toma de decisiones informadas.
- **Requerimiento 5. Solucionar la disminución de la presión del flujo:** La disminución de la presión del flujo de aguardiente, causada por la reducción del nivel de líquido en los tanques de almacenamiento, fue identificada como un problema en las entrevistas. Para mantener una producción constante y eficiente, se debe abordar esta disminución de la presión de manera efectiva. Por lo tanto, el sistema de supervisión debe incluir una solución que permita evitar este problema y,

en consecuencia, mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de producción de aguardiente.

Estos requerimientos, identificados de manera rigurosa a través de un enfoque participativo, son la base sobre la cual se desarrollará el sistema de supervisión de la ILC. Abordan los desafíos específicos que enfrenta la industria, y al cumplir con estas necesidades, el sistema se convertirá en una herramienta esencial para optimizar la eficiencia, la calidad y la comunicación en el proceso de producción de aguardiente de la ILC."

#### **2.6.4. objetivos del cliente.**

- Obtener la información en tiempo real
- Evitar la pérdida de presión
- Llenado constante de los tanques pulmón

#### **2.7. Principios fundamentales aplicados en el diseño de una interfaz HMI de alto rendimiento.**

La implementación de una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) de alto rendimiento resulta fundamental debido a varios motivos clave. En primer lugar, esta interfaz actúa como el punto de interacción principal entre el operario y el sistema de supervisión. Un HMI de alto rendimiento ofrece una experiencia de usuario más eficiente y amigable, lo que facilita la comprensión y el control de los procesos automatizados. Además, un HMI de alto rendimiento está diseñado para ofrecer una visualización clara y detallada de los datos y el funcionamiento del sistema. Esto permite que el personal de la Industria Licorera del Cauca tenga acceso a información importante de manera rápida y precisa, lo que resulta fundamental para la toma de decisiones informadas y la supervisión efectiva de los procesos de producción. Otro aspecto esencial es la capacidad de un HMI de alto rendimiento para adaptarse a las necesidades específicas de la empresa. Al ser altamente configurable, puede ajustarse para mostrar la información relevante de manera personalizada, optimizando así la eficiencia operativa y facilitando la identificación rápida de posibles problemas o anomalías en el sistema.



En resumen, la implementación de un HMI de alto rendimiento es necesario debido a su capacidad para mejorar la experiencia del usuario, proporcionar una visualización detallada y adaptable de los procesos automatizados, y permitir una toma de decisiones más ágil y precisa dentro de la Industria Licorera del Cauca.

Siguiendo las directrices de diseño proporcionadas en el libro "High Performance HMI Handbook", se presentan algunas pautas que se emplearon para desarrollar las pantallas HMI de alto rendimiento.

**Color de fondo:** El consejo de usar fondos oscuros o claros para lograr un buen contraste en las pantallas ha sido puesto en duda. Aunque este consejo era válido en el pasado debido a limitaciones técnicas, se ha descubierto que no es la única solución. Los contrastes fuertes en fondos oscuros pueden ser incómodos para los ojos y causar fatiga visual. Ahora se sugiere que un fondo de color gris claro puede resolver mejores problemas como el deslumbramiento, el contraste, la interferencia de color y la fatiga ocular. Este enfoque busca imitar la legibilidad de los documentos impresos y se recomienda en ambientes bien iluminados, evitando el uso de pantallas brillantes sobre fondos oscuros.

**Líneas de proceso:** Algunas recomendaciones para las líneas del proceso a la hora de diseñar un HMI de alto rendimiento fueron las siguientes:

- Utilizar un tono oscuro, como el gris o el negro, para las líneas de proceso.
- En lugar del color, se utiliza el grosor para denotar su importancia.
- Las líneas principales del proceso deben tener un ancho de 3 píxeles, mientras que las secundarias deben ser de 1 píxel. Se sugiere utilizar flechas con moderación para indicar la dirección del flujo en las líneas principales.

**Recipiente de procesos:** En el pasado, se tendía a crear gráficos detallados y realistas de los recipientes, en 3D, con una gran cantidad de detalles estáticos. Sin embargo, esta práctica puede ser contraproducente.

- Se sugiere representar los recipientes en 2 dimensiones, evitando la visualización en 3D.
- Para el interior del recipiente, se recomienda utilizar un sombreado uniforme, sin gradientes, que se iguale al color del fondo.
- Es aconsejable trazar el contorno del recipiente con una línea fina en tonos oscuros, como el negro o el gris profundo.
- La forma representativa del recipiente debe ser mostrada, aunque evitando demasiados detalles.

**Prioridades de alarmas:** En la gestión de alarmas, se recomienda un sistema de prioridades de tres niveles para las alarmas de proceso, junto con una cuarta prioridad para alarmas de diagnóstico. Se aconseja usar colores específicos para cada nivel de prioridad: rojo para la prioridad más alta, amarillo para la siguiente, naranja para la tercera y magenta para las alarmas de diagnóstico. Además, se insta a realizar pruebas para garantizar la visibilidad adecuada de los colores en el hardware de visualización.

**Representación de equipos dinámicos:** Es fundamental presentar de manera precisa el estado actual de equipos con múltiples estados operativos. En lugar de basarse en el color, la representación debe centrarse en elementos como el nivel de llenado, la forma o incluso información textual simple. Un ejemplo de malas prácticas es poner color verde para indicar encendido o abierto y rojo para indicar apagado o cerrado.

**Navegación:** El apartado de navegación enfatiza la importancia de ofrecer múltiples métodos de navegación dentro del sistema. Los operadores deben poder subir y bajar a

través de la jerarquía, de lado a lado a lo largo del proceso y acceder a detalles relacionados, tendencias y visualizaciones de estado de parada desde cualquier figura.

Se resalta la configuración del sistema y los gráficos para evitar que el operador necesite escribir el nombre de una pantalla o gráfico. Los usuarios de mantenimiento e ingeniería deben tener la capacidad de acceder a cualquier gráfico sin conocer la jerarquía específica; esto podría incluir un menú general o la entrada directa de nombres de gráficos mostrados o impresos junto a la representación gráfica. Además, se menciona el uso de teclas programables las cuales se asignan para llamar a ciertas visualizaciones o combinaciones de ellas. Estas teclas deben estar organizadas de forma lógica y coincidir con la jerarquía de la Interfaz Hombre-Máquina (HMI, por sus siglas en inglés). Se propone que cada visualización de Nivel 2 tenga una tecla dedicada, y las visualizaciones de Nivel 3 y 4 más utilizadas tengan las teclas restantes.

## **CAPITULO III: INGENIERÍA CONCEPTUAL.**

### **3.1. Etapas de producción de aguardiente en la industria licorera del Cauca.**

La producción de aguardiente en la Industria Licorera del Cauca se compone de diversas etapas fundamentales que garantizan la calidad y eficiencia del proceso. Estas etapas incluyen la preparación y almacenamiento del licor, así como la línea principal de embotellamiento de aguardiente. A través de una secuencia de procesos interconectados, se crea el renombrado Aguardiente Caucano Tradicional y sin azúcar, un producto icónico que refleja la destreza y compromiso de esta industria. En esta sección, se describirán en detalle las diferentes etapas involucradas en la producción de aguardiente, ofreciendo una visión completa del proceso en la siguiente **Figura 3**, y sus desafíos asociados.

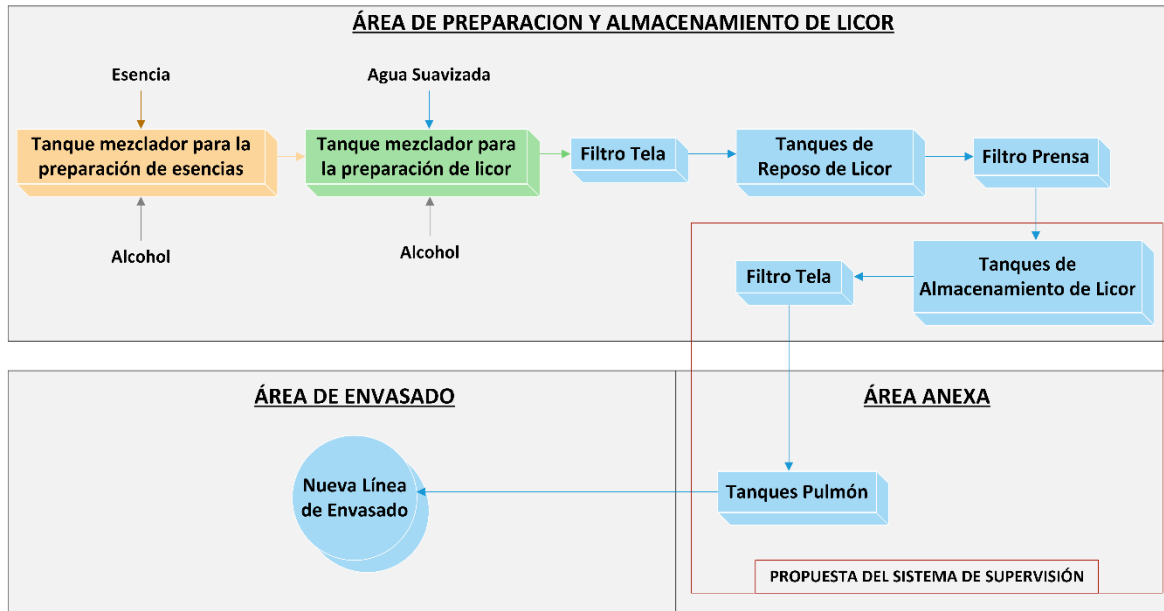


Figura 3. Etapas y áreas de producción de aguardiente.

Fuente: Propia.

### 3.1.1. Etapas del proceso de preparación de aguardiente en la industria licorera del Cauca.

En esta sección, se detallan las etapas que componen el proceso de preparación del aguardiente en la Industria Licorera del Cauca.

- Etapa de Preparación de Esencias:** Dentro de la fase de preparación de aguardiente, la Etapa de Preparación de Esencias desempeña un papel esencial. En esta etapa, se realiza la creación de las esencias necesarias para la posterior producción de aguardiente. La elección de la esencia adecuada es un paso crítico, ya que se debe seleccionar cuidadosamente según el tipo de aguardiente que se va a producir, ya sea el tradicional o la variedad sin azúcar.

Este proceso implica la combinación precisa de alcohol con la esencia elegida, buscando lograr la concentración y el sabor requeridos para el producto final. La Etapa de Preparación de Esencias es un paso decisivo en la producción de aguardiente, ya que influye directamente en las características y cualidades del

producto terminado, garantizando que cumpla con los estándares de calidad y sabor deseados.

- **Etapa de Preparación del Licor:** La Etapa de Preparación del Licor es una parte fundamental en el proceso de fabricación del aguardiente. En esta etapa, se lleva a cabo una meticulosa combinación de todos los ingredientes necesarios para crear el sabor y aroma característicos que identifican al producto final. Cada uno de los componentes se elige y dosifica con precisión para asegurar la calidad y consistencia requerida en el aguardiente.

Una vez que todos los ingredientes han sido cuidadosamente mezclados, se procede a agitar la mezcla de manera minuciosa, asegurando así una perfecta integración de los componentes. Este paso es importante para lograr un resultado homogéneo, donde cada elemento contribuye al sabor y las características distintivas del aguardiente. La Etapa de Preparación del Licor es esencial para mantener la calidad y el sabor del producto final, lo que lo hace inconfundible y apreciado por los consumidores.

- **Etapa Filtro Tela:** La Etapa de Filtro Tela juega un papel importante en el proceso de producción del aguardiente, ya que se encarga de garantizar la pureza y la calidad del producto final. En esta etapa, el aguardiente pasa por un minucioso proceso de filtrado con un filtro de tela especial diseñado para retener impurezas y partículas no deseadas. A través de un sistema de bombeo, el aguardiente se hace pasar uniformemente a través de esta tela de filtrado.

Este proceso de filtrado es fundamental para obtener un aguardiente claro y limpio, eliminando cualquier contaminante que pueda afectar su sabor y calidad. Además, asegura que el producto cumpla con los estándares de calidad exigidos.

- **Etapa de Reposo del Licor:** Después de la meticulosa mezcla de ingredientes y el proceso de filtrado, el aguardiente se traslada a tanques especiales donde se somete a una fase de reposo que abarca un mínimo de dos horas. Durante este período, se

permite que los sabores y aromas se integren de manera uniforme, lo que es esencial para obtener un aguardiente con una calidad y sabor óptimos.

El paso de reposo es importante para garantizar que el aguardiente tenga un perfil de sabor equilibrado y homogéneo, contribuyendo así a su distintivo y apreciado sabor.

### **3.1.2. Proceso de almacenamiento y envasado de aguardiente en la industria licorera del Cauca.**

Este apartado describe las etapas que integran el proceso de almacenamiento y envasado del aguardiente una vez que las etapas anteriores de su preparación han concluido.

- **Etapa Filtro Prensa:** La Etapa de Filtro Prensa, que forma parte del proceso de almacenamiento y envasado del aguardiente, consiste en un sistema de filtrado más eficiente que garantiza la pureza del aguardiente antes de su envasado. Aquí se utiliza un filtro prensa diseñado para eliminar cualquier impureza sólida que pueda estar presente en el aguardiente. Este proceso se realiza aplicando presión y haciendo uso de una tela filtrante.

La Etapa de Filtro Prensa asegura que el aguardiente alcance la calidad deseada, garantizando que esté completamente libre de impurezas sólidas antes de ser embotellado.

- **Etapa de Almacenamiento de Licor:** Después de completar las etapas de preparación y reposo, el aguardiente se almacena en tanques especialmente diseñados para su posterior procesamiento. En esta etapa, se realizan pruebas de degustación y análisis químicos para verificar que el producto final cumple con los rigurosos estándares de calidad y seguridad establecidos por la empresa.

El almacenamiento es importante para garantizar que el aguardiente mantenga su calidad y características distintivas antes de ser envasado y distribuido.

- **Etapa de Transferencia a los Tanques Pulmón:** La Etapa de Transferencia a los Tanques Pulmón implica el traslado del aguardiente desde los tanques de almacenamiento hasta los tanques pulmón en la zona adyacente al área de envasado. Este proceso se realiza mediante un sistema de tuberías y luego se utiliza la gravedad para impulsar el aguardiente a su destino.

Los tanques pulmón son una parte vital del proceso de almacenamiento, ya que actúan como depósitos temporales que mantienen un flujo de producción constante y estable. Durante la transferencia, se toman precauciones para garantizar la calidad del producto y prevenir la contaminación.

Una vez que el aguardiente se almacena en los tanques pulmón, está listo para ser utilizado en la siguiente etapa: el envasado industrial.

- **Etapa de Envasado Industrial:** Una vez que el aguardiente ha pasado por todas las etapas de producción y se ha verificado su calidad, llega el momento del envasado industrial. En esta etapa, el aguardiente es embotellado y empacado de forma automática para su distribución y venta.

### **3.2. P&ID actual de la industria licorera del cauca.**

La **Figura 4** ofrece una visión general de los tanques de almacenamiento utilizados para resguardar el aguardiente tradicional en las instalaciones de la empresa. Es importante destacar que, en esta representación, se pueden distinguir tanques específicos marcados con puntos rojos. Estos tanques identificados con dichos puntos rojos han permanecido fuera de servicio durante un periodo considerable, extendiéndose a lo largo de cinco años. La prolongada inactividad de estos tanques plantea importantes consideraciones en relación con la capacidad de almacenamiento y la eficiente gestión de recursos de la empresa.

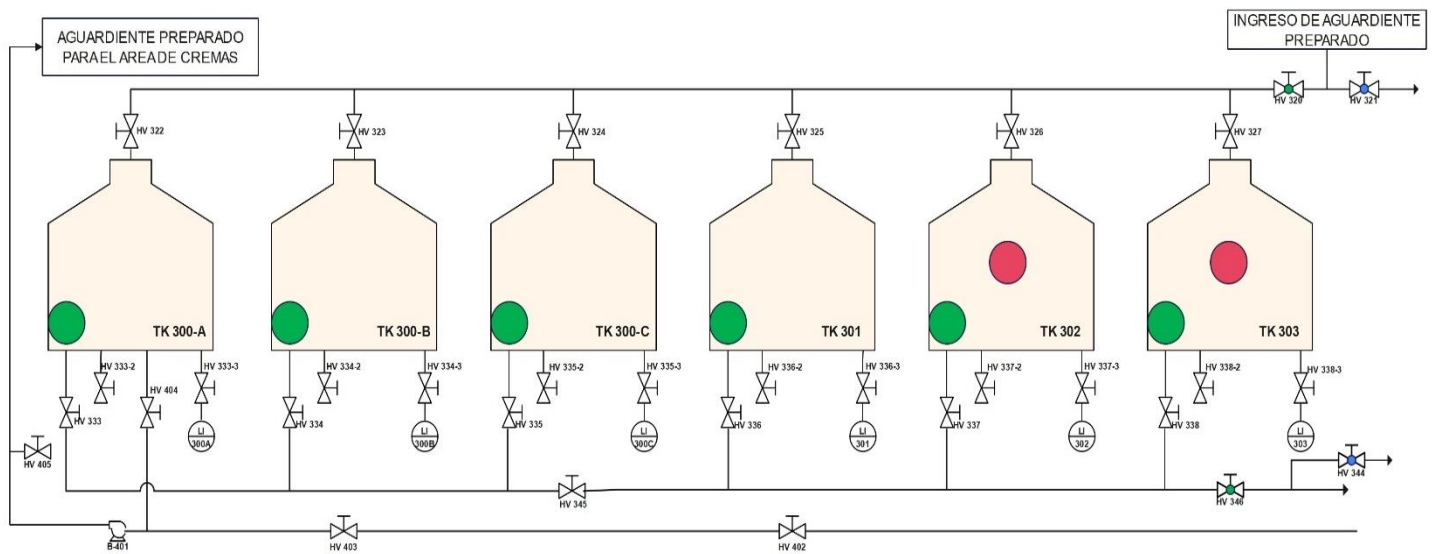


Figura 4. Área de almacenamiento (Aguardiente Tradicional).

Fuente: Propia.

Adicionalmente, los puntos verdes en la ilustración indican los tanques en que actualmente contienen el aguardiente tradicional. Este contraste entre los tanques operativos y aquellos que se encuentran fuera de servicio es necesaria para comprender la dinámica de almacenamiento en la empresa y subraya la relevancia de mantener un inventario funcional para asegurar la continuidad de la producción y una gestión eficaz de los recursos.

La **Figura 5** ofrece una visión general de los tanques dedicados al almacenamiento del aguardiente sin azúcar en las instalaciones de la empresa. En esta representación, se destaca un tanque específico marcado con un punto rojo, el cual ha permanecido fuera de servicio durante un extenso período, precisamente cinco años. Esta prolongada inactividad plantea consideraciones significativas sobre la capacidad de almacenamiento y la gestión de recursos en el entorno de producción.

Además, para mayor claridad, se ha identificado que los puntos azules en la ilustración representan los tanques que actualmente contienen aguardiente sin azúcar. Esta distinción resalta la diferencia entre los tanques operativos y aquellos que se encuentran fuera de servicio, enfatizando la importancia de mantener un inventario funcional para asegurar la



continuidad de la producción y una gestión eficiente de los recursos, especialmente en términos del aguardiente sin azúcar.

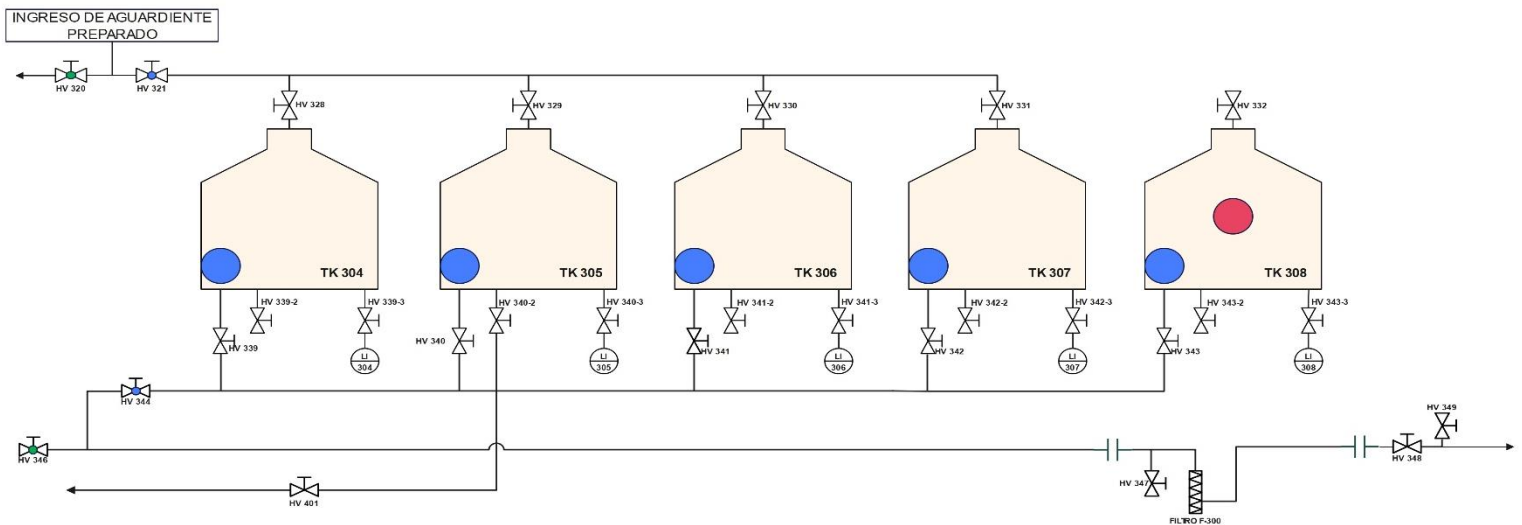


Figura 5. P&ID Área de almacenamiento (Aguardiente Sin Azúcar).  
Fuente: Propia.

En la **Figura 6**, se presenta una representación gráfica de los innovadores tanques pulmón que han sido incorporados en el proceso de producción. Estos tanques pulmón están destinados a suministrar aguardiente a la nueva línea de envasado totalmente automatizada, marcando un avance significativo en las operaciones de la empresa.

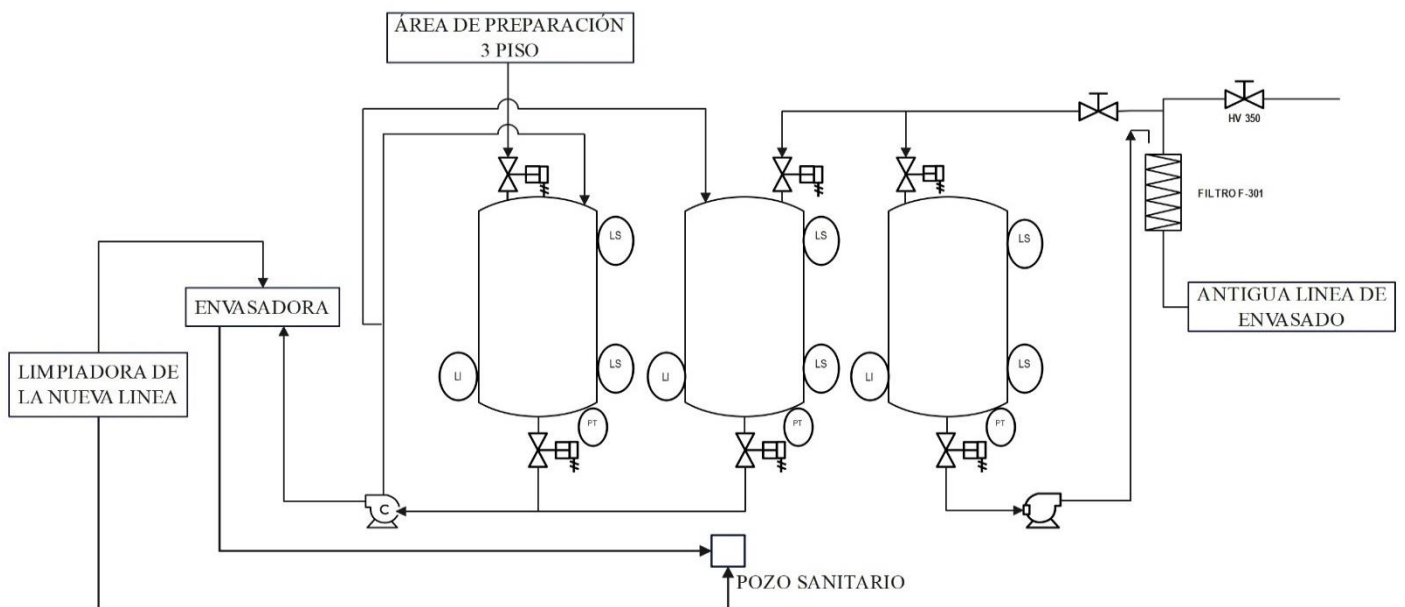


Figura 6. P&ID del área anexa al área de envasado.  
Fuente: Propia.

Un aspecto relevante a destacar es que estos tanques pulmón se conectan y alimentan desde los tanques de almacenamiento previamente mencionados en la **Figura 4 y 5**. Esta integración de sistemas es esencial para garantizar la fluidez en la cadena de producción. Así, el aguardiente fluye desde los tanques de almacenamiento tradicional y sin azúcar, los cuales son fundamentales para mantener el suministro constante de materia prima para la línea de envasado. En consecuencia, este proceso es una parte crítica de la implementación de la nueva línea de envasado automatizada y su contribución a la eficiencia y productividad de la empresa.

### **3.3. Isa 88 aplicada en el proceso de producción de aguardiente de la ILC.**

La ISA-88 es una norma internacional que proporciona un marco para la automatización de procesos industriales por lotes. Esta norma define tres modelos principales que son esenciales para el diseño de un sistema de automatización eficaz: el modelo de proceso, el modelo físico y el modelo procedimental.

La Norma ISA-88, representa un conjunto integral de pautas y recomendaciones a nivel internacional para la automatización de procesos industriales basados en lotes. Esta norma no es solo una referencia global, sino también un pilar fundamental en la Industria Licorera del Cauca (ILC) para el diseño y operación de sistemas de automatización eficaces en su proceso de producción de aguardiente.

El Modelo de Proceso, uno de los componentes fundamentales delineados por la ISA-88, adquiere un rol importante en la ILC. Aquí, se define de manera detallada cómo funciona el proceso industrial de producción de aguardiente en lotes. Desde las secuencias de operaciones hasta las transiciones entre estados y las lógicas de control que guían el proceso a través de sus diferentes fases, este modelo proporciona una visión integral y estructurada de la operación de la ILC. Esto contribuye de manera significativa a una gestión más efectiva, precisa y coherente de su proceso de producción.

El Modelo Físico, otro componente esencial de la ISA-88, se centra en la representación de los recursos físicos involucrados en la producción de aguardiente. Esto incluye la maquinaria, los equipos, los tanques de almacenamiento y otros elementos tangibles que

son esenciales en la operación diaria de la ILC. La definición rigurosa del modelo físico es de gran importancia, ya que proporciona una comprensión profunda de cómo estos componentes reales interactúan con el proceso. Esto, a su vez, permite una planificación y operación más eficiente en la ILC, contribuyendo directamente a la calidad y eficacia de su producción.

El tercer componente, el Modelo Procedimental, también es importante para la ILC. Este modelo se encarga de establecer las secuencias de procedimientos y operaciones que deben seguirse para llevar a cabo la producción de aguardiente por lotes. Define de manera clara las etapas y pasos que deben ser seguidos, desde la preparación hasta el cierre de cada lote. Estas pautas detalladas aseguran que las operaciones en la ILC se realicen de manera coherente y siguiendo los estándares de calidad y seguridad establecidos, lo que es esencial en la producción de aguardiente de alta calidad.

La Norma ISA-88, por lo tanto, se integra directamente en la operación de la ILC, proporcionando un marco estructurado que engloba el modelo de proceso, el modelo físico y el modelo procedimental. En conjunto, estos componentes permiten una gestión y operación más efectiva y segura del proceso de producción de aguardiente en lotes, garantizando una mayor eficiencia y calidad en el resultado final.

### **3.3.1. Modelo de proceso.**

El Modelo de Proceso, plasmado en la **Figura 7**, es una representación visual que desglosa minuciosamente la secuencia de etapas necesarias para llevar a cabo la producción de aguardiente en la Industria Licorera del Cauca (ILC). Este modelo es mucho más que un simple esquema, ya que no solo esboza la estructura del proceso, sino que también detalla en profundidad las actividades cruciales que tienen lugar en cada una de estas etapas.

Cada etapa, meticulosamente delineada en el modelo de proceso, desempeña un papel específico en la transformación del alcohol y otros ingredientes en el deseado aguardiente final. Desde la preparación de esencias hasta el almacenamiento y envasado, se muestra de manera concisa cómo se encadenan estas etapas y cómo fluyen las operaciones.

Pero el Modelo de Proceso no se limita a trazar estas actividades. Va más allá al identificar las relaciones cruciales entre las etapas. Esto implica que no se trata simplemente de una lista de tareas independientes, sino de una interconexión significativa entre ellas. La efectividad y la calidad del producto final dependen de cómo se gestionan y sincronizan estas etapas.

Esta representación visual del proceso no es solo una ilustración. Es una herramienta invaluable en el diseño de un sistema de control efectivo. Al comprender claramente la secuencia y las relaciones, es posible implementar estrategias de control que aseguren la producción de aguardiente de alta calidad de manera constante. Esto incluye la monitorización, regulación y coordinación de cada etapa para garantizar que los productos cumplan con los estándares de calidad y seguridad de la ILC. En última instancia, este Modelo de Proceso es un pilar en la búsqueda de la excelencia en la producción de aguardiente por parte de la ILC.

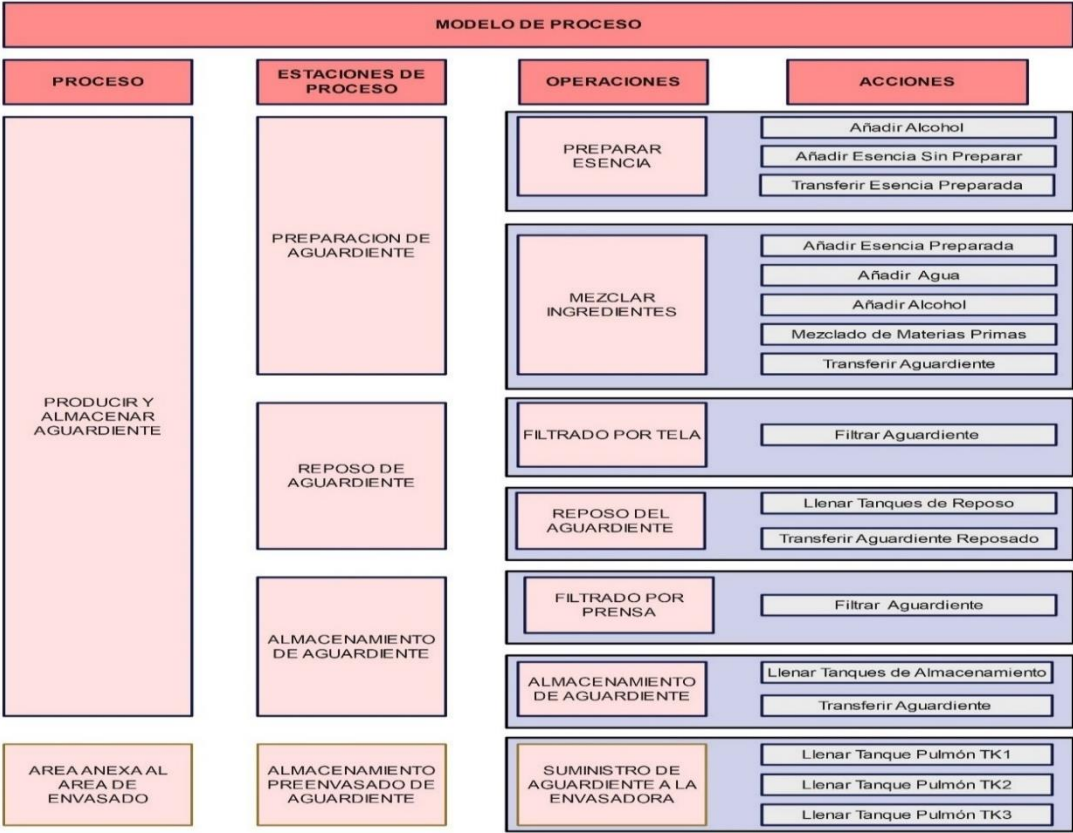


Figura 7. Modelo de proceso.

Fuente: Propia.

### **3.3.2. Modelo físico.**

La **Figura 8** presenta el Modelo Físico, una representación gráfica detallada de la configuración física de todos los equipos involucrados en el proceso de producción de aguardiente en la Industria Licorera del Cauca (ILC). Este modelo es una pieza esencial en el diseño de cualquier sistema eficiente, ya que proporciona una comprensión exhaustiva de cómo están dispuestos físicamente los componentes de este proceso.

En este modelo, cada equipo, tanque, válvulas y sistema de transporte se representa de manera precisa, lo que incluye su ubicación relativa en el espacio de producción. Esto resulta fundamental para la optimización de la operación, ya que permite visualizar con claridad cómo interactúan los componentes reales. Los flujos de materiales y productos entre los diferentes puntos del proceso se tornan evidentes, lo que es esencial para el diseño de un sistema eficaz.

Dicho de otro modo, el Modelo Físico es el puente entre la teoría y la práctica en la producción de aguardiente en la ILC. Si bien los modelos anteriores, como el Modelo de Proceso, describen las etapas y las actividades, el Modelo Físico lleva esta representación un paso más allá. Permite al personal de la ILC ver el proceso desde una perspectiva física y tangible.

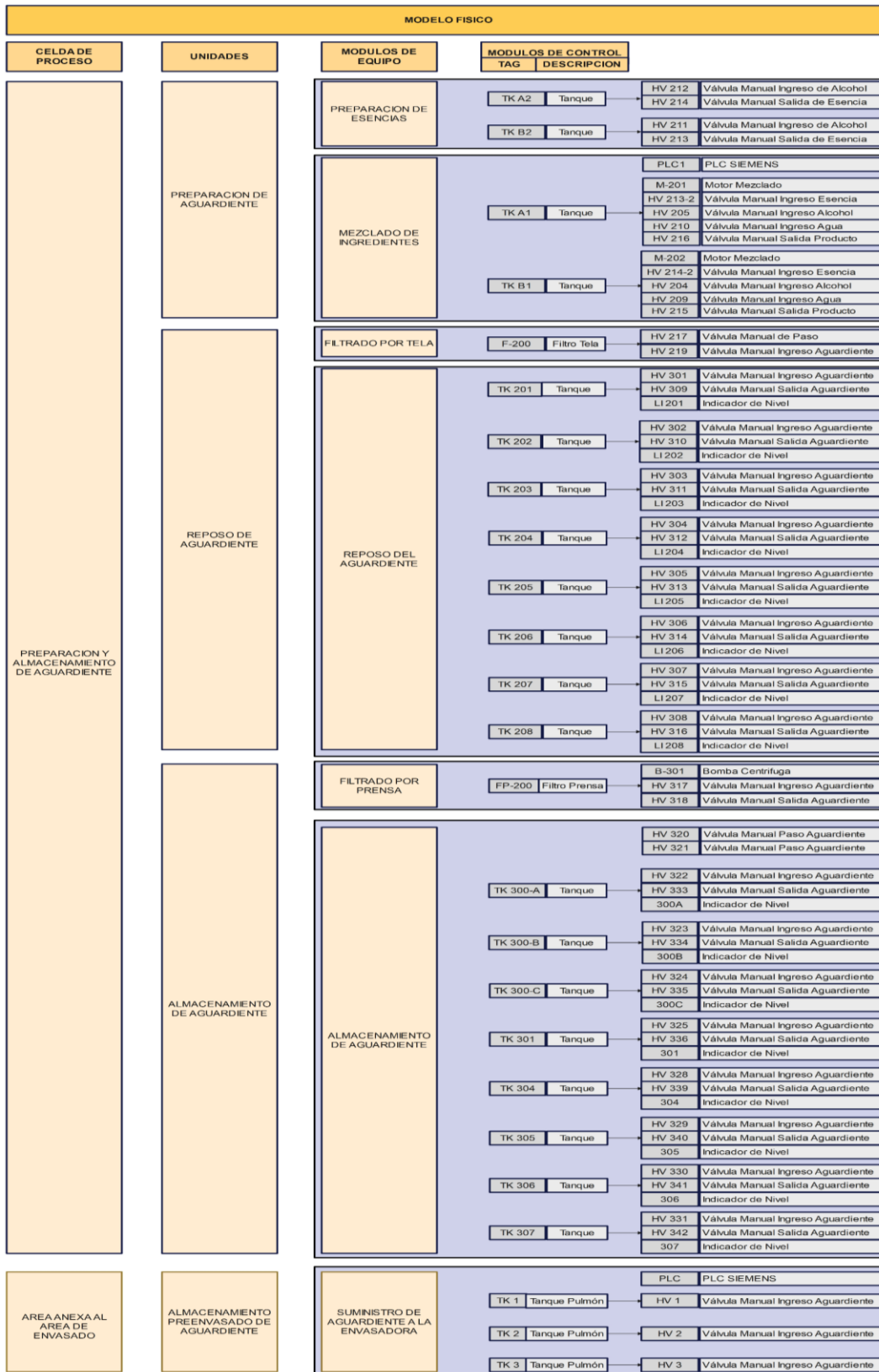


Figura 8. Modelo Físico.

Fuente: Propia.

### **3.3.3. Modelo de control procedimental.**

La **Figura 9** presenta el Modelo Procedimental, una representación visual que detalla los pasos y procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de producción de aguardiente en la Industria Licorera del Cauca (ILC). Este modelo es esencial para garantizar que cada etapa del proceso se realice de manera segura, eficiente y conforme a los estándares de calidad establecidos.

En este modelo, cada paso está claramente definido, incluyendo las actividades, el orden en que deben realizarse y las interacciones entre ellas. Se establecen pautas operativas precisas que deben seguirse en cada etapa, desde la preparación inicial hasta el envasado final del aguardiente. Esto asegura una ejecución coherente de las tareas y minimiza el margen de error, contribuyendo así a la calidad del producto final.

El Modelo Procedimental sirve como una hoja de ruta para el personal de la ILC, proporcionándoles instrucciones detalladas sobre cómo llevar a cabo cada paso del proceso. Esto es especialmente importante en un entorno de producción de aguardiente, donde la seguridad, la calidad y la eficiencia son prioritarias.

En resumen, el Modelo Procedimental es una guía esencial para el diseño de sistemas que aseguren la calidad y la productividad del proceso de producción de aguardiente en la ILC. Proporciona un marco detallado que garantiza que cada paso se realice de manera coherente y eficiente, lo cual es fundamental para cumplir con los estándares de calidad y seguridad de la empresa.

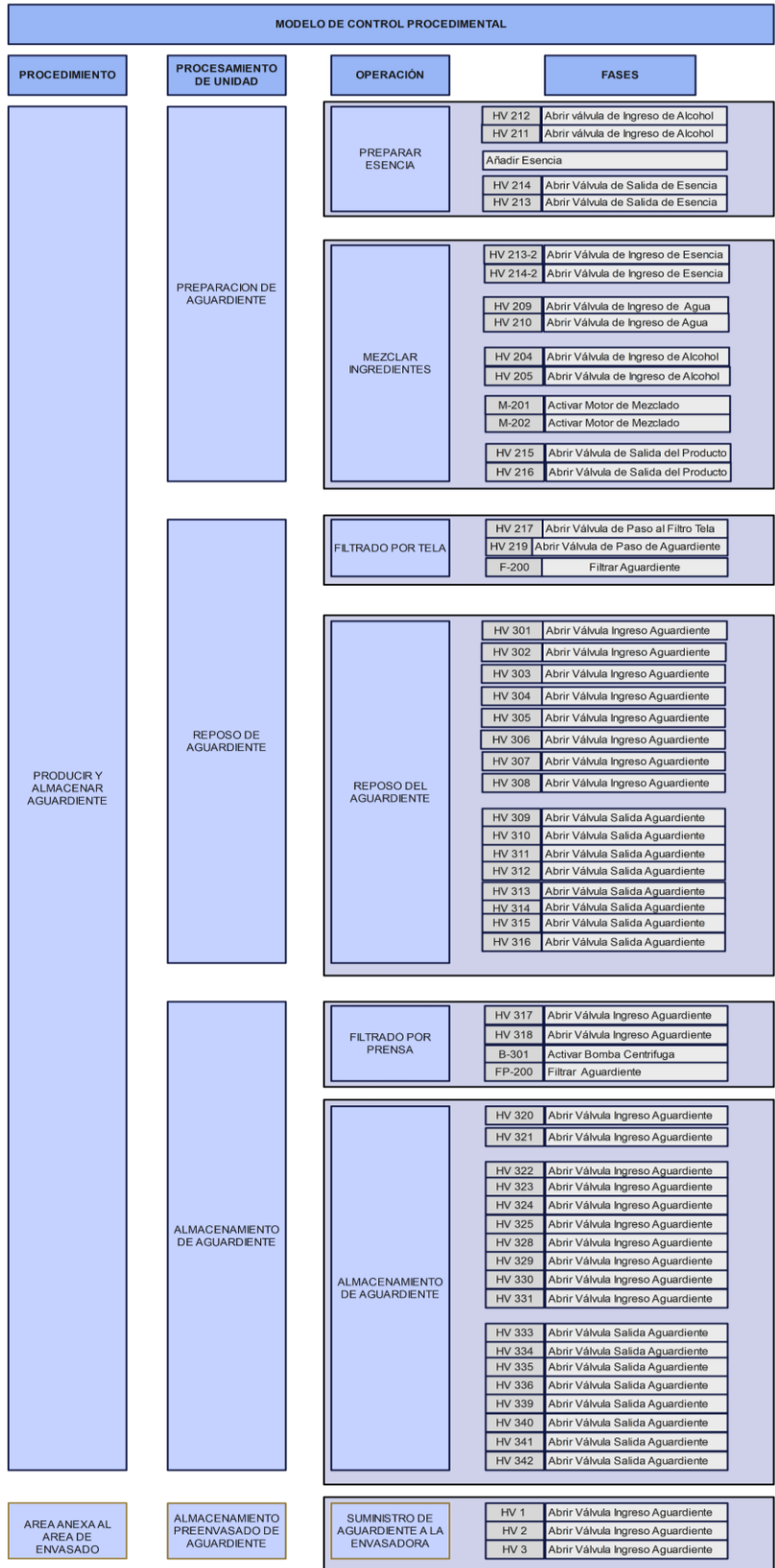


Figura 9. Modelo de control procedimental.

Fuente: Propia.



### **3.4. Escenarios de Automatización.**

Escenario de automatización: **PLC**

En la Industria Licorera del Cauca (ILC), el escenario de automatización actual es PLC. Gran parte de las actividades relacionadas con el proceso de producción de aguardiente se realizan de forma manual por el personal a cargo del área de producción. Estas actividades incluyen la carga de ingredientes, el mezclado de los componentes, el llenado de los tanques de almacenamiento y parte del proceso de envasado.

A pesar de esta predominancia de operaciones manuales, se han identificado dos puntos en el modelo físico del proceso donde se utilizan controladores lógicos programables (PLC) para funciones específicas. En primer lugar, en el módulo de mezclado de ingredientes, se encuentra un PLC identificado con el tag PLC1. Este PLC es operado manualmente por los operarios para facilitar la entrada de los ingredientes del aguardiente en las proporciones correctas y para controlar los motores de mezclado, garantizando así la adecuada mezcla de los componentes. En segundo lugar, en el módulo de suministro de aguardiente, también se utiliza un PLC, identificado con el tag PLC. Este PLC se emplea para el accionamiento de las válvulas neumáticas encargadas del llenado de los tanques pulmón, aunque actualmente estas funciones son llevadas a cabo de manera manual por parte del operario.

Dado que los PLC de la ILC son operados manualmente, se considera que el escenario de automatización predominante en la industria es de tipo PLC. A pesar de la existencia de PLC's en ciertas partes del proceso, gran parte de las actividades se llevan a cabo de forma manual, lo que puede afectar la eficiencia y la consistencia en la producción.

Por lo tanto, es esencial considerar la posibilidad de transitar hacia una mayor automatización en busca de una producción más eficiente y precisa en la Industria Licorera del Cauca.

### **3.5. Descripción del sistema de supervisión.**

El sistema de supervisión se ha concebido en respuesta a una necesidad imperante, obtener información actualizada y de fácil acceso en áreas remotas. Su funcionalidad primordial radica en proporcionar datos en tiempo real sobre el nivel de los tanques pulmón, y también abarca otras funciones críticas para garantizar la eficiencia en el proceso industrial. Entre estas funciones críticas se encuentra el control de las válvulas que gestionan el paso de aguardiente con azúcar y aguardiente tradicional. Además, supervisa la operación de la motobomba encargada de trasladar dicho aguardiente a los tanques pulmón. También se extiende a la vigilancia en tiempo real de los tanques de almacenamiento, tanto para aguardiente con azúcar como sin azúcar, y supervisa el flujo que ingresa a la motobomba.

En sintonía con la búsqueda de una comunicación eficaz, el sistema de supervisión se conecta con el área remota a través de una conexión Ethernet. Esta conexión resulta clave ya que permite que los operarios en el área de almacenamiento accedan de manera oportuna a los datos fundamentales para cumplir su función de manera óptima dentro del proceso.

Aprovechando al máximo la tecnología Ethernet, el sistema de supervisión logra establecer una conexión segura y altamente confiable entre las áreas involucradas. A través de esta interconexión, los operarios pueden acceder a información actualizada sobre el nivel de los tanques pulmón en tiempo real. Esto se traduce en una supervisión efectiva y eficiente del suministro de aguardiente, evitando así situaciones perjudiciales como la escasez o el exceso de producto en los tanques pulmón.

En resumen, el sistema de supervisión se posiciona como una solución integral para la obtención de información en tiempo real en áreas remotas de la Industria Licorera del Cauca. Su conexión Ethernet brinda a los operarios en el área de almacenamiento acceso a datos críticos, en especial el nivel de los tanques pulmón, lo que, en última instancia, asegura un funcionamiento fluido y altamente eficiente en el proceso industrial.

## CAPITULO IV: INGENIERÍA BÁSICA.

### 4.1. Propuesta de control para el proceso de almacenamiento de aguardiente para envasar.

En la tabla 2 se describe el escenario de automatización propuesto donde también se definen las variables controladas y las variables manipuladas dando un contexto sobre el sistema de supervisión

<b>ESCENARIO DE AUTOMATIZACIÓN</b>	Controlador lógico programable (PLC).
<b>VARIABLE CONTROLADA</b>	<b>Nivel de los tanques de almacenamiento de aguardiente con azúcar y sin azúcar:</b> Los sensores de presión detectan el nivel de los tanques de almacenamiento, activando las válvulas solenoides correspondientes para iniciar la transferencia cuando el nivel este en el requerido para iniciar.  <b>Nivel de aguardiente en los tanques pulmón:</b> Los sensores de presión y detectan el nivel de aguardiente en los tanques de almacenamiento del área anexa, y actúan sobre las válvulas neumáticas para regular el flujo de llenado y evitar desbordamientos o niveles inadecuados.
<b>VARIABLE MANIPULADA</b>	<b>Apertura de las válvulas solenoides:</b> Se ajusta la apertura de las válvulas solenoides que permiten el vaciado de los tanques de almacenamiento de aguardiente (con azúcar o sin azúcar) cuando están llenos.

	<p><b>Activación de la bomba centrífuga:</b> Se manipula el estado de la bomba centrífuga que impulsa el aguardiente hacia los tanques pulmón.</p>
<p><b>ESQUEMA DE CONTROL</b></p>	<p>El sistema de control implementado es del tipo ON-OFF, el cual supervisa el llenado de los tanques de almacenamiento tanto para el aguardiente con azúcar como para el aguardiente sin azúcar. Cuando el sensor de presión en los tanques detecta que se encuentran en su capacidad máxima de llenado o a un nivel establecido que permita el vaciado de los tanques de almacenamiento, envían una señal al PLC (Controlador Lógico Programable), indicando que los tanques están Disponibles para vaciarse.</p> <p>Una vez que todos los tanques están llenos o en el rango de operación establecido, el sistema activa las válvulas correspondientes para permitir que el aguardiente continúe su camino hacia la bomba centrífuga. Antes de llegar a la bomba centrífuga, se encuentra un transmisor de presión, cuya función es detectar la presencia del líquido y enviar una señal que activa o desactiva la bomba centrífuga.</p> <p>Luego, en el área anexa las válvulas neumáticas que permiten el ingreso de aguardiente a los tanques pulmón son activadas y controladas según el nivel de llenado de los tanques pulmón</p>

	<p>Este esquema de control garantiza que los tanques de almacenamiento y los tanques pulmón no se sobrecarguen y que la bomba centrífuga solo se active cuando hay líquido presente, evitando posibles daños en el proceso. Además, el uso de sensores y el PLC proporcionan una automatización eficiente y precisa del proceso de llenado y suministro de aguardiente.</p>
--	---

*Tabla 2. Propuesta de control.*

*Fuente: Propia.*

#### **4.2. Propuesta de mejora para proceso de almacenamiento de aguardiente.**

A continuación, se presenta una propuesta de mejora para el área de almacenamiento y envasado, detallando en qué consiste esta propuesta de mejora mediante el sistema de supervisión.

- 1. Reemplazo de válvulas manuales por válvulas solenoides:** Se sustituirán 2 válvulas manuales las cuales corresponden al tag HV 346 y HV 344 por válvulas solenoides. Estas válvulas solenoides serán controladas según las necesidades del proceso.
  
- 2. Adición de una válvula solenoide de paso de aguardiente:** Se incorporará una válvula de paso adicional para controlar el flujo de aguardiente en esta etapa. Esta válvula de paso será controlada desde el sistema de supervisión y permitirá ajustar el flujo de aguardiente hacia la bomba centrífuga que impulsa el aguardiente hacia los tanques pulmón según las necesidades del proceso.
  
- 3. Adición de transmisores de nivel:** Se instalará un transmisor de nivel en cada uno de los ocho tanques destinados al almacenamiento de aguardiente. Estos transmisores estarán configurados para detectar cuando los tanques alcancen su capacidad máxima y, además,

para monitorear el nivel actual de los tanques, alertando cuando estén a punto de vaciarse. En el momento en que detecten que los tanques están llenos o próximos a vaciarse, enviarán una señal al PLC para indicar el estado del nivel y completar el proceso de llenado o notificar que se requiere reabastecimiento.

**4. Instalación de una bomba centrífuga:** Se añadirá una bomba centrífuga para impulsar el aguardiente desde su ubicación actual hasta los tanques pulmón. Esta bomba centrífuga será activada y controlada automáticamente por el sistema de supervisión para asegurar un flujo constante y eficiente del aguardiente hacia los tanques pulmón.

**5. Instalación de un transmisor de presión:** Se instalará un transmisor de presión en la tubería conectada a la bomba centrífuga. Este transmisor tendrá la función de salvaguardar la bomba en casos de ausencia de flujo o presión insuficiente del aguardiente. Asimismo, su responsabilidad será autorizar el funcionamiento de la bomba, asegurando un flujo continuo de aguardiente hacia la bomba centrífuga.

**6. Integración con el sistema de supervisión:** Las válvulas solenoides, el transmisor de flujo, los transmisores de nivel y la bomba centrífuga se conectarán al sistema de supervisión por medio de una periferia de siemens. Esto permitirá monitorear y controlar su funcionamiento a través de la interfaz del sistema de supervisión, lo que brindará información en tiempo real sobre el estado de los transmisores, válvulas y la bomba, y permitirá realizar ajustes y seguimiento de su operación de manera remota.

**7. Implementación de alarmas y notificaciones:** El sistema de supervisión estará equipado con alarmas y notificaciones para alertar al personal de operación en caso de situaciones anormales, como fallos en las válvulas o en la bomba, desviaciones en los flujos de aguardiente, o cualquier otro evento que requiera atención inmediata.

**8. Registro de datos y generación de informes:** El sistema de supervisión registrará y almacenará datos relacionados con el funcionamiento de las válvulas solenoides, transmisor de flujo y la bomba centrífuga. Estos datos permitirán realizar análisis posteriores y generar

informes para evaluar el rendimiento y la eficiencia de la transferencia de aguardiente a los tanques pulmón.

9. Integración con el sistema de control automatizado: El sistema de supervisión estará integrado con el sistema de control automatizado de la planta, lo que permitirá una coordinación más eficiente y sincronizada de las operaciones. Estas mejoras en la etapa de transferencia a los tanques pulmón, junto con la inclusión del sistema de supervisión, brindarán un mayor control, monitoreo y eficiencia en el proceso de transferencia de aguardiente. Además, permitirán una gestión más precisa y efectiva de los componentes involucrados, asegurando un flujo continuo y seguro del aguardiente hacia los tanques pulmón.

#### 4.3. Diagrama P&ID del proceso con las modificaciones.

En la **Figura 10**, se observa la supresión de los tanques identificados con el tag **TK 302** y **TK 303**, los cuales se encuentran fuera de servicio, junto con las modificaciones detalladas en la sección 4.2. (1,2 y 3). Estos ajustes están resaltados con círculos de color rojo para facilitar su identificación visual.

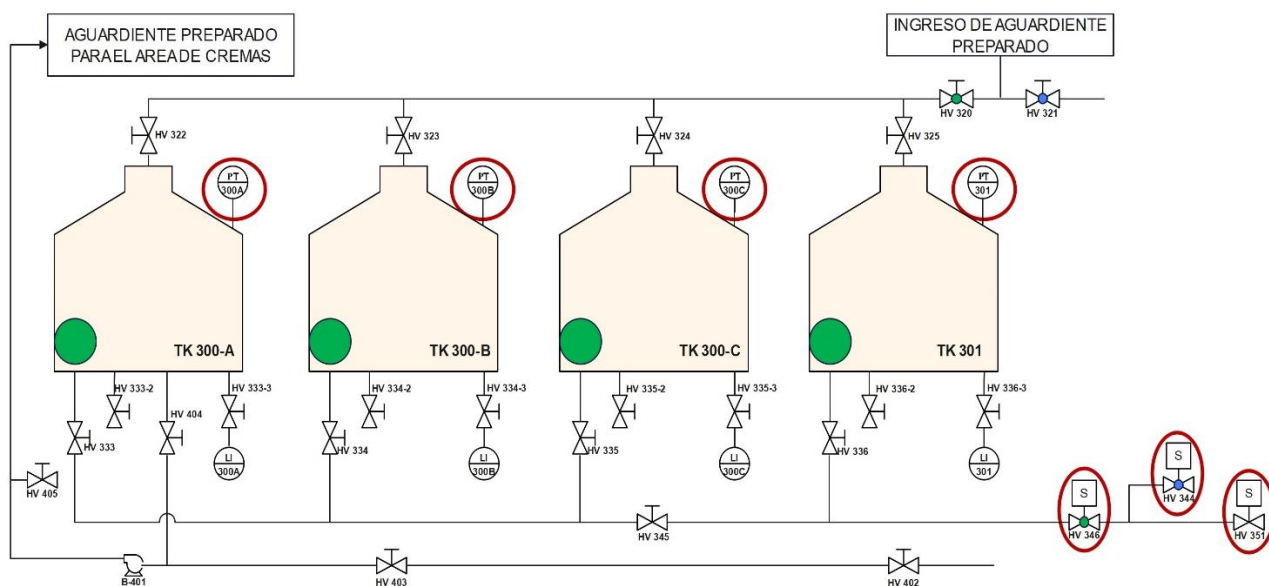


Figura 10. P&ID Área de almacenamiento con modificaciones (aguardiente tradicional).

Fuente: Propia.

En la **Figura 11**, se observa la eliminación del tanque de tag TK 308, que está fuera de servicio, así como los cambios descritos en la sección 4.2 en los apartados (1,2,3,4 y 5). Estos ajustes están seleccionados en círculos rojos para mejorar su interpretación.

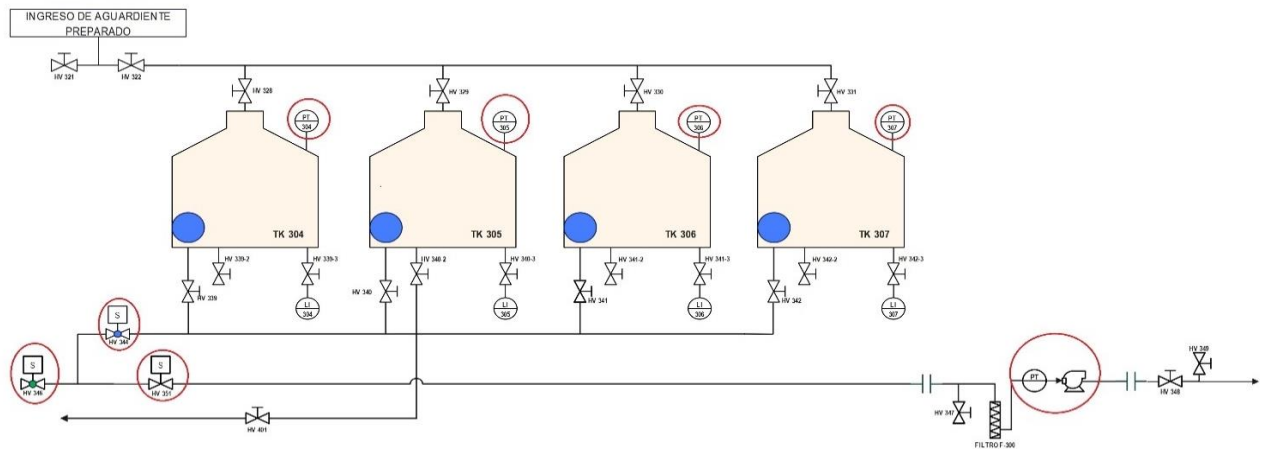


Figura 11. P&ID Área de almacenamiento con modificaciones (Aguardiente sin azúcar).

Fuente: Propia.

En la **Figura 12** se muestra el P&ID del área contigua al sector de envasado, la cual se mantiene sin ninguna modificación. Cabe de resaltar que los dispositivos e instrumentación aun no cuentan con tags asignados por la empresa por lo que se precede a asignarles tags.

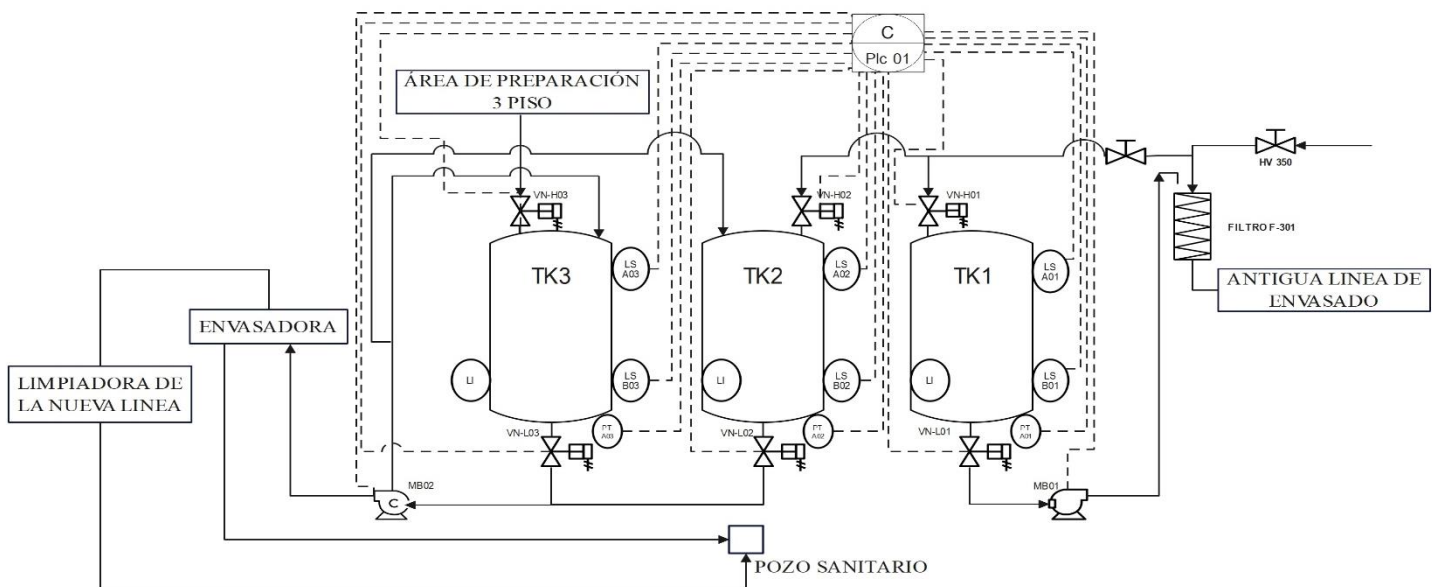


Figura 12. P&ID Área anexa al área de envasado.

Fuente: Propia.



A continuación, se muestra el P&ID en vista general del área de almacenamiento.

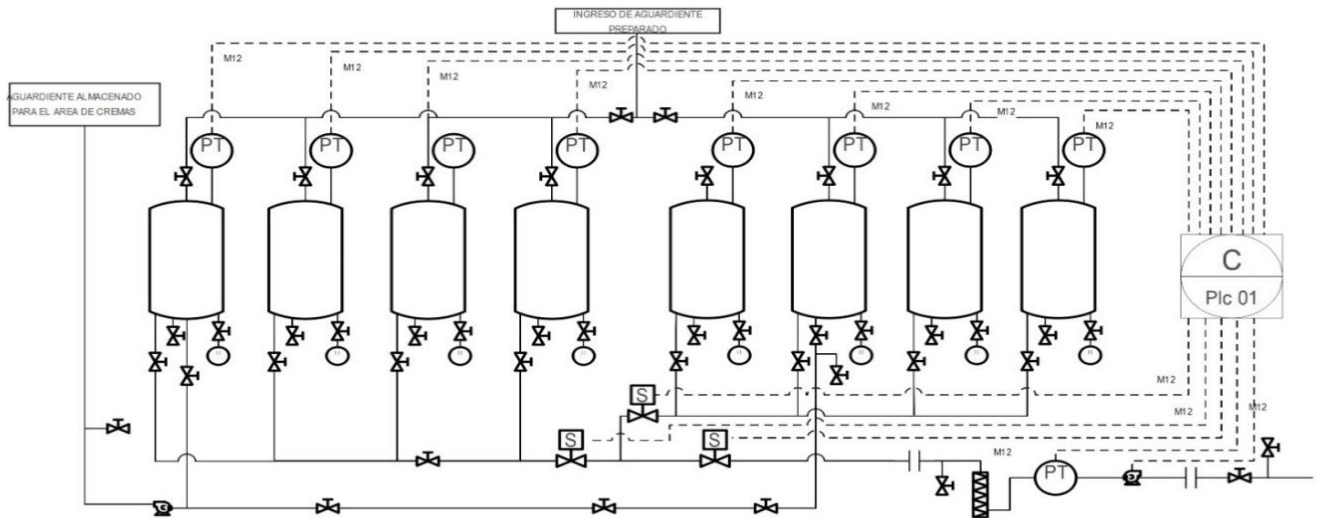


Figura 13. P&ID General del área de almacenamiento.

Fuente: Propia.

#### 4.4. Activos existentes.

En esta sección se presenta la instrumentación de las áreas incorporadas en el sistema de supervisión, abarcando tanto el área de almacenamiento como la zona anexa al área de envasado.

INSTRUMENTACIÓN DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO		
<p><b>Tanque de almacenamiento de 5.000 Lts</b></p>	<p>Los tanques de acero inoxidable albergan el aguardiente en su estado terminado y ser transportado a la siguiente etapa para su envasado.</p>	




<p><b>Bombas centrífugas</b></p>	<p>Las bombas centrífugas son equipos fundamentales encargados de impulsar el aguardiente a través de las tuberías hacia las etapas de producción correspondientes del proceso de producción.</p>	
<p><b>Filtros tela</b></p>	<p>Este equipo es utilizado para realizar la filtración del producto en diferentes etapas del proceso de producción para garantizar la eliminación de impurezas y partículas que puedan afectar la calidad del aguardiente.</p>	
	<p>Es un sistema de filtración por presión el cual tiene mayor capacidad de filtrado para realizarle al</p>	

<p><b>Filtro prensa</b></p>	<p>producto antes de ingresar a los tanques de almacenamiento.</p>	
<p><b>Válvulas de bola</b></p>	<p>Las válvulas de bola son dispositivos de control para regular el flujo de líquidos en las tuberías. Su diseño simple y efectivo permite una operación rápida y confiable, asegurando un control manual preciso del caudal en el proceso de producción del aguardiente.</p>	
<p><b>Indicador de nivel en vidrio</b></p>	<p>Este indicador de nivel en vidrio, de carácter manual, está instalado en cada tanque de almacenamiento, permitiendo visualizar el nivel actual de los tanques en todo momento.</p>	

Tabla 3. Instrumentación del área de almacenamiento.

Fuente: Propia.

## INSTRUMENTACIÓN DEL ÁREA ANEXA AL ÁREA DE ENVASADO

<p><b>Tanques pulmón de 10.000Lts</b> <b>(3)</b></p>	<p>Los tanques pulmón de acero inoxidable almacenan el aguardiente procedente de los tanques de almacenamiento y tienen como objetivo suministrar el aguardiente a la nueva línea de envasado en la ILC</p>	
<p><b>Válvula neumática</b></p>	<p>Las válvulas neumáticas permiten la entrada y salida del aguardiente en los tanques pulmón.</p>	
<p><b>Sensor de presión</b> <b>(3)</b></p>	<p>Los sensores de presión, están instalados en cada tanque pulmón, ofrecen información precisa sobre el nivel de aguardiente almacenado.</p>	



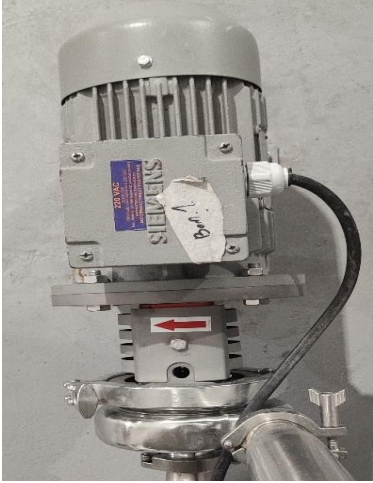
<p><b>Switch de nivel</b> (6)</p>	<p>Los Switch de nivel se encargan de informar cuando el aguardiente en los tanques pulmón alcanza sus niveles máximos y mínimo.</p>	
<p><b>Indicador de nivel en vidrio</b> (3)</p>	<p>Los indicadores de nivel en vidrio están instalados en cada tanque pulmón permitiendo conocer de una forma manual el nivel actual de aguardiente.</p>	
<p><b>Bombas centrifugas</b> (2)</p>	<p>Las bombas centrifugas, que son controladas por la innovadora línea de envasado, tienen la crucial tarea de propulsar el aguardiente que se encuentra almacenado en los tanques pulmón, dirigiéndolo hacia la mencionada línea de envasado.</p>	

Tabla 4. Instrumentación del área anexa al área de envasado.

Fuente: Propia.



A continuación, se describe el PLC disponible en el área anexa al área de envasado, así como sus módulos que lo conforman:

<b>PLC O MÓDULO</b>	<b>ENTRADAS</b>	<b>SALIDAS</b>
PLC Siemens S7 1200 – 1212c	8 digitales 2 analógicas	6 digitales
Siemens SM 1223	8 digitales	8 digitales
Siemens SM 1231	8 analógicas	N/A

*Tabla 5. Plc y módulos del área anexa al área de envasado.*

*Fuente: Propia.*

#### **4.5. Criterios de selección de instrumentos nuevos.**

En la sección subsiguiente, se detallan los criterios de selección utilizados para determinar los componentes del sistema de supervisión.

##### **4.5.1. Criterios de selección para la bomba centrífuga.**

- **Capacidad de flujo:** Debe ser capaz de manejar el caudal requerido para el suministro de aguardiente sin problemas, evitando obstrucciones y asegurando un flujo constante y uniforme.
- **Material de construcción:** El material de la bomba debe ser compatible con el aguardiente y resistente a la corrosión, garantizando la calidad del producto y la durabilidad del equipo.
- **Eficiencia energética:** Es importante seleccionar una bomba centrífuga con una alta eficiencia energética para reducir el consumo de energía y los costos operativos.
- **Facilidad de mantenimiento:** Debe ser de fácil acceso para inspecciones y reparaciones, con piezas de repuesto disponibles y un diseño que permita un mantenimiento sencillo y rápido.

#### **4.5.2. Criterios de selección para las válvulas solenoides.**

- **Tamaño y capacidad de flujo:** Deben ser adecuadas para el caudal y presión requeridos en el sistema, asegurando un control preciso y eficiente del flujo del aguardiente.
- **Material y compatibilidad:** Deben estar fabricadas con materiales aptos para el contacto con el aguardiente y resistentes a la corrosión para mantener la calidad del producto y evitar daños en las válvulas.
- **Fiabilidad y vida útil:** Deben tener una alta confiabilidad y durabilidad para soportar el uso continuo en el proceso de producción, minimizando posibles fallas y tiempos de inactividad.
- **Respuesta rápida:** Deben tener una respuesta rápida a las señales de control para garantizar un cierre y apertura oportunos y precisos en el flujo del aguardiente.

#### **4.5.3. Criterios de selección para transmisor de nivel.**

- **Compatibilidad del Medio:** Debe ser adecuado para medir niveles de líquidos conductivos como el aguardiente de forma precisa y confiable.
- **Material Resistente:** Dado que el aguardiente puede ser corrosivo, se necesita un material resistente a la corrosión, como acero inoxidable o materiales similares, para garantizar la durabilidad del transmisor.
- **Precisión y Fiabilidad:** Es esencial que el transmisor proporcione mediciones precisas y fiables del nivel del aguardiente para garantizar un control adecuado del proceso.
- **Rango de Medición Adecuado:** Debe tener un rango de medición que abarque desde el nivel mínimo hasta el nivel máximo que los tanques puedan alcanzar.

- **Facilidad de Instalación y Mantenimiento:** Se valoran aquellos transmisores que sean fáciles de instalar y mantener, reduciendo así el tiempo de inactividad durante las operaciones de mantenimiento.
- **Condiciones de Temperatura y Presión:** Debe ser capaz de funcionar eficazmente bajo las condiciones de temperatura y presión presentes en el entorno de la industria licorera.
- **Costo-Eficiencia:** Buscar un equilibrio entre calidad y costo para asegurar una inversión adecuada en función de las necesidades del proceso.

#### **4.5.4 Criterios de selección para el transmisor de presión.**

- **Rango de medición:** Debe cubrir el rango de presiones requerido para el proceso de aguardiente.
- **Precisión:** Alta precisión en la medición de la presión para garantizar una operación confiable y precisa.
- **Compatibilidad:** Debe ser compatible con el PLC Siemens utilizado en el sistema de control para una integración sin problemas.
- **Robustez y resistencia:** Debe ser capaz de soportar las condiciones ambientales y los fluidos presentes en el proceso de aguardiente.
- **Facilidad de calibración:** Debe permitir una calibración sencilla y precisa para mantener la exactitud de la medición.

#### **4.5.5. Criterios de selección para la periferia descentralizada.**

- **Compatibilidad:** Debe ser de la misma marca que el PLC Siemens para una integración directa y eficiente en la arquitectura del sistema.



- **Modularidad:** Capacidad para añadir o retirar módulos de manera fácil para una adaptación flexible a las necesidades del proceso.
- **Comunicación:** Debe contar con protocolos de comunicación compatibles con el PLC Siemens para una transmisión de datos eficiente.
- **Respaldo y soporte:** Debe contar con un buen servicio de soporte técnico y disponibilidad de repuestos para garantizar su mantenimiento y continuidad en el tiempo.

#### **4.5.6. Criterios de selección para el Switch de comunicaciones**

- **Marca:** Debe ser Siemens para asegurar la compatibilidad y evitar posibles conflictos de comunicación con el PLC y otros dispositivos.
- **Protocolos de comunicación:** Debe ser compatible con los protocolos de comunicación utilizados en la periferia centralizada y en el PLC Siemens.
- **Redundancia:** Debe contar con opciones de redundancia para asegurar la continuidad de la comunicación en caso de fallos.

La elección de dispositivos y elementos de la misma marca que el PLC Siemens tiene ventajas significativas, ya que facilita la integración, reduce la complejidad del sistema y minimiza posibles conflictos o incompatibilidades. Además, contar con un mismo proveedor (Siemens) para estos componentes puede simplificar el soporte técnico y el mantenimiento, lo que contribuye a una operación más eficiente y confiable del sistema de supervisión en la industria licorera del Cauca.

#### **4.6. Selección de instrumentos nuevos.**

A continuación, se presentan todos los instrumentos seleccionados para el sistema de supervisión.

#### **4.6.1. Selección de válvulas solenoides.**

Durante la búsqueda de las válvulas solenoides, las empresas especializadas en este tipo de componentes sugirieron la posibilidad de incorporar actuadores eléctricos a las válvulas de tipo bola que se planeaban reemplazar. Esta adición permitiría su automatización. En consecuencia, se emprendió la búsqueda de actuadores eléctricos, pero al analizar los precios de los actuadores eléctricos se declinó esa opción debido a que saldría más costoso que una válvula solenoide.

#### **Selección de la válvula solenoide Danfoss 42502-200.**

Razones de selección:

- *Costo-Eficiencia:* Comparado con otras opciones, este actuador ofrece un costo ligeramente más bajo sin comprometer los requisitos específicos para la aplicación prevista.
- *Presión Nominal Adecuada:* Su capacidad para operar a una presión nominal de 150 psi se alinea perfectamente con los requerimientos necesarios para la aplicación específica que se llevará a cabo.
- *Compatibilidad:* La válvula solenoide Danfoss tiene un conector M12-L, que es un conector estándar para las aplicaciones de automatización industrial. Este conector es compatible con la mayoría de los sistemas de control industrial, lo que facilita la integración de la válvula en su sistema.
- *Calidad y fiabilidad:* La válvula Danfoss tiene una construcción robusta y componentes de alta calidad que garantizan un funcionamiento fiable durante muchos años.

A continuación, se muestra la tabla de los precios de las válvulas solenoides que pueden servir para la implementación del sistema de supervisión.

Marca	Modelo	Material	Presión	Temperatura Máxima	Conector y voltaje	Tamaño	Precio
SMC	SMC SY-200- 02-01- 15	Acero inoxidable 316L	150 psi	200 °F	M12 Analógica 24 VCC	2 pulgadas	\$ 484.800,00
Festo	Festo 547- 202-002	Acero inoxidable 316L	150 psi	200 °F	M12 Analógica 24 VCC	2 pulgadas	\$ 525.200,00
Danfoss	Danfoss 42502- 200	Acero inoxidable 316L	150 psi	200 °F	M12 Analógica 24 VCC	2 pulgadas	\$ 565.600,00
Parker Hannifin	Parker Hannifin 65000- 200	Acero inoxidable 316L	150 psi	200 °F	M12 Analógica 24 VCC	2 pulgadas	\$ 606.000,00

Tabla 6. Opciones de válvulas solenoides.

Fuente: Propia.

#### 4.6.2. Selección de Dispositivo para el Monitoreo del Nivel en Tanques de Almacenamiento.

La elección del transmisor de nivel para monitorear los tanques de almacenamiento inició con una exhaustiva búsqueda enfocada en encontrar el sensor adecuado para este propósito.

Existen dos tipos de sensores para medir el nivel de líquidos: los sensores de contacto y los sensores sin contacto. Los sensores de contacto, utilizando flotadores, paletas giratorias o sensores de vibración, son simples y económicos, aunque menos precisos. Por otro lado, los sensores sin contacto, empleando ondas sonoras o electromagnéticas, son más precisos y confiables, aunque suelen ser más costosos.

Para la aplicación con aguardiente, varios factores fueron considerados al elegir el tipo de sensor:

*Precisión:* Los sensores de flotador tienen una precisión de alrededor del 1%, mientras que los ultrasónicos y de radar tienen una precisión de alrededor del 0.5% y 0.2%, respectivamente.

*Resistencia a la corrosión:* Los sensores de flotador y los ultrasónicos suelen ser resistentes a la corrosión, pero no ocurre lo mismo con los sensores de radar.

*Costo:* Los sensores de flotador son los más económicos, seguidos por los sensores ultrasónicos y los de radar.

Basados en estos factores, se determinó que el transmisor de nivel ultrasónico es la mejor opción para esta aplicación específica. Estos sensores son precisos, confiables y resisten la corrosión. A continuación, se presenta una tabla que detalla las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de sensores. Este análisis se realiza con el propósito de facilitar la elección del sensor más adecuado para el proceso en cuestión.

<b>Tipo de sensor</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Flotador	Simple, económico.	Poco preciso, susceptible a la corrosión.
Ultrasónico	Preciso, confiable, resistente a la corrosión.	Más caro que los sensores de flotador.
Radar	Muy preciso, confiable.	Más caro que los sensores ultrasónicos y los sensores de flotador, no es resistente a la corrosión.

Tabla 7. Tipos de sensores en los transmisores de nivel.

Fuente: Propia.

Después de analizar los precios de las opciones para los transmisores de nivel ultrasónicos se optó por cambiar los transmisores de nivel por transmisores de presión debido a que estos son muchos más económicos y también nos permitirían saber el nivel de aguardiente en los tanques de almacenamiento.

En la siguiente tabla se muestra las opciones que se tenían en la elección de transmisores de nivel.

Marca	Modelo	Rango de medición	Precisión	Material	Conector y tipo de salida	Precio
Danfoss	MLD350U	0 a 10 metros	±0,5%	Acero inoxidable 316L	Conector M12-L Analógica	\$ 6.868.000,00
Rosemount	3051U	0 a 10 metros	±0,5%	Acero inoxidable 316L	Conector M12-L Analógica	\$ 7.676.000,00
Endress+Hauser	Promass L400U	0 a 10 metros	±0,2%	Acero inoxidable 316L	Conector M12-L Analógica	\$ 10.504.000,00
Yokogawa	FL-400U	0 a 10 metros	±0,3%	Acero inoxidable 316L	Conector M12-L Analógica	\$ 8.484.000,00

Tabla 8. Opciones de transmisores de nivel ultrasónicos.

Fuente: Propia.

### Selección del transmisor de presión para los tanques de almacenamiento.

Durante la inspección de los dispositivos en el área adyacente al espacio de envasado (consultar Tabla 4), se identificó un transmisor de presión diferencial dedicado al seguimiento del nivel en los tanques pulmón. Este dispositivo posee la versatilidad para ser adaptado y empleado en los tanques de almacenamiento, facilitando así la medición del nivel de líquido en estos tanques. Los transmisores de nivel seleccionados cumplen con rigurosas normativas sanitarias, asegurando su idoneidad para aplicaciones que involucran contacto con alimentos o productos farmacéuticos. Construidos en acero inoxidable,

presentan una alta resistencia a la corrosión, además de contar con propiedades que les otorgan robustez ante impactos y vibraciones.

En la siguiente tabla se conoce las especificaciones del transmisor de presión diferencial de marca baumer.

<b>TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL BAUMER</b>	
<b>Marca</b>	Baumer
<b>Modelo</b>	PBMH-24B11RA14451201000-11222682
<b>Tipo</b>	Transmisor de presión
<b>Salida</b>	4 a 20mA
<b>Rango de presión</b>	0 - 0.4 bar
<b>Precisión</b>	±0,5%
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-40°C a 85°C
<b>Conexión eléctrica</b>	Conector M12
<b>Material</b>	Acero inoxidable 316L
<b>Normativas sanitarias</b>	FDA 21 CFR Parte 177.2600, CE 1935/2004, NSF 61
<b>Precio</b>	\$ 2.600.000,00

*Tabla 9. Especificaciones del transmisor de presión baumer*

*Fuente: Propia.*

#### **4.6.3. Selección de transmisor de presión para la protección de la bomba.**

Se realizó una búsqueda de transmisores de presión adecuados para su instalación en la tubería de dos pulgadas previa a la bomba centrífuga, con el propósito de asegurar su correcto funcionamiento. En primera instancia, se analizó la presión que experimentaría la tubería al transportar el aguardiente, lo cual permitió determinar el rango de operación requerido para el transmisor de presión.

Teniendo en cuenta que en Colombia la presión atmosférica es de 1 bar, se estableció un punto de ajuste del transmisor de presión de 1.1 bar. Esto indica que la activación de la

bomba centrífuga ocurrirá cuando la presión del aguardiente en la tubería alcance los 1.1 bar. Asimismo, se identificó la necesidad de que el transmisor posea una alta precisión para detectar cualquier variación. En consecuencia, se definió un rango de operación del transmisor de presión de 0 a 2 bar.

El transmisor de presión seleccionado es de la marca Festo, principalmente por su gran precisión, la cual es fundamental para garantizar la protección óptima de la bomba centrífuga.

A continuación, se muestra la tabla de opciones que se tuvieron para la elección del transmisor de marca Festo.

Marca	Modelo	Rango de presión y precisión	Temperatura de funcionamiento	Material	Normativas	Precio
WIKA	A-10	0-2.5 bar ±0,5%	-40°C a 85°C	Acero inoxidable	FDA, CE, NSF	\$ 404.838,00
IKA	1000	0-2.6 bar ±0,25%	-40°C a 85°C	Acero inoxidable	FDA, CE	\$ 499.000,00
Festo	P531	0-2.5 bar ±0,1%	-40°C a 85°C	Acero inoxidable	FDA, CE	\$ 660.000,00

*Tabla 10. Opciones de transmisor de presión para la protección de la bomba.*

*Fuente: Propia.*

#### **4.6.4. Selección de bomba centrífuga.**

Para seleccionar la bomba centrífuga adecuada, nos asesoramos con una empresa especializada en este tipo de equipamiento, la cual recomendó la implementación de la bomba Centrífuga Hyginox '17 SE 20, con 5 Hp. Esta elección garantiza la transferencia ágil del licor hacia el área adyacente de envasado.

La bomba centrífuga Hyginox '17 SE 20 OD CL 3500 RPM IE3 4 KW se destaca como una excelente opción para la transferencia de aguardiente gracias a sus múltiples beneficios. Su diseño compacto y sanitario la convierte en una opción idónea para la industria alimentaria, cumpliendo con los estándares de seguridad necesarios para mantener la pureza del aguardiente durante todo el proceso de transferencia. Además, su motor IE3 de alta eficiencia energética reduce significativamente el consumo eléctrico en comparación con otras bombas de potencia similar, lo que resulta en menores costos operativos a largo plazo. Por otro lado, su instalación y mantenimiento sencillos no solo simplifican su uso, sino que también prolongan su vida útil, ofreciendo practicidad y eficacia continua.

La baja emisión de ruido durante su funcionamiento es otra ventaja significativa, haciéndola idónea para entornos reducidos o donde se requiera mantener un ambiente tranquilo y sin interrupciones. Por último, su versatilidad es destacable, siendo apta para una amplia gama de aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. Esto la convierte en una inversión rentable y versátil que puede ser aprovechada en diversos sectores, asegurando un rendimiento óptimo y adaptable en distintos escenarios industriales.

<b>Bomba Centrífuga Hyginox '17 SE 20</b>	
<b>Conexiones</b>	DIN 11851
<b>Presión nominal</b>	10 bar
<b>Rango de temperaturas</b>	10°C a +120°C
<b>Caudal máximo</b>	28 m <sup>3</sup> /h
<b>Altura diferencial máxima</b>	40 metros
<b>Velocidad máxima</b>	3500 rpm

*Tabla 11. Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga.*

*Fuente: Propia.*

#### **4.6.5. Selección de periferia descentralizada ET 200 eco PN.**

En la selección de la periferia, se llevó a cabo una evaluación de las opciones descentralizadas de Siemens. Tras comparar diversos modelos, se optó por la periferia



descentralizada más económica de Siemens debido a su robustez y la conveniencia de no requerir un armario para la instalación. Su conexión M12 facilita enormemente su implementación. Esta periferia es altamente configurable y cuenta con módulos que pueden adaptarse para cubrir cualquier requerimiento específico.

#### 4.6.6. Selección switch Scalance x204-2.

En el proceso de selección del switch 6GK5204-2BB10-2AA3, se priorizó la elección de un dispositivo de Siemens, asegurando una perfecta integración con los dos elementos que se conectarán al switch. Estos dispositivos en particular son la periferia descentralizada de Siemens ET 200eco PN y el PLC 1200 1212c. La decisión de optar por un switch de Siemens se fundamenta en la búsqueda de una configuración fluida y altamente compatible entre estos componentes, garantizando así un rendimiento óptimo y una interconexión eficiente en el sistema.

<b>Switch Scalance x204-2</b>	
<b>Puertos</b>	4 puertos Ethernet 10/100 Mbps RJ-45, 2 puertos Ethernet 100 Mbps multimodo BFOC
<b>Velocidad de transferencia</b>	10/100Mbps
<b>Protocolos</b>	Ethernet industrial, Profibus
<b>Montaje</b>	Carril DIN o pared

*Tabla 12. Especificaciones técnicas del Switch Scalance.*

*Fuente: Propia.*

# CAPITULO V. INGENIERIA DE DETALLE

## 5.1. Arquitectura

En la **Figura 14**, se aprecia la arquitectura del proceso de diseño inicial de la arquitectura del sistema de supervisión para la industria licorera del Cauca. A partir de este diseño, surgieron dos sugerencias de cambios por parte de la empresa. Estas modificaciones tenían como objetivo mejorar el sistema y abordar ciertos desafíos identificados.

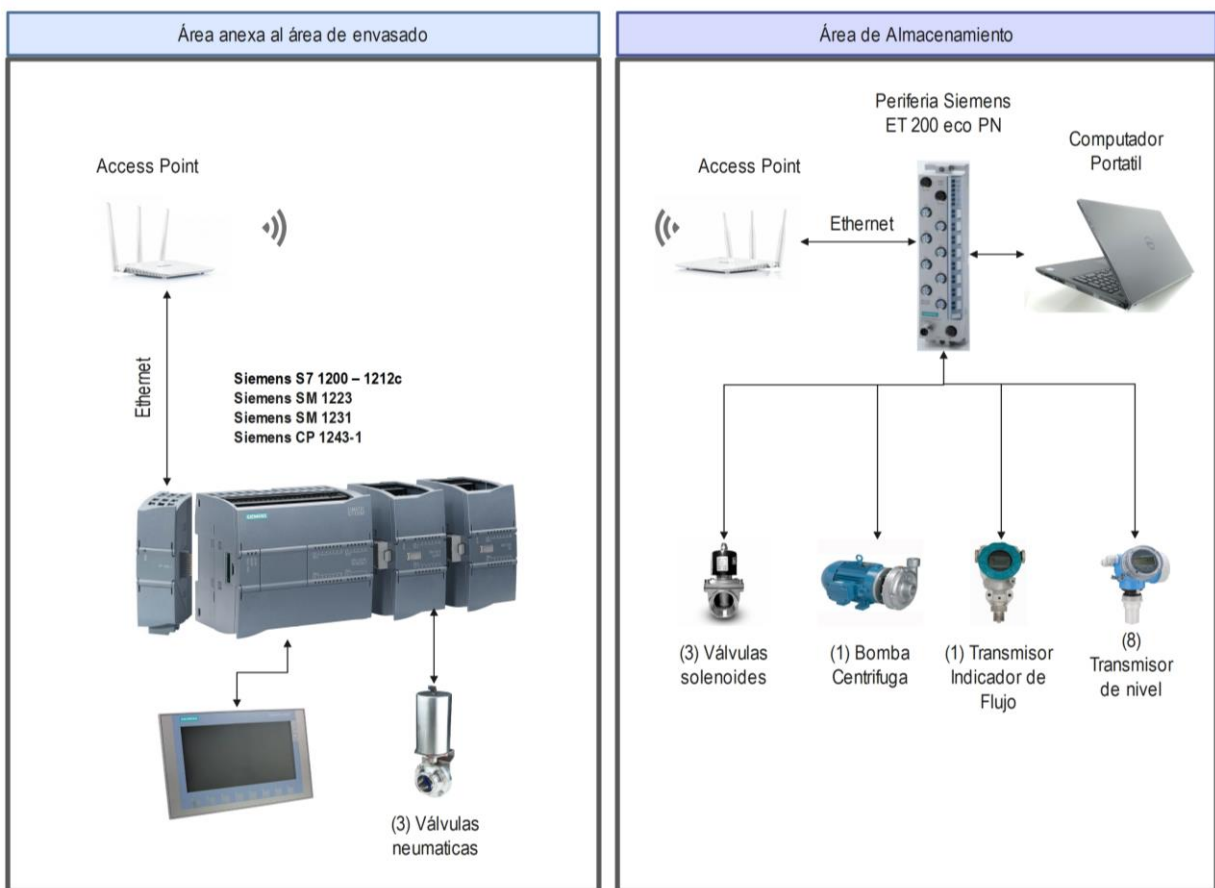


Figura 14. Diseño inicial de la arquitectura del sistema de supervisión.

Fuente: Propia.

El primer cambio se centró en el método de transmisión de datos utilizado entre las áreas involucradas. Inicialmente, se había considerado emplear una conexión no guiada mediante dos Access Point. Sin embargo, la empresa informó que habían experimentado problemas y

fallas en comunicaciones anteriores al utilizar este método en otras operaciones. Los empleados plantearon la hipótesis de que la carga electromagnética generada por los equipos del proceso de producción en el área donde se instalarían los Access Point podría ser la causa de estos inconvenientes. A raíz de esta situación, se tomó la decisión de modificar la arquitectura y reemplazar los dos Access Point por un switch de Siemens. Este switch permitirá una comunicación guiada y más confiable entre los dos edificios involucrados.

El segundo cambio sugerido se relacionó con el transmisor de flujo utilizado en el sistema. La empresa consideró reemplazar el transmisor de flujo propuesto por un transmisor de presión, con el objetivo de proteger la bomba centrífuga en caso de ausencia de líquido. Esta sugerencia fue presentada por el jefe de mantenimiento de la empresa licorera del Cauca, quien destacó que, en su experiencia, el mantenimiento de un sensor de presión resulta más fácil y conveniente para el personal de mantenimiento en comparación con un sensor de flujo. La implementación de un transmisor de presión facilitará las tareas de inspección, calibración y mantenimiento, lo que contribuirá a la eficiencia del equipo de mantenimiento y a la reducción de los tiempos de inactividad.

Mediante la integración de este transmisor de presión antes de la bomba centrífuga, se mejorará la protección del equipo, evitando posibles daños en situaciones en las que no haya suficiente líquido presente. De esta manera, se garantizará un funcionamiento seguro y confiable de la bomba centrífuga, minimizando los riesgos operacionales y los costos asociados con reparaciones o reemplazos de equipos.

En la **Figura 15** se observan los cambios propuestos aplicados que reflejan la disposición de la empresa licorera del Cauca para abordar los desafíos identificados en la arquitectura del sistema de supervisión. Al optar por una comunicación guiada y utilizar un transmisor de presión para proteger la bomba centrífuga, se espera mejorar la confiabilidad del sistema en general. Asimismo, se evidencian los reemplazos de los transmisores de nivel por transmisores de presión en los tanques de almacenamiento.

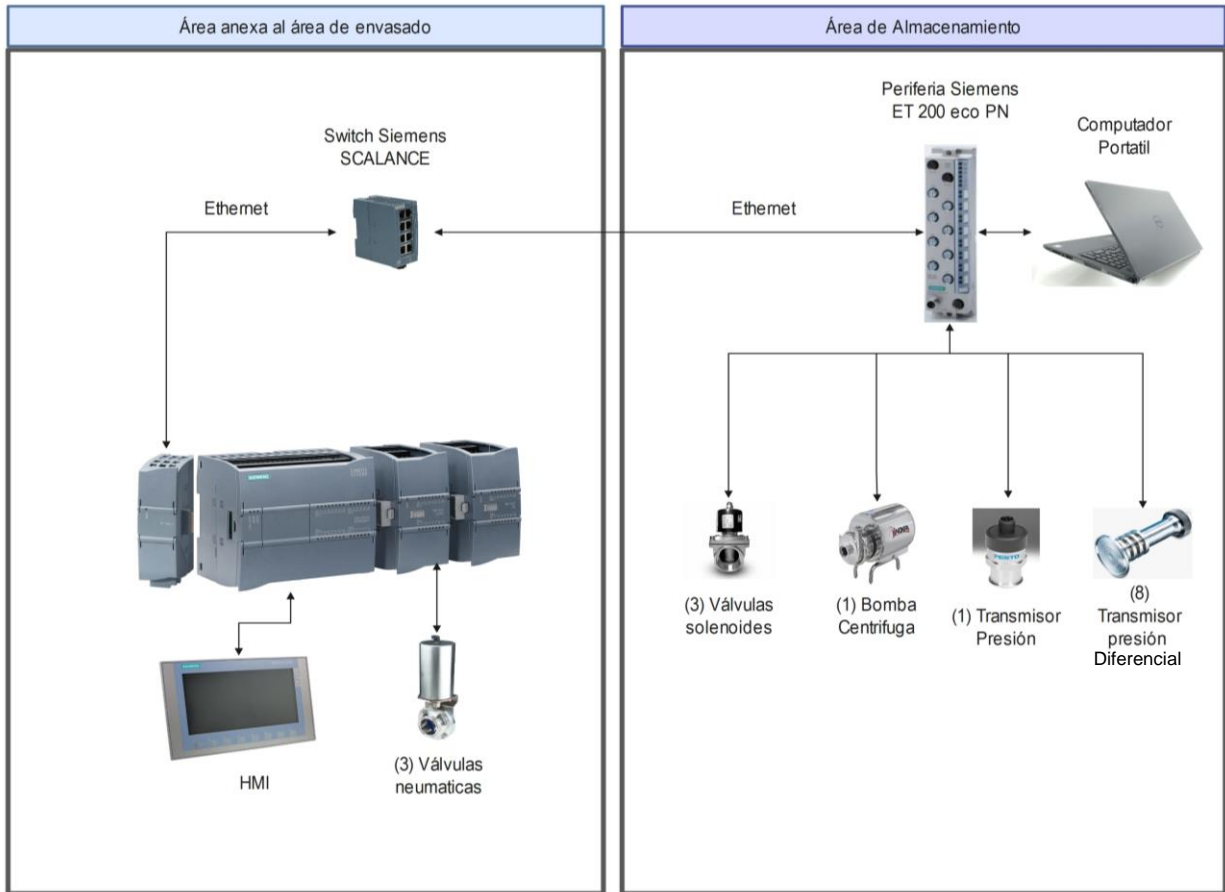


Figura 15. Diseño final de la arquitectura del sistema de supervisión.

Fuente: Propia.

## 5.2 Diagrama de lazo

El diagrama de lazo es una representación gráfica esencial en el campo de la automatización y control de procesos. Este diagrama proporciona una visión clara de cómo los diferentes componentes del sistema interactúan entre sí para mantener un proceso dentro de los parámetros deseados.

Las figuras que se presentarán a continuación, se ilustran los lazos que constituyen el sistema de supervisión.

### 5.2.1. Lazo de control de presión tubería.

La **Figura 16**, muestra el lazo que compone el monitoreo de presión de la tubería. Este monitoreo es el encargado de permitir el funcionamiento de la bomba centrífuga, siempre y cuando haya líquido en la tubería.

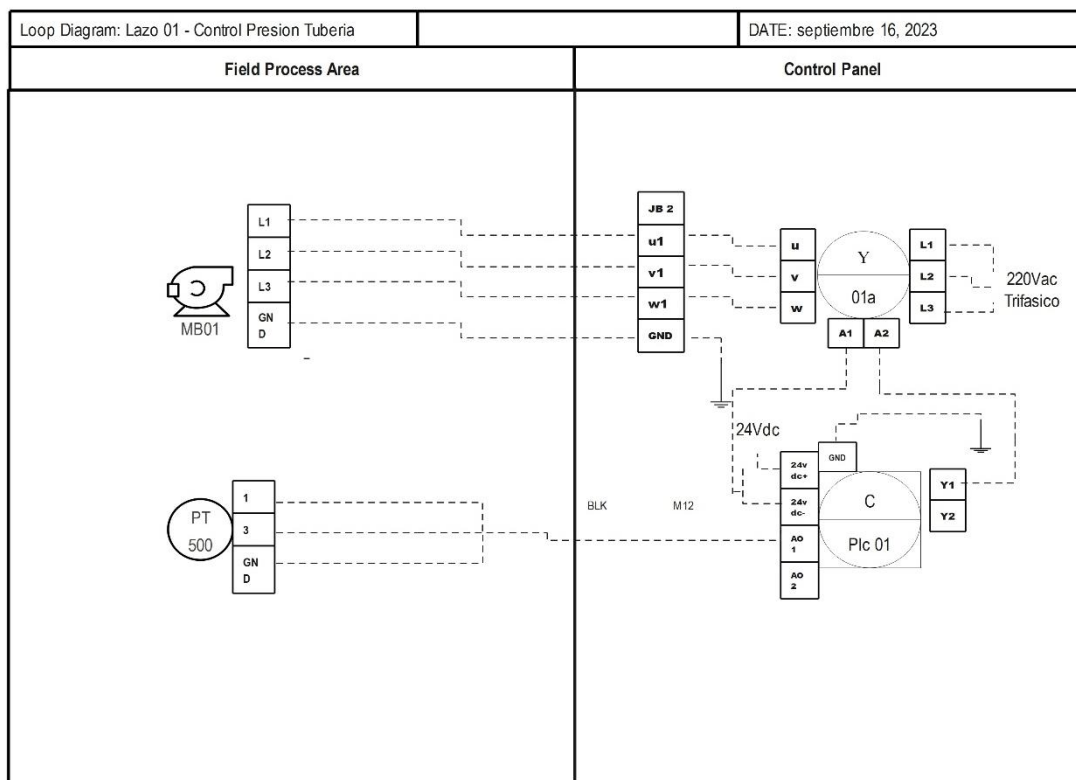


Figura 16. Lazo presión de la tubería.

Fuente: Propia.

Tag	Descripción	Referencia	Fabricante	Entrada	Salida
MB01	Bomba Centrífuga	Hyginox '17 SE 20 OD	Inoxpa	230Vac Trifásico 60Hz	0 a 40m <sup>3</sup> /h
Y-02	Contactora 40 amperios	3RT2035-1AN20	Siemens	220 Vac Trifasico 60Hz	220 Vac Trifasico 60Hz
PT-500	Transmisor de presión	P531	Festo	24Vdc	4-20mA
Plc 01	Periferia descentralizada	ET 200eco PN	Siemens	N/A	N/A

Tabla 13. Elementos del lazo de la presión de la tubería.

Fuente: Propia.

### 5.2.2. Lazo de nivel de tanques.

La siguiente ilustración se muestra cómo va la conexión de los transmisores de presión que permiten conocer el nivel de los tanques de almacenamiento.

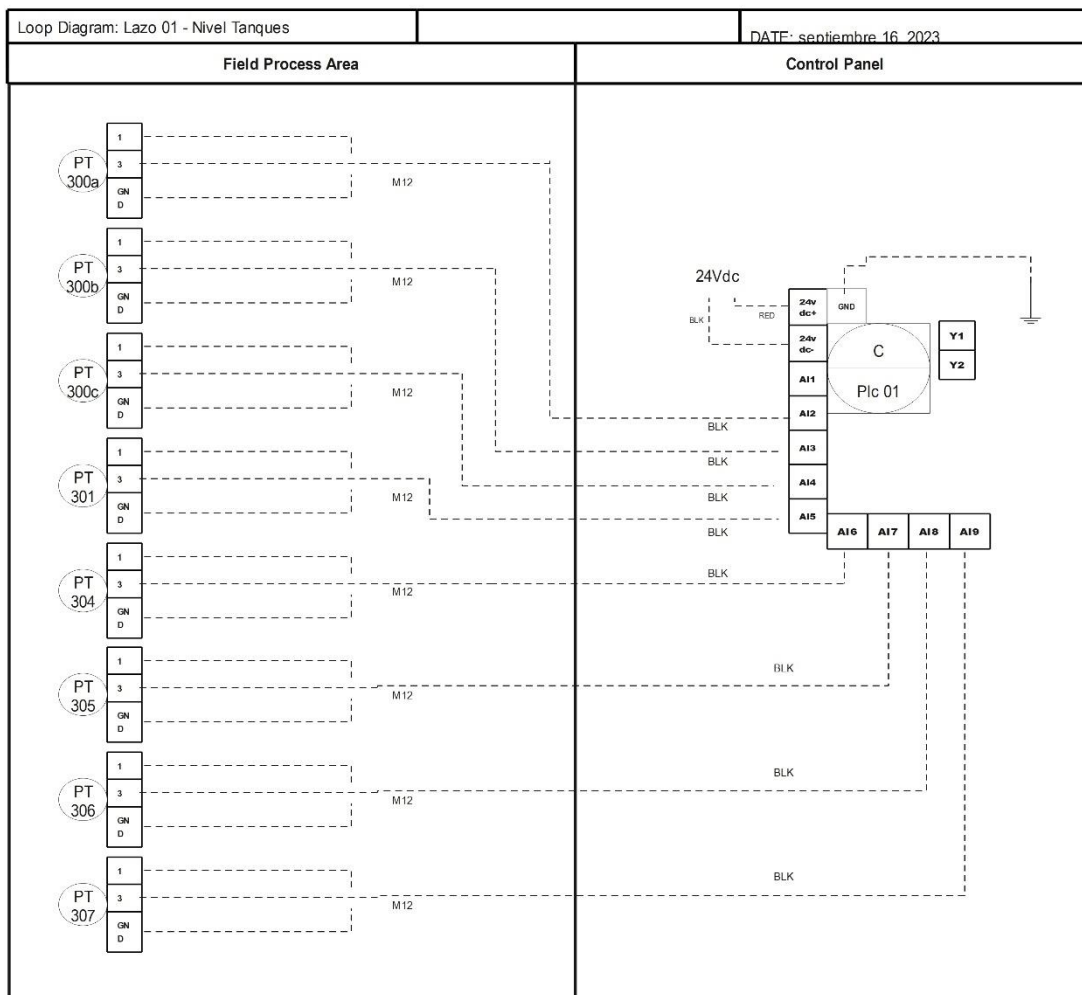


Figura 17. Lazo de nivel de los tanques de almacenamiento.

Fuente: Propia.

Tag	Descripción	Referencia	Fabricante	Entrada	Salida
PT	Transmisor de presión	PBMH-24B11RA14451201000	buamer	24Vcc	4-20mA
Plc 01	Periferia descentralizada	ET 200eco PN	Siemens	N/A	N/A

Tabla 14. Elementos del lazo de nivel de los tanques de almacenamiento.

Fuente: Propia.

### 5.2.3. Lazo de control de valvulas solenoides.

En la siguiente figura se muestra la conexión de las válvulas solenoides a la periferia descentralizada de siemens.

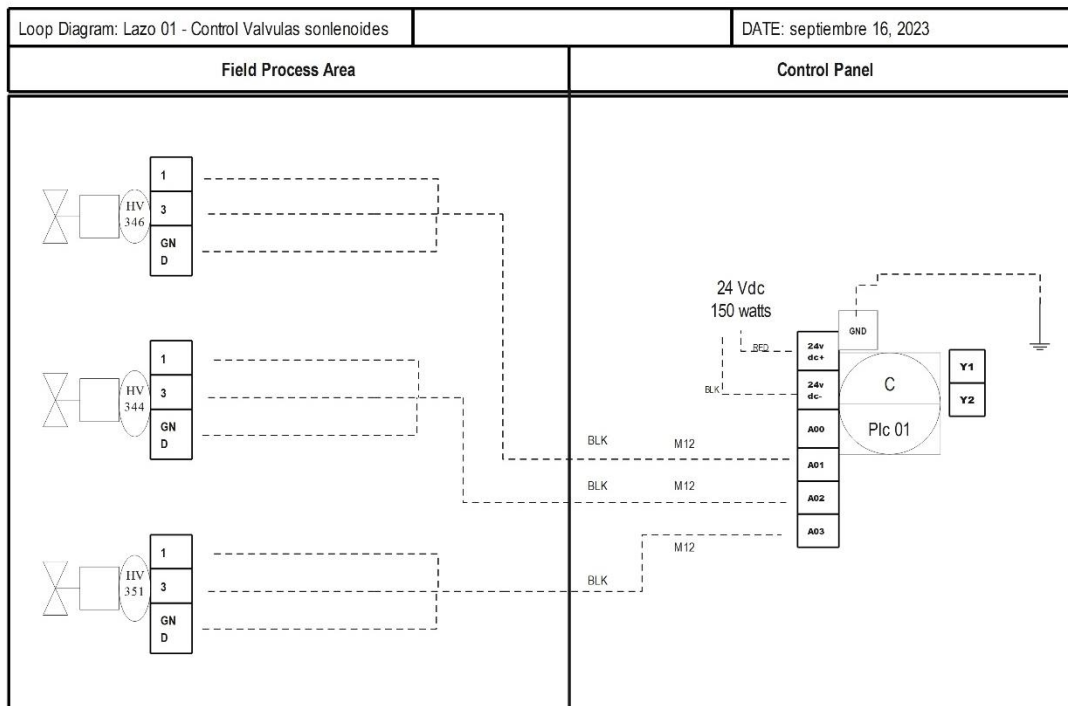


Figura 18. Lazo Válvulas solenoides.

Fuente: Propia.

Tag	Descripción	Referencia	Fabricante	Entrada	Salida
HV 346	Válvula solenoide	Danfoss 42502-200	Danfoss	24Vcc	N/A
HV 344	Válvula solenoide	Danfoss 42502-200	Danfoss	24Vcc	N/A
HV 351	Válvula solenoide	Danfoss 42502-200	Danfoss	24Vcc	N/A
Plc 01	Periferia descentralizada	ET 200eco PN	Siemens	N/A	N/A

Tabla 15. Elementos del lazo válvulas solenoides.

Fuente: Propia.

### **5.3. Propuesta de automatización para el sistema de supervisión.**

Los interlocks y permisos son conceptos esenciales en la automatización industrial. Los interlocks actúan como requisitos previos que deben satisfacerse antes de llevar a cabo una acción determinada, funcionando como medidas de seguridad. En cambio, los permisos son condiciones necesarias que deben estar activas o cumplirse para permitir que una acción específica se realice en un entorno controlado.

En el sistema de supervisión de la industria licorera del Cauca, tanto interlocks como permisos se aplican para asegurar la seguridad en los procesos de llenado de los tanques pulmón, evitando riesgos y manteniendo las operaciones en condiciones seguras y controladas.

#### **Rutina Automática.**

La rutina de modo automático requiere una preconfiguración por parte del operario. Esta configuración inicial incluye la selección del tipo de alcohol a utilizar y los tanques pulmón que deben ser llenados.

#### **Interlocks.**

##### *Desviaciones*

- Activación del paro de emergencia.
- Cierre de la válvula del tipo de aguardiente seleccionado.
- Apertura de la válvula del aguardiente que no se seleccionó en la preconfiguración.
- Presión de la tubería de la bomba menor a 1.2 bar.

##### *Acciones*

- Apagado de la bomba centrífuga.
- Cierre de todas las válvulas del sistema de llenado.

#### **Permisivos**

Se han definido ciertos permisos que condicionan la ejecución de la rutina de modo automático:



- Paro de emergencia activado.
- Modo manual activado.
- Los niveles de los tanques de almacenamiento del aguardiente seleccionado están por debajo del 10% de su capacidad.
- Los niveles de los tanques pulmón seleccionados están por encima del 92% de su capacidad.

#### 5.4. Programación en TIA Portal.

Tras identificar los aspectos críticos del proceso de llenado de los tanques pulmón, se procedió a programar la rutina de supervisión. Esta programación se llevó a cabo en lenguaje Ladder, utilizando funciones y rutinas específicas. A continuación, se presentan las líneas de código responsables de activar y desactivar el sistema.

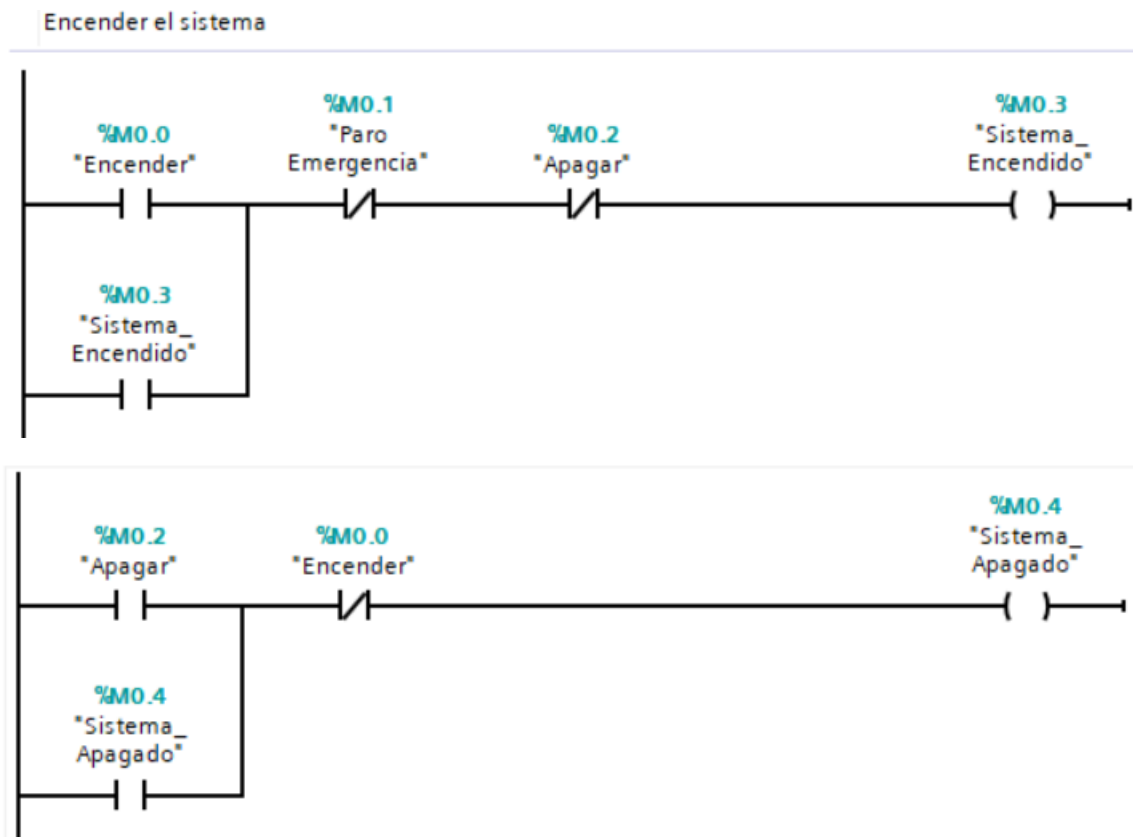


Figura 19. Código de encendido y apagado del sistema

Fuente: propia.

Para el control manual de los actuadores en el sistema de supervisión, se han implementado unos ‘faceplates’. Estos permiten un control directo y manual sobre los dispositivos involucrados en el proceso de supervisión. La lógica de control de un ‘faceplate’ se ilustra en la figura siguiente.

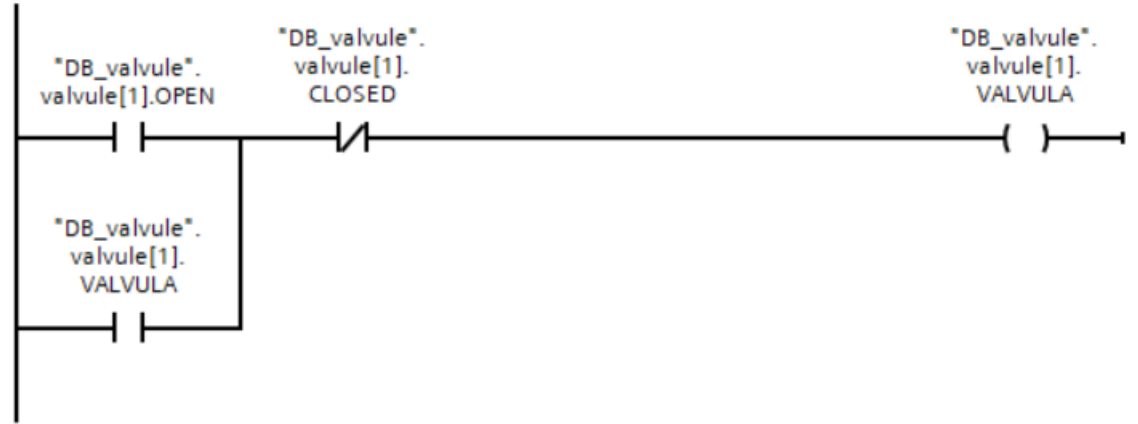


Figura 20. Código de activación manual de válvula por faceplate.

Fuente: Propia.

La figura siguiente presenta el código que habilita el modo automático en el sistema de supervisión, junto con sus respectivos interlocks. Estos interlocks aseguran la seguridad del proceso.

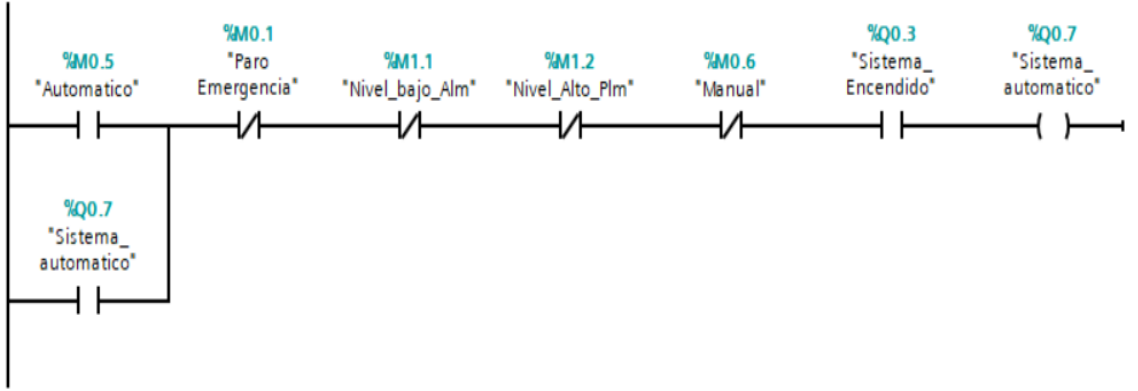


Figura 21. Código de activación del modo automático.

Fuente: Propia.

La siguiente ilustración de código muestra la línea que permite detectar la presencia de aguardiente antes de la bomba centrífuga. Esta característica proporciona la protección necesaria para realizar transferencias de aguardiente de manera segura.

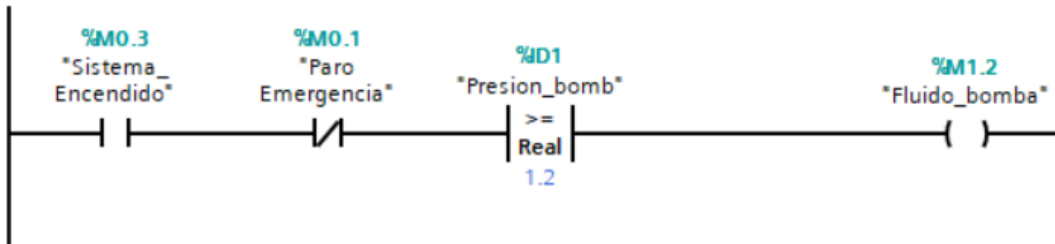


Figura 22. Código de nivel alto del tanque pulmón TK1.

Fuente: Propia.

En la figura siguiente, se puede observar la línea de código que suministra información al sistema de supervisión cuando el tanque pulmón Tk1 alcanza su nivel máximo de llenado programado, que es del 96%.

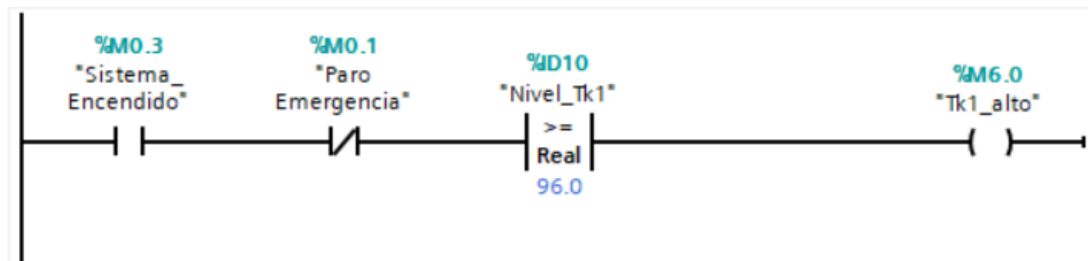


Figura 23. Código de nivel máximo en el tanque pulmón TK1.

Fuente: Propia.

Similar a la figura anterior, se implementan líneas de código para poder determinar los niveles máximo y mínimo de todos los tanques involucrados en la transferencia de aguardiente hacia la otra área.

## **5.5. Diseño de la Interfaz HMI de Alto Rendimiento según recomendaciones para el diseño de HMI de alto rendimiento del apartado 2.7.**

El diseño de la interfaz HMI se llevó a cabo utilizando el software TIA de Siemens, un entorno de programación reconocido por su eficiencia y versatilidad. Durante este proceso, se adoptaron y aplicaron las normas estándar de diseño para una interfaz HMI de alto rendimiento proporcionadas en el libro descrito en la sección.

El objetivo principal fue crear una interfaz intuitiva que proporcionara una visión clara y detallada del proceso de llenado de los tanques pulmón. Esto implica mostrar la información de manera accesible y comprensible, asegurando al mismo tiempo una funcionalidad práctica y eficiente en su manipulación.

Se hizo hincapié en garantizar que la interfaz no solo ofreciera información visual clara sobre el proceso de llenado, sino que también fuera fácil de operar. La disposición de los elementos, la organización de los datos y la navegación fueron cuidadosamente consideradas para facilitar la interacción del usuario con la interfaz, optimizando así su usabilidad.

Se tuvieron en cuenta los principios ergonómicos y de diseño centrado en el usuario para garantizar que la interfaz fuera lo más amigable posible, con el fin de permitir una manipulación práctica y eficiente por parte del personal encargado de supervisar y controlar el proceso de llenado de los tanques pulmón.

La interfaz resultante está diseñada para brindar una experiencia de usuario fluida y eficaz, enfocada en la facilidad de comprensión y operatividad, mejorando así la supervisión y el control del proceso industrial de llenado de los tanques pulmón.

La **Figura 24** muestra la pantalla de inicio de la HMI, donde el operario debe iniciar sesión con sus credenciales de usuario para acceder al sistema de supervisión.



Figura 24. Pantalla de inicio del sistema de supervisión.

Fuente: Propia.

Una vez que el operario ha ingresado al sistema de supervisión, puede dirigirse a la ventana de proceso, como se muestra en la siguiente figura, donde se visualiza y controla la operación de llenado de los tanques pulmón. En esta Figura se encuentra detallada toda la información referente al proceso de llenado de los tanques pulmón. Aquí, el operario tiene la capacidad de iniciar el sistema y elegir entre el modo de operación manual o automático.

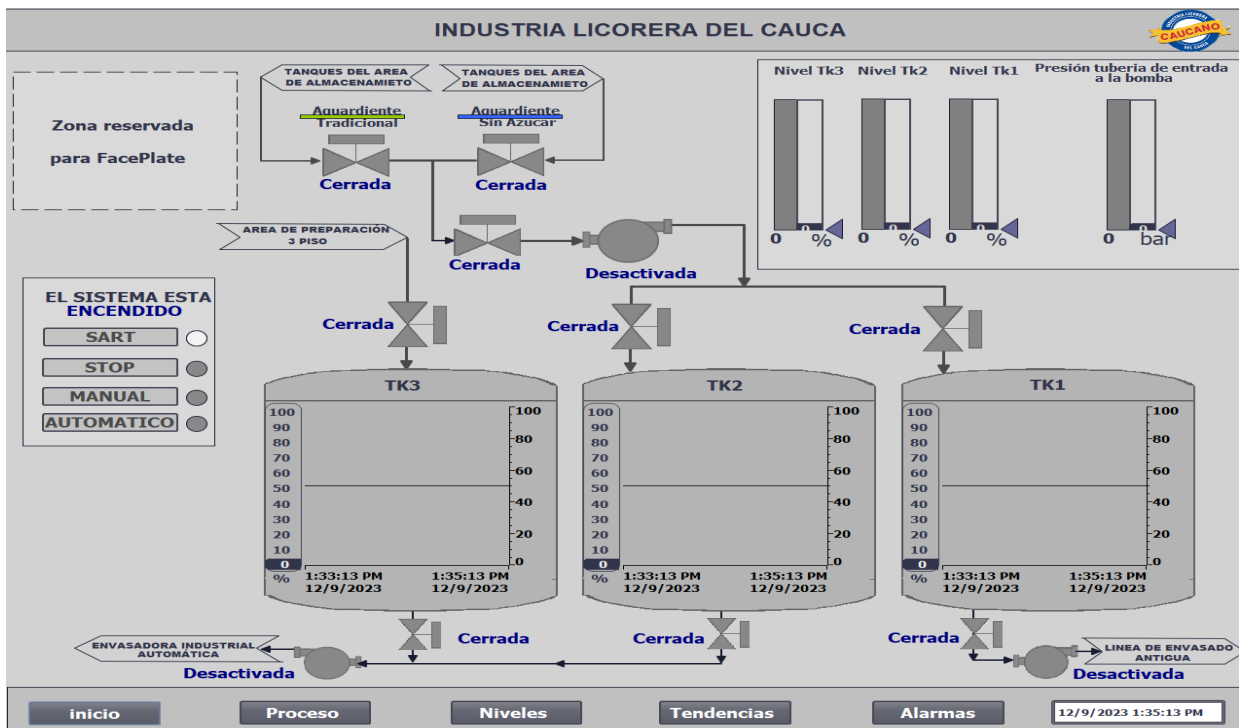


Figura 25. Pantalla de proceso del sistema de supervisión.

Fuente: Propia.

Si se activa el modo manual, el usuario simplemente necesita hacer clic sobre la válvula o bomba que desea controlar, lo que abrirá una ventana de faceplate del dispositivo seleccionado como lo muestra la siguiente figura. Esto permite al operario realizar acciones manuales sobre estos dispositivos.

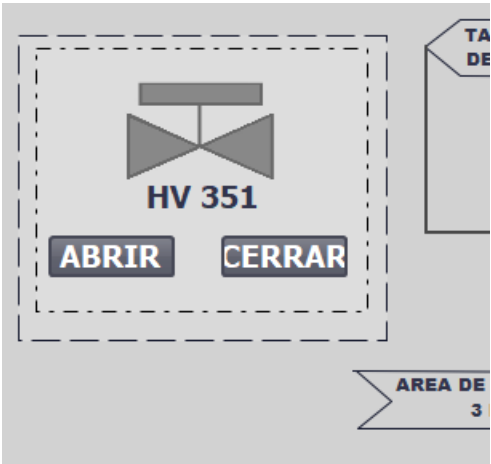


Figura 26. Faceplate del sistema de supervisión.

Fuente: Fuente.

El sistema tiene establecido un llenado límite del 96% si el llenado de algún tanque llega a las 98% saldrá una alarma de prioridad 2 como se muestra en la siguiente figura.

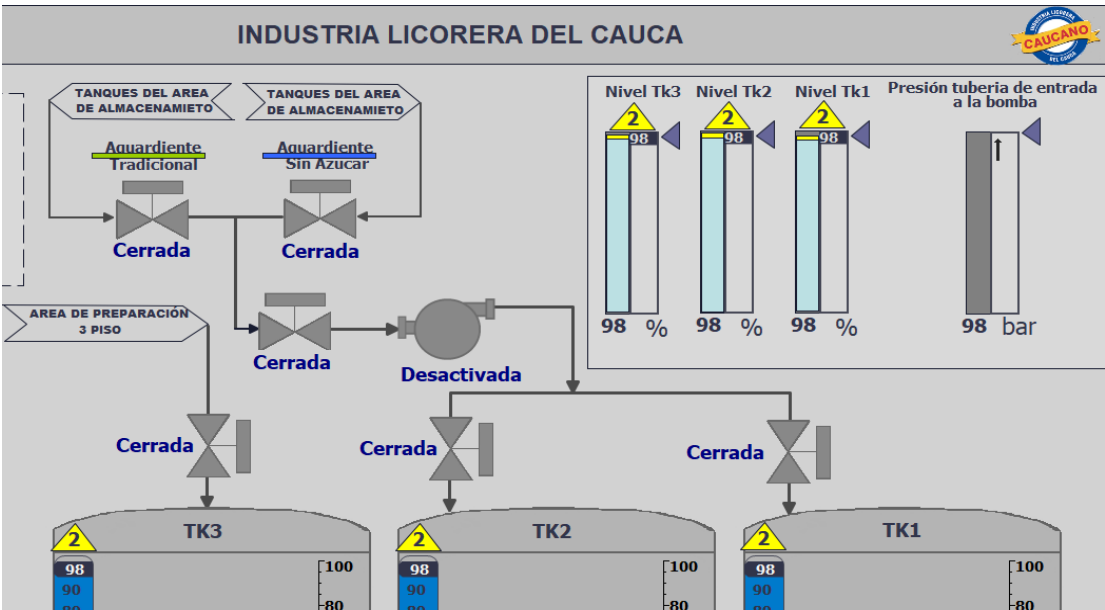


Figura 27. Indicadores de alarma prioridad 2.

Fuente: Propia.

Es importante destacar que en una interfaz de HMI de alto rendimiento, la alarma de prioridad 2 se representa como un triángulo de color amarillo con el número 2. Esto sirve para indicar claramente la alarma y su respectiva prioridad.

La **Figura 28** ilustra las alarmas de prioridad 1 en el sistema de supervisión. Estas se activan cuando los tanques alcanzan un nivel de llenado del 100%, superando el rango normal de operación que es hasta el 96% y las alarmas de prioridad 2.

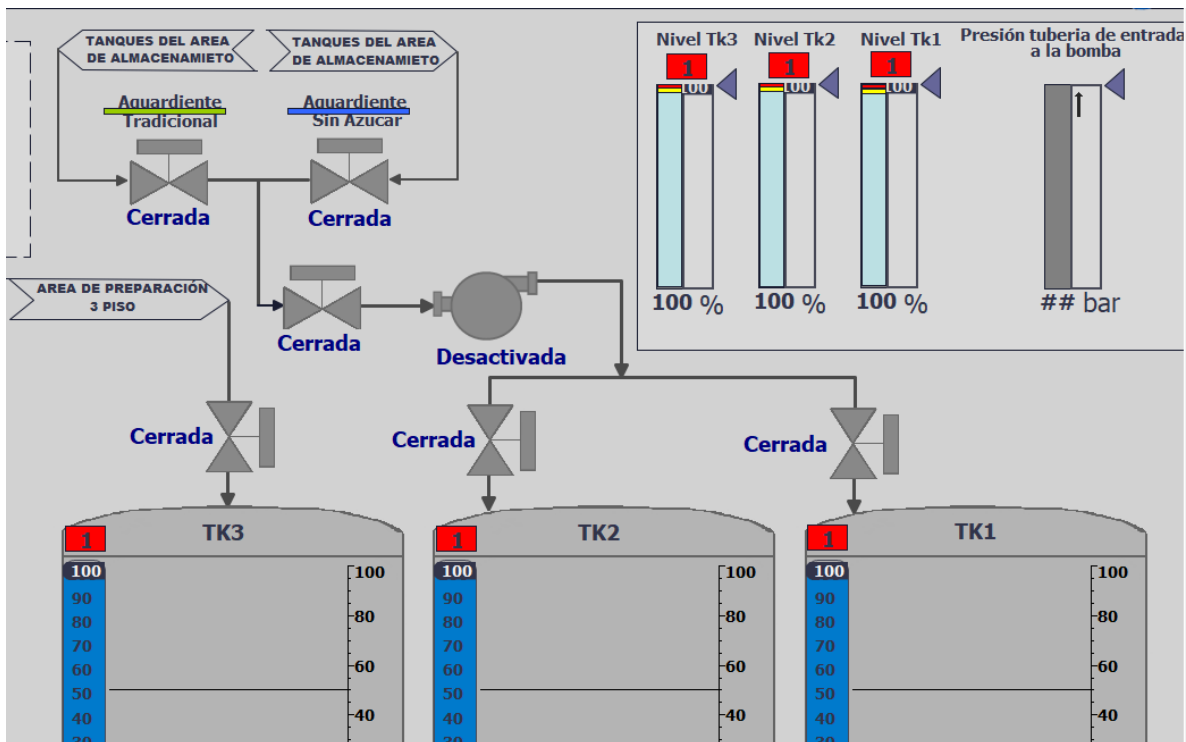


Figura 28. Indicadores de alarma prioridad 1.

Fuente: Propia.

Las alarmas de prioridad 1 se representan con un cuadrado rojo con el número 1, denotando su prioridad. Esta representación visual en una HMI de alto rendimiento facilita un reporte eficaz de las anomalías que puedan surgir durante el proceso.

El usuario tendrá la opción de elegir el tipo de aguardiente que se utilizará para llenar los tanques pulmón, además de poder seleccionar los tanques específicos que se llenarán. Una vez que se ha completado la configuración, el operario puede iniciar el proceso pulsando el botón 'Iniciar Automático'.

Es importante destacar que, para modificar la configuración del modo automático, se requiere desactivar previamente pulsando el botón 'Detener Automático'.



Figura 29. Pantalla tendencias del sistema de supervisión.

Fuente: Propia.

La siguiente figura ilustra la pantalla de niveles, diseñada para proporcionar una visión detallada del nivel de todos los tanques de almacenamiento. Esta pantalla ofrece una supervisión integral y detallada del proceso, permitiendo un monitoreo efectivo del nivel de los tanques de almacenamiento.



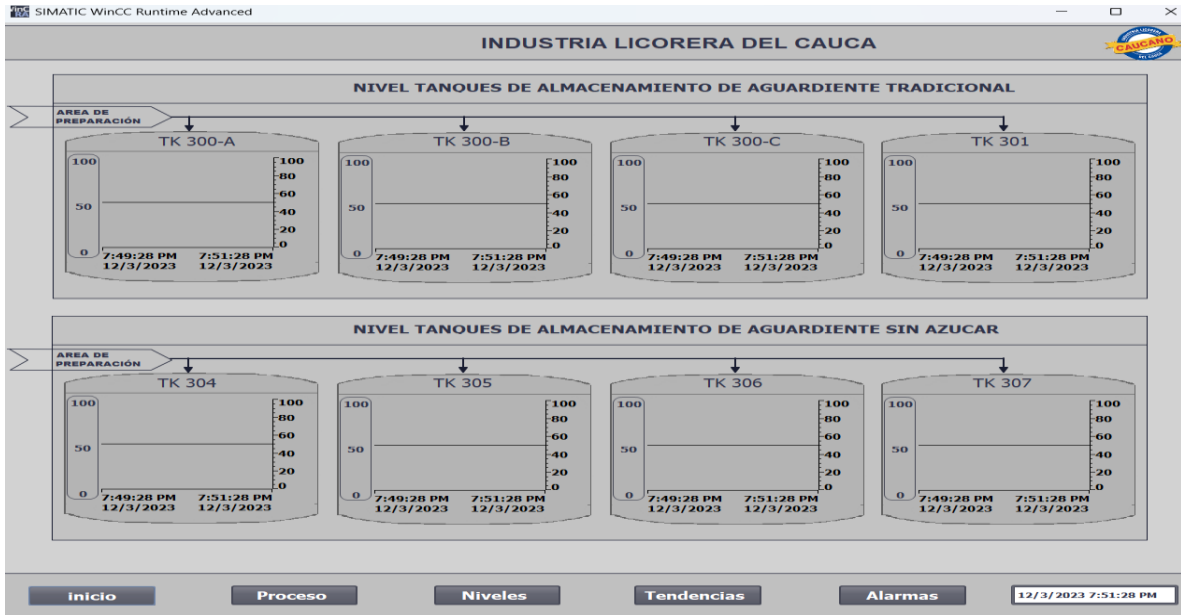


Figura 30. Pantalla niveles del sistema de supervisión.

Fuente: Propia.

En la siguiente figura se observa la pantalla Tendencias donde el usuario podrá elegir que tendencias desea observar para poder desplegarlas, cabe de resaltar que estas tendencias son históricas permitiendo un registro del llenado y vaciado de los tanques de almacenamiento.

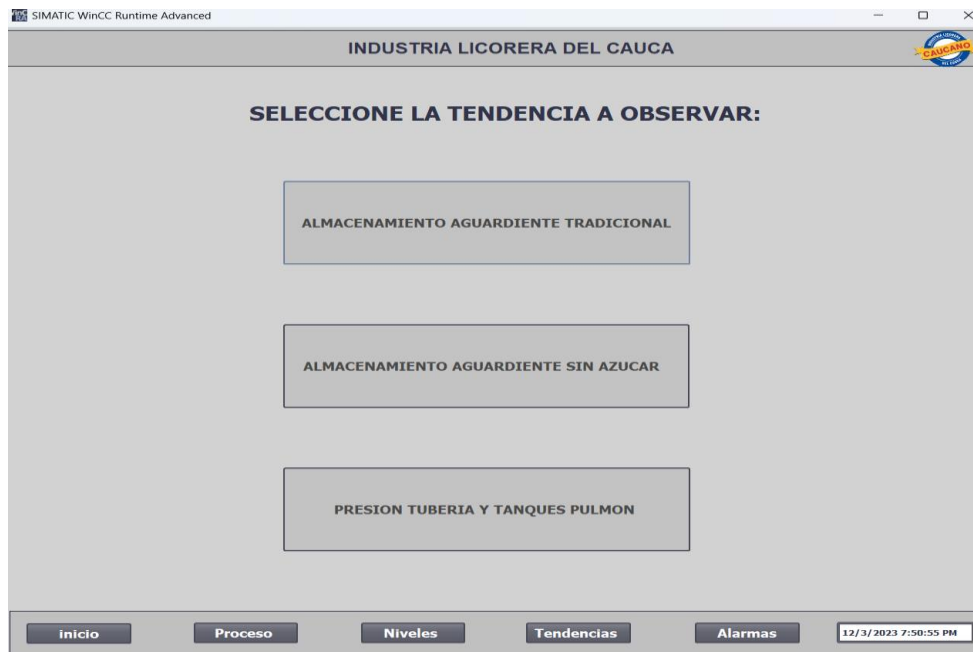


Figura 31. Pantalla de selección de tendencias.

Fuente: Propia.

Como ejemplo ilustrativo, se ha seleccionado la tendencia del almacenamiento de aguardiente tradicional, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 32. Pantalla de tendencias de los tanques de almacenamiento.

Fuente: Propia.

Por último, se presenta en la siguiente figura la pantalla de alarmas, donde el operario puede acceder a todos los registros de alarmas generadas durante el proceso de llenado de los tanques pulmón, cabe de resaltar que las alarmas se muestran en la pantalla de procesos. Y esta ventana solo guardara los registros de activación de dichas alarmas.

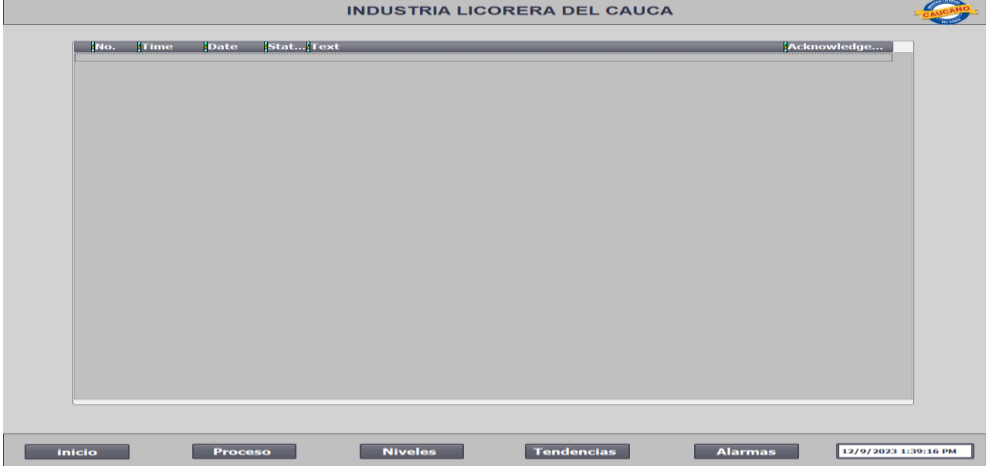


Figura 33. Pantalla de alarmas.

Fuente: Propia.

Es importante destacar que el operario puede navegar fácilmente por el sistema de supervisión mediante la barra de menú, la cual está siempre visible y disponible para la navegación.

## 5.6. Estudio económico para la implementación del sistema de supervisión del área anexa y el área de envasado

Con la identificación de la instrumentación requerida para la implementación del proyecto de automatización y las condiciones del proyecto en general se realizan cotizaciones con el objetivo de identificar los costos que tendrían su implementación

### 5.6.1. Costos de implementación

La instalación de la tubería y los componentes mecánicos es responsabilidad de una empresa externa, la cual proporciona el cálculo total del proyecto. Sin embargo, esta estimación no considera diversos aspectos. No se contemplan elementos de seguridad, como andamios o dotación, ni tampoco los costos de herramientas empleadas. Además, no se incluyen los gastos asociados a la energía ni los costos de contratación de personal, tales como seguridad social, pensiones y servicios de salud.

#### 5.6.1.1. Costos de instrumentación y elementos finales de control.

En la siguiente tabla se identifica la instrumentación que se requiere para todo el sistema de supervisión.

Dispositivo	Cantidad	Fabricante	Referencia	Precio unitario	Precio total
Transmisor de presión	8	Baumer	PBMH-24B11RA1445 1201000	\$ 2.600.000.00	\$ 20.800.000.00
Transmisor de presión	1	Festo	P531	\$ 660.000.00	\$ 660.000.00
Periferia descentralizada	1	Siemens	ET 200eco PN	\$ 3.860.000.00	\$ 3.860.000.00
Switch de comunicación	1	Siemens	6GK5204-2BB10-2AA3	\$ 1.200.000.00	\$ 1.200.000.00

Válvula solenoide	3	Danfoss	42502-200	\$ 525.200,00	1.575.600.00
Bomba centrífuga	1	Inoxpa	Bomba Centrífuga Hyginox '17 SE 20	\$ 12.878.000.00	\$ 12.878.000.00
Contactador	1	Siemens	3RT2035-1AN20	\$ 141.000.00	\$ 141.000.00
Total:					\$ 41.114.600.00

Tabla 16. Costos de instrumentación.

Fuente: Propia.

### 5.6.1.2. Presupuesto de Materiales para la Instalación, Montaje y Arranque.

En la tabla siguiente se tiene los materiales requeridos para la implementación del sistema de supervisión.

Artículo	Descripción	Cantidad	Referencia	Precio Unitario	Precio Total
Cable utp Blindado Cat 6	Cable Utp 90mts	2	Utp Cat 6 blindado	\$ 126.000.00	\$ 252.000.00
Conectores m12 b	M12-B 4 pines	15	M12-B 4 pines - hembra	\$ 105.000.00	\$ 1.575.000.00
Tornillo	Diámetro de 5 mm y una longitud de 35 mm.	16	Tornillo 5mm	\$ 400.00	\$ 6.400.00
Cubierta de conectores	Accesorio para proteger los conectores de la unidad de	2	Cubierta conectores DP	\$ 85.000.00	\$ 170.000.00

	periferia				
Conexión en Y	Permite unir dos cables m12	5	Conexión en Y DP M12	\$ 119.638.00	\$ 598.190.00
Abrazadera ajustable 3/4	Abrazadera ajustable 3/4	12	Abrazadera	\$ 2.000.00	\$ 24.000.00
Cable PROFINET IO y conector M12-D	Cable de comunicación	1	Cable PROFINET IO y conector M12-D	\$ 80.000.00	\$ 80.000.00
Canaletas	Protección 10 cm x 5 cm	180metros	Canaleta 10 cm x 5 cm	\$ 278.000.00	\$ 278.000.00
Mano de obra	Mano de obra	1 mes	Mano de obra	\$3.500.000.00	\$3.500.000.00
Total:					6.483.590.00

*Tabla 17. Elementos para el presupuesto de materiales.*

*Fuente: Propia.*

## **5.7. Análisis de costos.**

### **5.7.1. Análisis de pérdidas económicas.**

La Industria Licorera del Cauca (ILC) ha experimentado pérdidas diarias debido a la inactividad de su nueva línea de envasado. Esta situación ha llevado a no poder aumentar al 100% en su producción diaria estimada, en comparación con las estimaciones iniciales que se tenían al poner en funcionamiento la nueva línea.

**5.7.2. Inversión y Pérdidas:** La inversión realizada en la nueva línea de envasado aún no ha sido recuperada debido a su inoperatividad. Aunque no se han registrado valores específicos de pérdida, es evidente que la ILC está generando pérdidas actualmente. Sin embargo, la ILC ha optado por no divulgar la magnitud de estas pérdidas.

**5.7.3. Contribución Económica y Expectativas Futuras:** A pesar de los desafíos actuales, la Industria Licorera aportó al departamento un total de \$46.790.000.000 en 2022,

representando un incremento de \$10.000.000.000 con respecto al año anterior. Se proyecta un crecimiento del 14% para 2023, anticipando un hito significativo con la entrada en funcionamiento de la nueva línea de producción en 2024, con la expectativa de un aumento del 100% en la capacidad productiva.

La anterior envasadora tenía una capacidad de 4.800 botellas por hora, mientras que la nueva alcanza las 10.000 botellas por hora, un incremento del 112,5%.

Este progreso puede traducirse en términos monetarios:

- **Aumento en Ventas:** Un incremento del 25% en ventas podría generar ingresos adicionales de \$13.724.552.877, considerando que los ingresos por ventas de licor en 2022 ascendieron a \$54.898.607.508.
- **Reducción de Costos:** Una reducción del 10% en los costos de producción significaría un ahorro entre \$2.150.985.800 y \$3.150.985.800.
- **Mejora en Márgenes:** Un aumento del 5% en los márgenes podría traducirse en un aumento de ganancias entre \$4.075.492.900 y \$4.575.492.900.

La implementación de la nueva línea y el sistema de supervisión adyacente asegura un incremento notable en la capacidad productiva. Verificando la información con el encargado de caja de la industria licorera del cauca Raúl Rodríguez, esto permitirá a la empresa satisfacer una demanda en crecimiento, mejorar su competitividad y eficiencia operativa, además de reducir costos de producción. Se estima que la inversión aproximada de 50 millones de pesos para el proyecto se recuperará en su totalidad en el primer año de implementación.

#### **5.7.4. Cálculo del valor neto actual (VAN)**

El cálculo del Valor Neto Actual (VAN) sirve para determinar la rentabilidad de una inversión o proyecto. Se basa en la diferencia entre el valor presente de los flujos de caja futuros (ingresos y egresos) y la inversión inicial.

**VAN positivo:** la inversión es rentable.

**VAN negativo:** la inversión no es rentable.

**VAN cero:** la inversión no genera ni pierde dinero.

**El VAN es útil para:**

- Comparar diferentes inversiones: se puede elegir la que tenga el VAN más alto.
- Evaluar la viabilidad de un proyecto: si el VAN es negativo, se debe reconsiderar el proyecto.
- Tomar decisiones estratégicas: el VAN puede ayudar a determinar la mejor manera de asignar recursos.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} =$$

$$VAN = -48.000.000 + \frac{4.575.492.900}{(1+0,04)^1} + \frac{4.575.492.900}{(1+0,04)^2} + \frac{4.575.492.900}{(1+0,04)^3}$$

$$VAN = -48.000.000 + 4.399.512.404 + 4.230.300.388 + 4.067.596.527$$

$$VAN = \$ 12.649.409.319$$

## **6. Presentación y Difusión del Diseño de Arquitectura y HMI de Alto Rendimiento del Sistema de Supervisión para la industria licorera del cauca.**

Una vez finalizada la construcción del diseño de la arquitectura robusta y el Interfaz Hombre-Máquina (HMI) de alto rendimiento para el sistema de supervisión, se organizó una reunión con el asesor de la empresa y los operarios que estarán a cargo de la operación de dicho sistema.

El asesor de la empresa expresó su satisfacción con la arquitectura diseñada, destacando su robustez y gran escalabilidad, gracias a la utilización de una periferia descentralizada. Además, elogió la interfaz HMI de alto rendimiento, resaltando la facilidad con la que se puede manipular el sistema de supervisión y la claridad con la que se pueden comprender los datos del proceso.

Por otro lado, los operarios que estarán a cargo del sistema de supervisión también quedaron satisfechos con la interfaz. En particular, valoraron la facilidad de navegación y las diversas acciones que pueden realizar a través del sistema. La interfaz HMI de alto rendimiento demostró ser una herramienta eficaz para facilitar la comprensión del sistema de supervisión, incluso para aquellos miembros del personal que no tenían experiencia previa en el manejo de temas relacionados con la automatización.

En resumen, tanto el asesor de la empresa como los operarios quedaron satisfechos con el diseño y facilidad de uso del sistema de supervisión, lo que demuestra el éxito del diseño de la arquitectura y la interfaz HMI de alto rendimiento.



## **7. Conclusión.**

El análisis llevado a cabo en el marco de este proyecto ha permitido identificar y destacar los desafíos clave que enfrenta la Industria Licorera del Cauca en su proceso de producción de aguardiente. Este estudio se ha centrado en abordar el principal problema actual, ofreciendo soluciones concretas y viables.

A partir de la recopilación detallada de información, se han formulado propuestas específicas para atender los principales requerimientos de la Industria Licorera del Cauca. La propuesta destaca la implementación de un sistema de supervisión integral. En este sentido, se ha logrado el desarrollo de un software destinado al controlador lógico programable (PLC) y una interfaz hombre-máquina (HMI) de alto rendimiento. Estos elementos se han utilizado para simular el sistema de supervisión propuesto, garantizando su correcto funcionamiento previo a la fase de implementación de la automatización.

Es importante resaltar que, hasta el momento, la producción de aguardiente en esta empresa se ha llevado a cabo de manera completamente manual por parte del personal encargado del área de preparación y almacenamiento. La transición hacia la automatización supondrá un cambio significativo en los procesos operativos, lo que requiere una adaptación por parte del equipo de trabajo.

La Industria Licorera del Cauca, siendo una empresa pública, se enfrenta al desafío de no contar con personal debidamente capacitado en los avances de la automatización que se han desarrollado en los últimos años. Esta carencia dificulta la socialización y comprensión de los conceptos y tecnologías relacionados con la automatización por parte del personal existente. Antes de proceder con la implementación del diseño propuesto, se recomienda encarecidamente realizar una capacitación exhaustiva para el personal involucrado. Esta capacitación se enfocará en brindar los conocimientos y habilidades necesarias para comprender y operar el nuevo sistema automatizado. Además, se sugiere la selección cuidadosa de un equipo especializado que pueda llevar a cabo las operaciones requeridas para llevar a cabo la implementación de este diseño con éxito.

En resumen, este proyecto no solo ha identificado las áreas de mejora y los desafíos importantes que enfrenta la Industria Licorera del Cauca, sino que también ha propuesto soluciones concretas, sentando las bases para una transición exitosa hacia la modernización y automatización de sus procesos de producción de aguardiente.

## **8.0. Trabajos Futuros en la Industria Licorera del Cauca.**

Con el aumento significativo de la automatización en la línea de envasado y considerando la viabilidad económica de nuevos proyectos, se vislumbra la posibilidad de desarrollar e implementar iniciativas destinadas a mejorar la eficiencia en la industria licorera del Cauca. Entre los proyectos potenciales se encuentran:

- **Integración de Válvulas de Llenado en el Sistema de Supervisión para Tanques de Almacenamiento:** Esta iniciativa tiene como objetivo central obtener un control exhaustivo del flujo de líquido que ingresa a los tanques de almacenamiento. Mediante la implementación de válvulas conectadas al sistema de supervisión, se busca asegurar una gestión precisa y detallada de este proceso crítico.
- **Automatización del Sistema de Llenado y Vaciado de Tanques de Reposo:** El propósito de este proyecto es avanzar hacia la automatización del proceso de producción de aguardiente. Esto se lograría mediante el desarrollo e implementación de un sistema que optimice el llenado y vaciado de los tanques de reposo. El objetivo final es garantizar un control más preciso y una eficiencia superior en esta etapa clave de la producción.

Estas propuestas representan pasos significativos hacia la modernización y mejora de los procesos dentro de la industria licorera del Cauca, enfocados en maximizar la eficiencia operativa y la calidad del producto final.

## 9. Bibliografía.

1. Fernández, R. L., Carreño, J. A. C., & Cabrera, A. J. (2019). Development of a Supervision System for an Automated Guided Vehicle Using a Programmable Logic Controller. *IEEE Access*, 7, 100875-100886. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932507.
2. Li, Z., Li, Q., Yu, Q., Li, Y., & Li, J. (2021). Design of Monitoring System for the Wind Turbine Tower Based on Internet of Things. In *2021 IEEE 3rd International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering (REEE)* (pp. 132-136). IEEE.
3. Hao, J., Zhang, M., Zeng, Q., & Wang, X. (2021). Development of a Remote Monitoring System for Pesticide Residues in Fruits and Vegetables Based on the Internet of Things. In *2021 IEEE 7th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)* (pp. 682-687). IEEE.
4. Belkhouche, F. & Taylor, R.J. (2013). Instrumentation for Process Measurement and Control: An Overview. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 16(2), 7-13. doi: 10.1109/MIM.2013.6490026.
5. Goyal, R., Kumar, R., & Kumar, M. (2019). Data acquisition and analysis for industrial internet of things (IIoT) using big data analytics. En *2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)* (pp. 1-5). IEEE. doi: 10.1109/ICECCT.2019.8869266.
6. Aslan, T., & Ozcan, M. (2018). Human Machine Interface for smart home applications: A survey. In *2018 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)* (pp. 398-402). IEEE.
7. Hsu, Y. J., Chang, C. C., & Chen, J. H. (2016). An HMI for control of a large-scale smart grid. In *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)* (pp. 1-2). IEEE.
8. ISA. (2015). ISA-101, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems. [online] Available at: <https://www.isa.org/isa101> [Accessed Feb. 2023].
9. International Society of Automation (ISA). (2015). ANSI/ISA-101.01-2015 Human Machine Interfaces for Process Automation Systems. [online] Available at <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa101> [Accessed Feb. 2023].
10. Rimando, R. (2015). High-performance HMI design principles. In *2015 20th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)* (pp. 4-5). IEEE.

11. Seffah, A., Leung, H., & Vanderhaegen, G. (2017). High-performance human-machine interaction: a review of the state of the art. *Journal of Visual Languages & Computing*, 39(1), 1-15. doi:10.1016/j.jvlc.2016.09.001
12. Gross, T., Müller, C., & Tscheligi, M. (2014). Human-machine interaction for high-performance systems: principles, methods, and applications. In J. Jacko & A. Sears (Eds.), *Human-computer interaction. Design principles and concepts* (pp. 367-400).
13. Seffah, A., Czerwinski, M. S., & Müller, C. (2017). High-performance human-machine interaction: a research agenda. *Human-Computer Interaction*, 32(3), 243-280.
14. Liu, Y., Wang, L., Zhang, Y., & Zhang, S. (2019). A survey of supervisory control systems: taxonomy, challenges, and opportunities. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(11), 2427-2445.
15. El-Khodary, M. A. A., El-Sawy, A. M., & El-Sherif, A. A. A. (2017). Supervisory control systems: a review of design and evaluation methods. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 25(2), 789-802.
16. Wang, Y., Zhang, S., & Liu, Y. (2019). Supervisory control systems: a survey of emerging technologies. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 49(12), 3264-3281.