

**PUESTA A PUNTO DE LA EMBOTELLADORA DIDÁCTICA DE LA UNIVERSIDAD
DE AMÉRICA**

**CRISTIAN DANIEL ORDOÑEZ MOLINA
ANDRES FELIPE ZARATE MARIN**

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

**ORIENTADOR:
WILMAR MARTINEZ URRUTIA
ING. MSC.**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.**

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. , Agosto de 2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ramiro Augusto Forero Corzo

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Secretaria General

Dr. Jose Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingeniería

Ing. Naliny Guerra Prieto

Director del Programa

Dra. María Angelica Acosta Perez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIAS

A mi mamá Vilma Tatiana Marín, y a mi papá Joselyn Zarate, por guiarme siempre y cuidarme, y por buscar mi bienestar ante cualquier situación adversa. Su amor incondicional y su sacrificio constante son la base sobre la que se ha construido este logro. No hay palabras suficientes para expresar mi gratitud por todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanos, Santiago y Sara Zarate, quienes son mi inspiración diaria. Como el hermano mayor, deseo ser un ejemplo para ustedes, alguien en quien puedan confiar y de quien puedan sentirse orgullosos. Gracias por su amor, su apoyo y por ser la luz en mi camino.

A mi familia en general, tanto cercanos como lejanos, que han estado presentes en cada paso de este camino. Su apoyo, sus palabras de aliento y su fe en mí han sido fundamentales para alcanzar esta meta. Gracias por creer en mí y por estar siempre a mi lado.

A mi pareja, Alejandra Dorado, por su amor, comprensión y paciencia. Gracias por ser mi roca, por animarme en los momentos de duda y por celebrar conmigo cada pequeño logro. Tu apoyo ha sido invaluable tanto en mi vida académica como personal y estoy profundamente agradecido por tenerte a mi lado.

A mis compañeros, profesores y directivos que, con su conocimiento, guía y apoyo, han contribuido de manera significativa a mi formación. Gracias por cada enseñanza, consejo y por creer en mis capacidades. Su influencia ha sido crucial en la culminación de este sueño.

A todos ustedes, mi más sincero y profundo agradecimiento. Este logro es tanto mío como suyo, y lo llevo en el corazón con una gratitud infinita.

Andrés Felipe Zarate Marín

A mi mamá, por ser la fuente inagotable de amor, apoyo y sabiduría. Tu fortaleza y dedicación me han inspirado en cada paso de este camino. Gracias por ser mi guía y mi refugio en los momentos difíciles, y por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo y perseverancia. Este logro es tanto tuyo como mío.

A mi papá, por tu constante aliento y confianza en mí. Gracias por tus consejos, por creer en mis capacidades y por inculcarme la importancia del trabajo duro y la integridad. Tu ejemplo me ha motivado a seguir adelante y a dar lo mejor de mí en todo lo que hago.

A mis amigos y familiares, por su cariño y apoyo incondicional. Gracias por estar siempre ahí, por celebrar mis logros y por levantarme en los momentos de duda.

A mis profesores y mentores, por su orientación y conocimientos compartidos. Gracias por despertar en mí la pasión por aprender y por guiarme en este viaje académico.

Y finalmente, a todos aquellos que, de una manera u otra, han contribuido a la realización de este trabajo. A todos ustedes, gracias de corazón.

Cristian Daniel Ordoñez Molina

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos expresar nuestra más profunda gratitud a Dios, por ser nuestra fortaleza y guía constante, y por brindarnos la oportunidad y la capacidad de alcanzar esta meta tan significativa en nuestras vidas.

A nuestros queridos padres y familiares, queremos agradecerles de todo corazón por su amor incondicional, su apoyo constante y por creer en nosotros en cada paso de nuestra formación. Sin su sacrificio y motivación, este logro no hubiera sido posible. A nuestras madres y padres, quienes nos han inculcado valores y nos han proporcionado el soporte emocional y financiero necesario para superar los desafíos que encontramos en el camino.

Nuestro más sincero agradecimiento al profesor Wilmar Martínez Urrutia, cuya guía y orientación fueron cruciales para la ejecución y culminación de este trabajo. Su dedicación y compromiso, demostrados incluso fuera de sus horarios laborales, fueron invaluable para nosotros. Su paciencia, sus consejos y su inquebrantable apoyo académico y personal nos impulsaron a dar lo mejor de nosotros en cada etapa del proyecto.

Queremos también agradecer profundamente al profesor Edgar Chala, por sus valiosos aportes y conocimientos que enriquecieron significativamente nuestro proyecto. Sus enseñanzas nos proporcionaron una base sólida y su constante disposición para ayudarnos fue un pilar fundamental en nuestro proceso formativo.

Al profesor Rolando Soler, le extendemos nuestra gratitud por su asistencia técnica y colaboración en la mecanización de componentes esenciales para nuestro proyecto. Su experiencia y apoyo técnico fueron determinantes para la correcta implementación de varias etapas cruciales del proyecto, y su ayuda nos permitió superar numerosos obstáculos.

A nuestra compañera Alejandra, le agradecemos por su colaboración y camaradería durante todo el proceso. Su disposición para trabajar en equipo y su constante apoyo fueron esenciales para el éxito de nuestra investigación.

También queremos expresar nuestro agradecimiento a mi jefe de trabajo, quien nos brindó su conocimiento y apoyo, facilitando la integración de aspectos prácticos y teóricos en

nuestro proyecto.

Deseamos reconocer especialmente la colaboración de los encargados de los laboratorios de la Universidad. Su disposición para brindarnos los servicios necesarios y su apoyo incondicional, incluso en los momentos más difíciles, fueron clave para el desarrollo de nuestra investigación. Su profesionalismo y dedicación excedieron nuestras expectativas y permitieron que nuestro trabajo se realizara de manera efectiva y eficiente.

Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, estuvieron presentes durante este proceso. Aunque tal vez no podamos mencionarlos a todos, sepan que les agradecemos de corazón por su apoyo y compañía. A nuestros amigos y compañeros de clase, quienes compartieron con nosotros tanto los momentos de alegría como los de dificultad, y a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a que este proyecto se hiciera realidad.

Gracias a todos, de verdad.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	16
1. OBJETIVOS	17
1.1. Objetivo General	17
1.2. Objetivos específicos	17
2. INTRODUCCIÓN	18
3. JUSTIFICACIÓN	20
4. PLANTEAMIENTO PROBLEMA	21
4.1. Pregunta de investigación	21
5. MARCO TEÓRICO	22
5.1. Máquinas embotelladoras	22
5.1.1. <i>Tipos de embotelladoras</i>	22
5.2. Proceso de envasado	23
5.3. Programación de PLCs ópticos y sus beneficios	25
5.3.1. <i>Técnicas de programación</i>	25
5.4. Sistemas de Control	26
5.4.1. <i>Componentes principales</i>	26
5.4.2. <i>Interconexión y Comunicación</i>	27
5.5. PCB (Placa de circuito impreso)	27
5.5.1. <i>Puntos importantes para la realización de la PCB</i>	28
5.5.2. <i>Tipos de PCB</i>	28
5.5.3. <i>Normas IPC</i>	29
5.6. Elementos de control: Sensores de nivel y capacitivos.	30
5.6.1. <i>Funcionamiento y aplicaciones</i>	30

5.6.2.	<i>Especificaciones técnicas importantes</i>	31
5.7.	Normatividad para los planos P&ID	31
5.7.1.	<i>Importancia y aplicaciones</i>	32
5.7.2.	<i>Estructura</i>	32
6.	DESARROLLO	34
6.1.	Caracterización del funcionamiento inicial de la máquina embotelladora.	34
6.1.1.	<i>Caracterización inicial</i>	34
6.1.2.	<i>Planos iniciales</i>	35
6.1.3.	<i>Funcionamiento general del sistema</i>	35
6.1.4.	<i>Diagnóstico inicial</i>	36
6.2.	Automatización de la máquina embotelladora	54
6.2.1.	<i>Solución de fallas por cada zona</i>	54
6.2.2.	<i>Programación</i>	86
6.3.	Elaboración de planos y documentación de operación	100
6.3.1.	<i>Planos finales con las adecuaciones realizadas</i>	100
6.3.2.	<i>Manual de usuario</i>	105
6.3.3.	<i>Resultados</i>	105
7.	CONCLUSIONES	111
	REFERENCIAS	115
	ANEXOS	117

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ilustración de los pasos para llevar a cabo el proyecto	19
Figura 2. Plano P&ID de la zona 1 en estado inicial	37
Figura 3. Fotografía y símbolo de V-101	37
Figura 4. Fotografía y símbolo de T-101	38
Figura 5. Fotografía y símbolo de P-101	39
Figura 6. Fotografía y símbolo de T-102	39
Figura 7. Fotografía y símbolo del termostato	40
Figura 8. Fotografía y símbolo de P-102	41
Figura 9. Suciedad en tanques por óxido	42
Figura 10. Plano P&ID de la zona 2 en estado inicial	42
Figura 11. Fotografía y símbolo de V-102, V-103 y V-104	43
Figura 12. Fotografía y símbolo de T-103, T-104 y T-105	44
Figura 13. Fuga en las tuberías de los tanques	44
Figura 14. Exceso de silicona en la salida del tanque	45
Figura 15. Fotografía y símbolo de V-105, V-106 y V-107	45
Figura 16. Plano P&ID de la zona 3 en estado inicial	46
Figura 17. Fotografía y símbolo de T-106	47
Figura 18. Fotografía y símbolo de V-108	48
Figura 19. Sensor de llenado de las botellas	48
Figura 20. Banda Transportadora	49
Figura 21. Carrusel de alistamiento	50
Figura 22. Dispensador de tapas	50
Figura 23. Sensor de tapado de las botellas	51
Figura 24. Mecanismo que ejerce presión para sellar las botellas	52
Figura 25. Mecanismo que facilita el movimiento de aire	53
Figura 26. Fuga de agua por falta de empaque en válvula manual	55
Figura 27. Solución de fuga de agua en la válvula manual	55
Figura 28. Fluido resultante de la activación bomba agua caliente en mal estado	56
Figura 29. Mejor apariencia del fluido de dosificación	57

Figura 30. Falla de llenado Tanque A	57
Figura 31. Tablero de conexión del sector de las electroválvulas	58
Figura 32. Solución de problemática de llenado del tanque A	58
Figura 33. Partículas de óxido en el tanque C	59
Figura 34. Purga Tanque C	59
Figura 35. Desmonte de los tanques de dosificación A, B y C	60
Figura 36. Limpieza de los tanques de dosificación	60
Figura 37. Tanque A en buen estado para el almacenamiento del fluido	61
Figura 38. Unión salida Tanque A y electroválvula	61
Figura 39. Refrentado tanque A máquina CNC	62
Figura 40. Base a reutilizar en los nuevos tanques	63
Figura 41. Torneado para la base de los tanques	63
Figura 42. Perforación base tanques	64
Figura 43. Roscado de las bases de los tanques	64
Figura 44. Unión del tanque con sus respectivos ajustes	65
Figura 45. Reconexión de los sensores tanques de dosificado	65
Figura 46. Resultado final tanques de dosificación	66
Figura 47. Sistema inicial y sistema mejorado de las bases para los tanques de dosificación	68
Figura 48. Bomba de dosificación para tanques	69
Figura 49. Diagrama de cotas de los tanques A, B y C	70
Figura 50. Derivación para convertidor de voltaje	72
Figura 51. Diagrama Proteus elementos dentro de la PCB	73
Figura 52. Diagrama de la PCB	73
Figura 53. Realización de la PCB	74
Figura 54. Serigrafía de la PCB	74
Figura 55. Montaje de los componentes eléctricos en la PCB	75
Figura 56. Cableado de la PCB	75
Figura 57. Montaje de la PCB a la Carcasa de la máquina	76
Figura 58. Llenado del tanque de mezclado	76
Figura 59. Sistema de válvula antirretorno implementado	77
Figura 60. Diagrama salida de flujo de la válvula antirretorno	77
Figura 61. Diagrama ingreso de flujo de la válvula antirretorno	78

Figura 62. Excesos de silicona en el tanque de mezclado	79
Figura 63. Tanque de mezclado sin residuos de silicona	79
Figura 64. Suciedad al interior del tanque y su eje mezclador	80
Figura 65. Lavado de tanque de mezclado	80
Figura 66. Nueva hélice montada en el eje mezclador	81
Figura 67. Sistema antiguo de dosificado para las botellas	81
Figura 68. Dosificación de botellas	82
Figura 69. Diagrama de cotas tanque de mezclado y dosificado	83
Figura 70. Falta de funcionamiento del sensor	83
Figura 71. Medición de continuidad zona de motores en el tablero de control	84
Figura 72. Conexión del PWM	85
Figura 73. Conexión del PWM al motor de la banda transportadora	85
Figura 74. Monitor con la identificación de las entradas del OPLC	91
Figura 75. Programa de activación de salidas para el OPLC	91
Figura 76. Simulación de las variables iniciales controladas por el usuario	94
Figura 77. Entradas físicas de la máquina embotelladora	95
Figura 78. Salidas de OPLC preliminar	96
Figura 79. Identificación de la programación monitor PLC	98
Figura 80. Diagrama P&ID suministrado de la máquina embotelladora	101
Figura 81. Diagrama electroneumático suministrado de la máquina embotelladora	102
Figura 82. Plano suministrado de entradas del tablero de la máquina embotelladora	103
Figura 83. Plano de salidas del tablero de la máquina embotelladora	103
Figura 84. Diagrama de flujo del proceso	107
Figura 85. Plano electroneumático inicial	117
Figura 86. Plano P&ID inicial	118
Figura 87. Plano cotas tanques A, B y C	119
Figura 88. Plano cotas tanque de mezclado	120
Figura 89. Esquema GRAFCET programación máquina embotelladora	121
Figura 90. Programación Ladder en VisiLogic	122
Figura 91. Diagrama P&ID final	132
Figura 92. Plano electroneumático final	133
Figura 93. Plano entradas de tablero de control	134

Figura 94. Plano salidas de tablero de control	135
Figura 95. Plano dimensiones elementos hidráulicos	136
Figura 96. Plano hidráulico simbología	137

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Caracterización de bombas 110V	41
Tabla 2. Caracterización de las bombas de 12V	69
Tabla 3. Componentes eléctricos del tablero de control	86
Tabla 4. Entradas del OPLC	92
Tabla 5. Salidas del OPLC	92
Tabla 6. Identificación de componentes del control de mando	98
Tabla 7. Análisis de repetibilidad e el proceso de embotellado	108
Tabla 8. Análisis de eficiencia – Zona 1	109
Tabla 9. Análisis de eficiencia – Zona 2	109
Tabla 10. Análisis de eficiencia – Zona 3	110
Tabla 11. Recopilación de la eficiencia por cada zona	110

RESUMEN

El presente proyecto de grado se enfoca en la puesta a punto de la máquina embotelladora planteada en la tesis “Diseño y Desarrollo tecnológico de un equipo de envasado didáctico para el laboratorio de control de producción de la Fundación Universidad de América” [1], elaborada en el 2018 por Jeison Palacios y Angie Salinas; para posteriormente ser intervenida por la empresa Ingenium.

Al realizar un análisis inicial del sistema se determinó que no se encontraba en las condiciones necesarias para su operación, por lo cual se parte de una caracterización del funcionamiento inicial de la máquina embotelladora, además de realizar los diferentes planos que abarcan la secuencia de operación de cada uno de los componentes; y un diagnóstico por cada una de las zonas del equipo, las cuales se encuentran segregadas por el tipo de proceso que llevan a cabo. Esto se realiza con el fin de identificar las problemáticas que se deben solucionar.

Posteriormente, se explica la causa de falla de cada uno de los componentes de la máquina y una breve descripción del proceso de mantenimiento para que estos cumplan con su labor en el proceso; a su vez se realizaron los cálculos respectivos de presiones por los cuales se tomó la decisión de cambiar el diseño e implementar un nuevo sistema de bombeo. A continuación, se llevó a cabo el diagnóstico de la programación del OPLC, donde se identifica que no se podía extraer directamente del mismo por lo que fue requerida al fabricante, sin embargo, este no suministró el código realizado para la automatización del proceso; lo que se convierte en una complicación debido a que al ser una máquina didáctica es fundamental que los estudiantes puedan analizar y de ser necesario modificar esta programación; siendo requerida la elaboración de un nuevo código.

Por último, se evalúan las condiciones finales de la máquina posterior a la intervención realizada, además de la explicación de los nuevos planos y el respectivo manual de usuario.

Palabras clave: Embotelladora didáctica, Análisis de criticidad, Eficiencia Operativa, Error de la medición.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Realizar la puesta a punto de la máquina embotelladora del laboratorio de automatización de la Universidad de América para mejorar la eficiencia de la producción y garantizar una repetibilidad adecuada para llevar a cabo los distintos procesos de enseñanza presentados por la universidad.

1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el funcionamiento actual de la máquina embotelladora, identificando los puntos críticos que afectan la operación efectiva.
- Realizar la automatización de la máquina embotelladora para mejorar la eficiencia y repetibilidad actual de esta.
- Elaborar los planos y la documentación necesaria para la operación de la máquina embotelladora.

2. INTRODUCCIÓN

En el contexto de formación y desarrollo de competencias, la Universidad de América ha integrado una máquina embotelladora en sus instalaciones, desempeñando un papel crucial en la formación de los estudiantes al permitirles realizar experimentos prácticos y controlar propiedades críticas de los líquidos, como la composición, temperatura y condiciones iniciales. Los estudiantes interactúan con la máquina a través de una pantalla digital para monitorear y ajustar estos parámetros en tiempo real, proporcionando una experiencia práctica en la manipulación de procesos químicos.

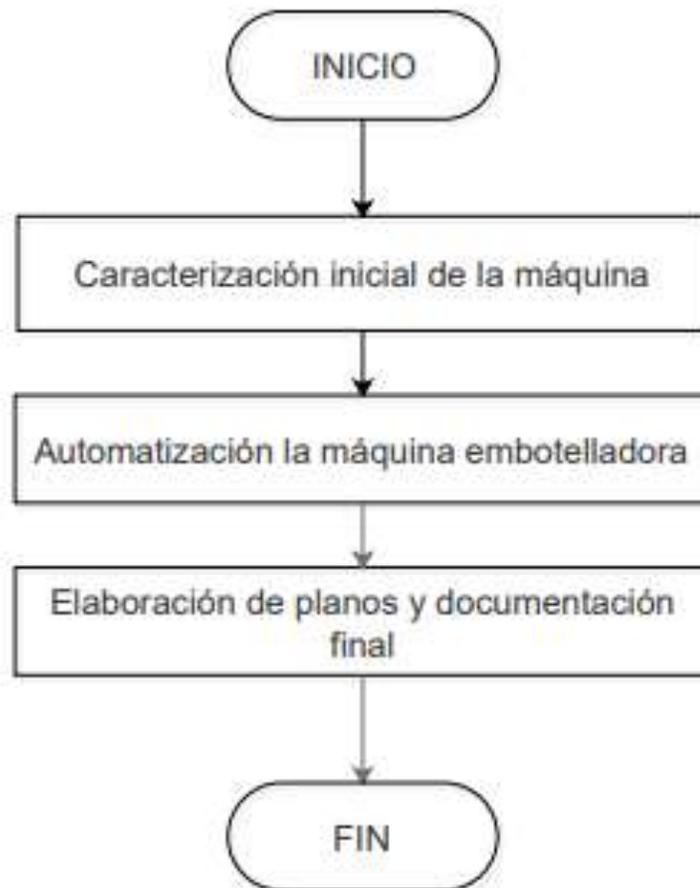
Sin embargo, a lo largo del tiempo, la máquina ha experimentado inconvenientes que han afectado su eficiencia y confiabilidad en el proceso de enseñanza, entre estos se incluye: la acumulación de suciedad en los tanques de agua, problemas de flujo en los tanques de repartición (A, B y C), deformaciones en el eje mezclador, insuficiente presión en la zona de llenado, deficiencias en el sellado de botellas, problemas de aislamiento eléctrico y la falta de planos eléctricos e hidráulicos.

Estas fallas iniciales han planteado desafíos significativos en la calidad de las experiencias de aprendizaje, lo que motiva la necesidad de una puesta a punto estratégica. El presente proyecto de grado se enfoca en la automatización de la máquina embotelladora de la Universidad de América para garantizar que los estudiantes puedan aprovecharla al máximo, alineándose con el enfoque didáctico propuesto. La eficiencia y operación adecuada de equipos en instituciones educativas son cruciales para la calidad de la experiencia de aprendizaje, y este proyecto busca contribuir a la excelencia educativa de la Universidad de América.

Se divide en tres etapas el proceso para llevar a cabo la puesta a punto de la máquina embotelladora, estos son: en primer lugar, se realiza la caracterización del funcionamiento actual de la máquina embotelladora, realizando un análisis del funcionamiento y un diagnóstico tanto general como por componente; en segundo lugar, se realiza la automatización del equipo, realizando la solución de cada una de las fallas encontradas, además del desarrollo de una nueva programación. Por último, se realiza la elaboración de planos y documentación de operación. Para mayor claridad y comprensión de lo mencionado se ilustra la serie de pasos en la Figura 1.

Figura 1.

Ilustración de los pasos para llevar a cabo el proyecto



Nota. En la imagen anterior (elaboración propia), se puede observar una ilustración para mayor comprensión de los pasos para llevar a cabo la puesta a punto de la máquina embotelladora.

3. JUSTIFICACIÓN

A pesar de que la Universidad de América cuenta con una planta de manejo de fluidos, esta no está operando de manera óptima. La puesta en marcha de la máquina embotelladora es esencial para complementar la formación de los estudiantes, ya que no solo mejora la eficiencia y la repetibilidad de las operaciones en el laboratorio, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos reales de la industria en un entorno competitivo y en constante evolución.

No implementar un programa adecuado de puesta en marcha resultaría en una gestión económica subóptima de los recursos previamente invertidos en la adquisición del equipo, lo que llevaría a una pérdida de capital no aprovechada.

El funcionamiento de esta máquina embotelladora permitirá a la Universidad de América disponer de un equipo adicional para la enseñanza de procesos que involucren PLC, bombas, válvulas, motores y transferencia de calor. Esto tendrá un gran impacto en asignaturas como termofluidos, termodinámica, mecánica de fluidos, transferencia de calor, electrónica, máquinas hidráulicas, mantenimiento y neumática, entre otras materias afines a este proceso.

4. PLANTEAMIENTO PROBLEMA

La universidad de América cuenta con laboratorios para que los estudiantes realicen allí sus actividades investigativas y las lleven a la práctica, para ello requieren de equipos con una tecnología eficiente y útil que cumpla con los parámetros de seguridad y funcionalidad. Una de las máquinas que no está en operación en estos laboratorios es la máquina embotelladora, la cual cumple con la función de llenado y sellado de botellas plásticas a una temperatura requerida. Esta máquina entra a la universidad en el año 2019 en medio de la pandemia, esto llevó a los estudiantes a no hacer uso de los equipos del laboratorio, razón por la cual esta máquina quedó estática totalmente en su funcionamiento, sumado a esto la ausencia de constantes revisiones y mantenimientos desencadenó en una baja eficiencia en la producción de botellas y poca repetibilidad en sus muestras.

4.1. Pregunta de investigación

¿Cuál es la mejor estrategia para restaurar la operatividad de la máquina embotelladora en la Universidad de América, considerando su inactividad durante la pandemia y la falta de mantenimiento, a fin de garantizar la eficiencia y repetibilidad en las actividades prácticas de los estudiantes?

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Máquinas embotelladoras

Las embotelladoras son dispositivos mecánicos que tienen como objetivo el llenado, etiquetado y sellado de botellas o recipientes conteniendo líquidos. Garantizan la calidad y seguridad del producto final en las industrias de bebidas, alimentos y productos químicos. El avance de la tecnología en las embotelladoras ha experimentado grandes cambios, introduciendo innovaciones que aumentan la eficiencia, precisión y limpieza del proceso de envasado.

5.1.1. Tipos de embotelladoras

Las embotelladoras pueden ser categorizadas según diferentes criterios, tales como su capacidad de producción, la tecnología utilizada y su aplicación específica en la industria. Aunque la información específica sobre tipos y tecnologías es limitada en las fuentes proporcionadas; se pueden inferir algunas categorías generales basadas en la descripción de los sistemas de embotellado y las necesidades de las industrias alimentaria y petroquímica [2]:

5.1.1.a. Según capacidad de producción:

Embotelladoras de baja producción. Perfectas para startups o pequeños negocios con una demanda moderada, estas máquinas fueron específicamente diseñadas para producir cantidades reducidas.

Embotelladoras de mediana producción. Con la capacidad de gestionar volúmenes moderados, son ideales para empresas medianas o plantas de producción secundarias.

Embotelladoras de alta producción. Se utilizan equipos de gran envergadura especialmente diseñados para la fabricación a gran escala de bebidas o productos químicos, dentro de las instalaciones industriales más grandes.

5.1.1.b. Según capacidad de producción:

Embotelladoras Tradicionales. Emplean sistemas mecánicos simples para completar y cerrar los recipientes.

Embotelladoras Automatizadas. Utilizamos tecnología moderna, como PLCs y sensores, para incrementar la precisión y eficiencia del proceso de embalaje.

Embotelladoras Robóticas. Se emplea robótica para manipular las botellas, lo cual brinda precisión y flexibilidad en la producción.

5.1.1.c. Según aplicación:

Embotelladoras para Bebidas. Expertas en el embotellado de agua, refrescos, vinos y otros líquidos.

Embotelladoras para Productos Químicos. Específicamente concebidas para el manejo de líquidos corrosivos o peligrosos, estas herramientas cumplen con requisitos estrictos en términos de seguridad y sanitarios.

Embotelladoras Multiusos. Con la capacidad de gestionar una amplia gama de productos líquidos, adaptándose a diversas exigencias en términos de producción.

Hay que tener en cuenta que al elegir un sistema de embotellado se deben considerar las necesidades particulares de la empresa, como el nivel de producción, el tipo de producto a envasar y los estándares de calidad y seguridad. Los avances tecnológicos y métodos de envasado han sido significativos, proporcionando soluciones que abarcan desde sistemas mecánicos sencillos hasta sistemas automatizados y robóticos completos, los cuales pueden adaptarse a diversas aplicaciones industriales [3].

5.2. Proceso de envasado

El proceso de envasado mencionado previamente sigue siendo válido. Sin embargo, para profundizar en algunos puntos específicos utilizando la información de las fuentes [4]:

Preparación de la línea. Es esencial asegurar la calidad y seguridad del producto final, por lo que se requiere configurar el equipo de embalaje de acuerdo a las especificaciones del producto.

Llenado. Es importante llenar con precisión para evitar desperdicios y asegurar que cada unidad tenga la cantidad exacta de producto. Al automatizar este paso, se pueden disminuir los errores cometidos por

humanos y aumentar la productividad.

Cierre. Para mantener la integridad del producto, es primordial asegurarse de cerrar correctamente las unidades de embalaje. La automatización en este paso se da mediante el uso de la taponadora de rosca VS2000 mencionada, lo cual permite aplicar los tapones de manera automática y optimiza el proceso.

Verificación. Para garantizar que todos los elementos del embalaje sean correctos, la verificación es indispensable. La automatización industrial tiene la capacidad de ayudar en el control de calidad al inspeccionar y verificar las características del producto, asegurando así su cumplimiento con los estándares establecidos.

5.2.1. Automatización y mejora continua

La automatización y la implementación de tecnologías avanzadas pueden optimizar el proceso de envasado de diversas formas [5]:

Reducción de errores. La automatización disminuye las probabilidades de cometer errores humanos, lo cual se traduce en un producto final con mayor precisión y consistencia.

Aumento de productividad. Las operaciones manuales no pueden competir en velocidad con las máquinas de embalaje automatizadas, lo que hace posible aumentar la capacidad de producción sin afectar la calidad.

Mejora de la eficiencia operativa. Las operaciones manuales no pueden competir en velocidad con las máquinas de embalaje automatizadas, lo que hace posible aumentar la capacidad de producción sin afectar la calidad.

Cumplimiento normativo. Las operaciones manuales no pueden competir en velocidad con las máquinas de embalaje automatizadas, lo que hace posible aumentar la capacidad de producción sin afectar la calidad.

La automatización industrial se ha comprobado como una herramienta esencial para aumentar la eficiencia, productividad y calidad en el ámbito industrial. Utilizando tecnologías y sistemas inteligentes, las empresas pueden mejorar sus procesos, disminuir gastos y obtener una ventaja competitiva [5].

5.3. Programación de PLCs ópticos y sus beneficios

Los PLCs ópticos son una nueva generación de Controladores Lógicos Programables (PLCs) que presentan notables mejoras en comparación con los PLCs convencionales. Estos avances engloban una mayor flexibilidad, la disminución de costos y un mejor acceso a la programación y configuración. Corresponden a una versión actualizada de los PLCs tradicionales que emplean comunicaciones mediante luz para transmitir datos entre los distintos componentes del sistema. A diferencia de los PLCs tradicionales, que dependen del uso de cables para la comunicación, esto representa un contraste. Los beneficios de los PLCs ópticos incluyen [6]:

Flexibilidad. El uso de los PLCs ópticos brinda una mayor libertad en el posicionamiento de equipos y sensores, ya que evita la necesidad de utilizar cables extensos para interconectar los dispositivos. Esta característica permite la reestructuración de la planta y el crecimiento de la infraestructura para gestionar mejor.

Costos reducidos. Los PLCs ópticos tienen la capacidad de reducir considerablemente los costos relacionados con la instalación y el mantenimiento de sistemas de control al eliminar la necesidad de cables largos y conexiones físicas. También, se pueden generar ahorros en la compra de equipos al necesitar menos hardware.

Accesibilidad. Tanto la programación como el mantenimiento son más accesibles gracias a los PLCs ópticos. La comunicación mediante fibra óptica posibilita una conexión directa y segura entre el controlador lógico programable (PLC) y los dispositivos periféricos, simplificando la actualización de programas y la solución de problemas.

5.3.1. Técnicas de programación

La programación de controladores lógicos programables, tanto ópticos como tradicionales, se lleva a cabo principalmente utilizando lenguajes dedicados especialmente para esta tarea. Los métodos y lenguajes de programación comúnmente utilizados incluyen [7]:

Ladder Logic. Este idioma de programación es considerado como el más tradicional y se utiliza ampliamente en PLCs. Elabora esquemas de circuitos en formato de escalera lógica, lo que ayuda a comprender e implementar lógicas de control complejas. El PLC controla cada acción específica representada por cada peldaño, desde una entrada o serie de entradas (contactos) hasta una salida (bobina).

Diagrama de Bloques de Funciones (FBD). Esta técnica se basa en el uso de gráficos para representar tanto funciones lógicas como matemáticas. Permite a los programadores diseñar flujos de trabajo complejos de manera intuitiva, lo que hace que sea una forma sencilla y visual de programar. La simbología de FBD resulta especialmente beneficiosa a la hora de expresar operaciones aritméticas y lógicas intrincadas con claridad y brevedad.

Tanto estos lenguajes como Structured Text (ST) y Sequential Function Chart (SFC). Ofrecen distintos niveles de abstracción y usabilidad, dándole a los programadores la opción de seleccionar el enfoque que más se ajuste a sus necesidades particulares. El lenguaje de programación será elegido en función del proyecto, la experiencia del programador y sus preferencias personales.

5.4. Sistemas de Control

El uso de sistemas de control industrial es esencial en diferentes industrias con el fin de automatizar y mejorar la eficiencia de los procesos. Los componentes principales que conforman estos sistemas incluyen:

5.4.1. Componentes principales

PLCs (Controladores lógicos programables. Son la parte central del sistema de control industrial. Es posible programar lógicas de control para automatizar procesos utilizando información proveniente de sensores y acciones realizadas por dispositivos como servomotores y actuadores. Desde simples señalizaciones hasta procesos complejos de producción, los PLCs son capaces de manejar una amplia variedad de tareas [8].

Servomotores. Estos motores posibilitan el desplazamiento exacto y regulado de mecanismos o máquinas. Estos motores se utilizan en aplicaciones que demandan alta precisión y velocidad, tales como robótica, impresoras y máquinas herramienta.

Actuadores. Dispositivos que transforman la energía eléctrica en movimiento físico. Hay diferentes tipos de actuadores disponibles, como solenoides, hidráulicos, neumáticos y eléctricos. Cada uno es apropiado para aplicaciones específicas en función de la fuerza necesaria, la velocidad requerida y el tipo de movimiento necesario.

Sensores. Los dispositivos electrónicos detectan cambios en variables físicas, tales como temperatura, presión, luz o humedad. Estos cambios son luego convertidos en señales de información útiles para el sistema de control.

5.4.2. Interconexión y Comunicación

La eficiencia y efectividad de los sistemas de control industrial dependen en gran medida de la interconexión y comunicación entre estos componentes. Mediante protocolos de red como Ethernet/IP, Modbus y Profibus, entre otros, los PLCs pueden establecer comunicación con sensores, actuadores y servomotores para sincronizar operaciones y realizar ajustes automáticos en los procesos. Los sensores transmiten información al PLC acerca de las condiciones ambientales o parámetros del proceso, como la temperatura, el nivel de materiales y el estado operativo de los equipos. El PLC procesa esta información utilizando las instrucciones programadas y toma la decisión de activar o desactivar actuadores, además de ajustar la posición de los servomotores para mantener el proceso en los parámetros deseados [9].

Gracias a esta interacción dinámica, los sistemas de control industrial pueden adaptarse con rapidez a las variaciones del entorno operativo, lo que lleva consigo mejoras en la eficiencia, seguridad y calidad de los productos o servicios producidos.

5.5. PCB (Placa de circuito impreso)

Una Placa de Circuito Impreso (PCB, por sus siglas en inglés) es un componente electrónico que actúa como soporte físico para componentes electrónicos, permitiendo su conexión y comunicación. Las PCB's son fundamentales en la electrónica debido a su capacidad para integrar múltiples componentes en un solo dispositivo compacto, lo que facilita el diseño y la fabricación de equipos electrónicos complejos [10].

El diseño de PCB's para aplicaciones electrónicas requiere una atención especial hacia la seguridad, especialmente en cuanto a la protección contra sobretensiones, la prevención de cortocircuitos, la gestión del calor generado por los componentes y la compatibilidad electromagnética (EMC). Estos aspectos son cruciales para garantizar la integridad y la vida útil de los dispositivos electrónicos [10].

5.5.1. Puntos importantes para la realización de la PCB

Protección contra Sobretensiones. Para proteger los componentes electrónicos de sobretensiones, se utilizan diodos de protección y condensadores de desacumulación. Estos componentes actúan como barreras que absorben y disipan energía excesiva, evitando daños en otros componentes sensibles.

Prevención de Cortocircuitos. El diseño de PCB's debe evitar la creación de rutas de corriente paralelas que puedan conducir a cortocircuitos. Esto se logra mediante el diseño cuidadoso de las pistas y la colocación estratégica de componentes.

Gestión del Calor. Los componentes electrónicos generan calor durante su operación. Un diseño eficiente de PCB incluye consideraciones para la disipación de calor, como el uso de áreas de disipación de calor adecuadas y la selección de componentes con características térmicas adecuadas.

Compatibilidad Electromagnética (EMC). Para minimizar la interferencia electromagnética (EMI) y la susceptibilidad a interferencias externas, el diseño de PCB's debe considerar la ubicación y orientación de los componentes, así como el uso de materiales y técnicas de construcción que reduzcan la radiación electromagnética.

5.5.2. Tipos de PCB

Existen varios tipos de PCB, cada uno diseñado para satisfacer requisitos específicos de aplicación, costos y complejidad. Algunos de los tipos principales incluyen [11]:

PCB de Una Cara. Este es el tipo más básico y económico de PCB. Se utiliza principalmente en aplicaciones simples y dispositivos de baja velocidad. Su diseño es relativamente simple, lo que reduce el costo de producción.

PCB Multicapa. Estas PCB cuentan con dos o más capas de conductores de cobre separadas por una resina. Permiten una mayor densidad de componentes y conexiones internas, lo que es ideal para aplicaciones más complejas y densas.

PCB Flexibles. A diferencia de las PCB rígidas, estas son flexibles y pueden doblarse o enrollarse sin romperse. Son ideales para aplicaciones donde se requiere flexibilidad, como en

dispositivos portátiles o en aplicaciones de sensoriamiento.

PCB Rígido-Flexibles. Combina elementos de las PCB rígidas y flexibles, ofreciendo rigidez en ciertas áreas y flexibilidad en otras. Son útiles en aplicaciones donde se necesita una combinación de robustez y flexibilidad.

La elección del tipo de PCB depende de factores como el entorno de operación, el número de componentes y la frecuencia de operación, teniendo cada tipo tiene sus ventajas y desventajas [11].

5.5.3. Normas IPC

Las normas IPC (Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits) juegan un papel crucial en el diseño, fabricación y ensamblaje de placas de circuito impreso (PCB). Estas normas son desarrolladas con la participación de miles de profesionales de la industria, lo que les otorga autoridad y fiabilidad, ayudando a los fabricantes a controlar la calidad y la fiabilidad de los productos finales. Además, han creado un lenguaje común que la industria electrónica global puede seguir, actuando como un puente entre proveedores y clientes y aumentando la eficiencia de la producción. Entre los aspectos más importantes de las Normas IPC en el diseño de PBC son [12]:

Estándares de Diseño. Las normas IPC proporcionan directrices claras para el diseño de PCB, incluyendo especificaciones para la selección de materiales, dimensionamiento de componentes y tolerancias de fabricación. Cumplir con estas normas puede mejorar significativamente la fiabilidad del producto y facilitar la manufactura.

Fabricación y Ensamblaje. Existen normas IPC asociadas con casi todos los diseños, procesos de fabricación y ensamblajes de PCB. Estas normas abordan aspectos críticos como la preparación de la placa, la soldadura de componentes, y las pruebas de calidad, asegurando que los productos finales cumplan con los estándares de la industria.

Control de Costos. Trabajar bajo las normas IPC puede reducir la pérdida de costos causada por procesos no estándar. Al adherirse a estas normas, los fabricantes pueden evitar problemas de calidad y retrasos en la producción, lo cual resulta en ahorros significativos.

Interoperabilidad y Eficiencia. Las normas IPC han establecido un lenguaje común que permite una mejor comunicación y colaboración entre diseñadores, fabricantes y ensambladores. Esto

no solo mejora la eficiencia, la innovación y el desarrollo de nuevos productos.

5.5.3.a. Normas IPC relevantes

Algunas de las normas IPC más relevantes para el diseño de PCB incluyen [13]:

- **IPC-2221A:** Requisitos para el diseño de PCB, incluyendo selección de materiales y dimensionamiento de componentes.
- **IPC-7351B/C:** Estándares para el diseño de patrones de pines para componentes SMD/THT.
- **IPC-A-600 E:** Criterios de aceptación visual para PCBs.
- **IPC-6012D:** Requisitos para la inspección y aceptación de PCBs.

Comprender y aplicar estas normas es esencial para cualquier profesional involucrado en el diseño, fabricación o ensamblaje de PCBs. No solo contribuyen a la calidad y fiabilidad de los productos electrónicos, sino que también promueven la interoperabilidad y la eficiencia en toda la cadena de suministro de la industria electrónica.

5.6. Elementos de control: Sensores de nivel y capacitivos.

En diferentes procesos industriales, los sensores de nivel y los sensores capacitivos tienen una importancia fundamental. Esto es especialmente notable en el sector de la energía, donde resultan indispensables para controlar turbinas y otras instalaciones. En primer lugar, se detalla el funcionamiento de estos sensores y su aplicación en las distintas etapas del proceso de embalaje. Además, se ofrecerán pautas técnicas esenciales a tener en cuenta al momento de elegirlos [14].

5.6.1. Funcionamiento y aplicaciones

Sensores de nivel. Se emplean los sensores de nivel para determinar la cantidad de líquido o sólido presente en un recipiente o tanque. Dentro del ámbito de envasado, estos sensores pueden servir para controlar el nivel de agua en los depósitos de almacenamiento previo a la generación eléctrica, garantizando así que se disponga de agua suficiente para llevar a cabo el proceso [14].

Sensores capacitivos. Los sensores capacitivos detectan cambios en la capacidad entre dos placas que están separadas por un material dieléctrico. Al cambiar este material, por ejemplo, cuando un objeto se acerca o aleja de las placas, la capacitancia experimenta variaciones, lo cual habilita al

sensor para detectar tanto la presencia como la posición de objetos [14].

5.6.2. Especificaciones técnicas importantes

Rango de detección. Es importante seleccionar sensores con un rango de detección adecuado para las condiciones específicas del proceso de envasado. Un rango demasiado corto puede no ser suficiente para cubrir todo el volumen del tanque, mientras que un rango demasiado largo puede resultar innecesario y aumentar el costo [15].

Precisión. La precisión del sensor es crucial para evitar sobrecargas o vacíos en los tanques, lo que podría llevar a interrupciones en el suministro de energía. Sensores con alta precisión pueden minimizar estas posibilidades [15].

Robustez. Los sensores deben ser resistentes a condiciones extremas, como fluctuaciones de temperatura y presión, ya que el envasado puede operar bajo una variedad de condiciones climáticas y operacionales.

Sensibilidad. La capacidad de detectar cambios sutiles en la capacitancia es esencial para la precisión de los sensores capacitivos. Una buena sensibilidad permite una detección temprana de cambios en el nivel de agua, facilitando una gestión más eficiente del proceso [15].

Durabilidad y mantenimiento. Considerar la durabilidad del sensor y el mantenimiento requerido es importante para minimizar el tiempo de inactividad y los costos operativos. Algunos sensores pueden requerir calibraciones regulares o reemplazos periódicos [15].

5.7. Normatividad para los planos P&ID

La normatividad de los planos y símbolos en los P&ID es fundamental para garantizar la coherencia, eficiencia y seguridad en la operación y mantenimiento de instalaciones industriales, promoviendo así la estandarización y la mejora continua de los procesos de diseño, implementación y operación de sistemas de automatización. La ISA 5-1 o ANSI/ISA 5.1-2022, es una norma que establece medios uniformes para representar e identificar instrumentos o dispositivos utilizados para medición, monitoreo y control. Esta norma es fundamental para garantizar la claridad y consistencia en la documentación técnica, incluidos los diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID).

La ISA 5-1 busca proporcionar un sistema de designación uniforme para los instrumentos y sistemas de instrumentación utilizados en la medición y control, incluyendo símbolos y un código de identificación que facilitan la comprensión, comunicación de equipos, sistemas de medición y control en diversas industrias.

En resumen, la normativa ANSI/ISA 5.1-2022 juega un papel crucial en la industria de la automatización y control, proporcionando un marco coherente para la representación e identificación de instrumentos y sistemas de instrumentación. Su aplicación abarca desde el diseño inicial hasta la fase de mantenimiento, asegurando la eficiencia y precisión en la comunicación técnica y la comprensión de los sistemas de medición y control.

5.7.1.Importancia y aplicaciones

Aplicaciones. La norma es aplicable en una amplia gama de actividades de trabajo que requieren identificación y simbolización, incluyendo diseños preliminares, ejemplos didácticos, documentos técnicos, descripciones funcionales, dibujos conceptuales, especificaciones, órdenes de compra, instrucciones de instalación, operación y mantenimiento, entre otros [16].

Uso principal. Los usuarios principales de esta norma provienen de industrias como química, petróleo, generación de energía, refinación metálica, papel y pulpa, procesamiento por lotes, procesamiento discreto y manejo de materiales. En general las industrias requieren esquemas de sistemas de control, diagramas funcionales y esquemas eléctricos para describir la relación con el equipo de procesamiento y la funcionalidad del equipo de medición y control [16].

Beneficios. Proporciona información suficiente para permitir a cualquier persona que tenga un conocimiento razonable del proceso y de la instrumentación entender los medios y el propósito de la instrumentación mostrada sin tener que profundizar en los detalles de la instrumentación que requieren el conocimiento de un especialista en instrumentos. [16].

5.7.2.Estructura

Símbolos de instrumentación. Los P&ID utilizan símbolos específicos de instrumentación para mostrar la conectividad de equipos, tuberías, sensores y válvulas dentro de un sistema de control. Estos símbolos pueden representar actuadores, sensores y controladores, siguiendo un conjunto

estándar establecido por la norma descrita [17].

Números de etiqueta. Un número de etiqueta con un círculo alrededor indica instrumentos físicos independientes. Cuando se utiliza una primera letra en los símbolos de instrumentación, definir las variables medidas o iniciadoras. Algunos ejemplos son: Análisis (A), Flujo (F), Temperatura (T) y Presión (P). La segunda letra indica el tipo de dispositivo utilizado, como Indicador (I), Registro (R) y Transmisión (T). Las siguientes letras indican la función que posee cada componente [17].

6. DESARROLLO

6.1. Caracterización del funcionamiento inicial de la máquina embotelladora.

En este capítulo, se realiza el análisis del funcionamiento de la máquina embotelladora en su estado inicial. Este análisis comprende la identificación y descripción detallada de los componentes que integran la máquina, así como su funcionamiento en estado inicial. Además, se lleva a cabo un análisis de los posibles problemas en dichos componentes.

Para lograr un mayor entendimiento de la máquina embotelladora, es importante la elaboración de planos que representen tanto el diagrama de instrumentación del proceso como el diagrama electroneumático; estos planos proporcionan una visualización clara y detallada de la estructura y operación de la máquina.

6.1.1. Caracterización inicial

A partir de la segregación por tipo de proceso se realiza la división del sistema en tres zonas, esto con el objetivo es analizar de manera detallada cada elemento presente, así como su función e interacción tanto interna, como con las otras zonas del sistema.

La zona 1 (bombeo), abarca el ingreso de fluido, los tanques de agua fría y caliente, las bombas encargadas de impulsar el fluido entre dichos tanques y hacia los tanques A, B y C, y finalmente, el termostato. Esta etapa inicial es crucial para el control y la preparación adecuada del fluido antes de su posterior procesamiento.

La zona 2 (tanques) está conformada por: los tanques A, B y C, así como sus electroválvulas de entrada y las electroválvulas de salida hacia el tanque mezclador. En esta fase intermedia, se lleva a cabo la dosificación precisa de los componentes que conforman el producto final (sustancias que serán mezcladas), buscando una buena incorporación en la siguiente etapa del proceso.

La zona 3 (dosificado y alistamiento), se centra en el tanque mezclador, su eje de agitación, la electroválvula encargada del dosificador de botellas, la zona de tapado, la zona de llenado, el carrusel y la banda transportadora. Aquí se completa el proceso de embotellado, donde el producto es dispensado en las botellas y se realiza el tapado correspondiente, con el fin de realizar el transporte final para su posterior distribución.

Mediante esta división en zonas y un análisis detallado de cada elemento presente en cada una de ellas, se comprende de manera integral el funcionamiento del sistema de embotellado, se identifican posibles puntos de mejora y optimización, además se establecen pautas para garantizar un proceso eficiente y de alta calidad.

6.1.2. Planos iniciales

El plano electroneumático de la máquina embotelladora en su estado inicial se presenta en el Anexo 1 e ilustra el proceso de dosificación de las botellas después del paso por el tanque de mezclado. Este plano permite identificar las conexiones neumáticas, que aumentan la presión dentro del tanque de mezclado, además de proporcionar por medio de un cilindro neumático el sellado de las tapas a presión de las botellas y suministrar un colchón de aire en el espacio de almacenamiento de las botellas para facilitar su desplazamiento dentro del área.

El P&ID (Anexo 2), muestra la disposición de los instrumentos y equipos del sistema, así como la interconexión entre ellos; además sirve como guía comprender el funcionamiento y la función de cada componente.

6.1.3. Funcionamiento general del sistema

Es importante reconocer los diferentes pasos del proceso de embotellado para la caracterización de la máquina embotelladora. Por ello, se realiza una identificación detallada de toda la secuencia hasta lograr botellas dosificadas y selladas. Primero, se realiza la apertura de la válvula Manuel (V-101) para permitir el ingreso de agua al interior de la máquina, la cual fluye directamente al tanque de agua fría (T-101); una vez que el tanque alcanza su nivel máximo indicado por la mirilla de vidrio, se cierra la válvula (V-101). Posteriormente, desde el OPLC se activa la bomba 1 (P-101), que transporta el fluido del tanque de agua fría al tanque de agua caliente (T-102) donde se ajusta la temperatura del fluido. A continuación, se activa la bomba 2 (P-102), la cual desplaza el fluido desde el tanque de agua caliente (T-102) hacia los tanques de dosificación A, B y C (T-103, T-104 y T-105 respectivamente); simultáneamente, se abren las electroválvulas correspondientes a cada uno de estos tanques (V-102, V-103 y V-104). Una vez que estos tanques alcanzan su nivel máximo, se activan las electroválvulas de dosificación (siendo V-105, V-106 y V-107) que conducen el fluido hacia el tanque de mezclado (T-106); al alcanzar el nivel mínimo, se inicia el proceso de mezcla activando un

eje con un aspa, este permite la integración de las soluciones deseadas.

Seguido a esto se activa la banda transportadora (BT-101), la cual lleva las botellas al carrusel (CR-101); este se encarga de posicionar las botellas para el llenado, deteniéndose al ser detectado por un sensor capacitivo que permite la apertura de la electroválvula del tanque de mezclado para realizar el llenado de las botellas. Una vez que las botellas alcanzan el volumen de fluido requerido, el carrusel (CR-101) se reactiva para transportar las botellas a un mecanismo que coloca una tapa sobre ellas sin ejercer presión. El carrusel continúa hasta que las botellas alcanzan la posición de sellado, donde se detiene nuevamente por otro sensor capacitivo el cual activa un cilindro neumático (CY-101) que realiza presión sobre la tapa, logrando un cierre adecuado. Finalmente, el carrusel (CR-101) se reactiva y las botellas son transportadas al área de almacenamiento mediante la banda transportadora (BT-101) y un colchón de aire; este último se encuentra activo desde el inicio del proceso facilitando el movimiento de las botellas y evitando su caída en el área de almacenamiento.

6.1.4. Diagnóstico inicial

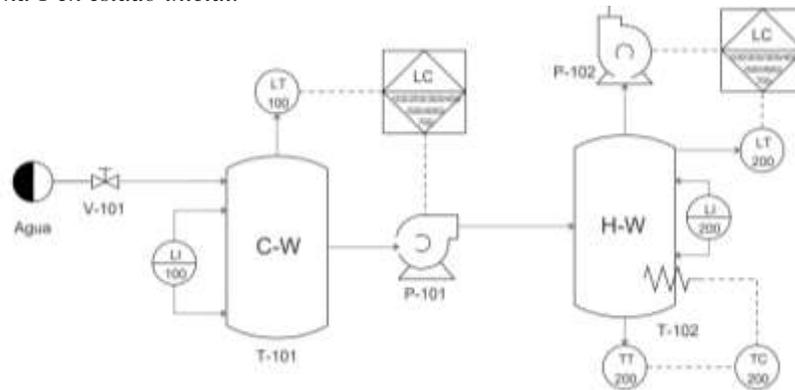
A continuación, se realiza un diagnóstico de cada zona, revisando el estado de los componentes de las mismas. Esto proporciona una visión de cómo será posible realizar los ajustes necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina. Posteriormente, se efectúa un diagnóstico del funcionamiento general de la máquina, con el objetivo de evidenciar el estado completo de la misma y determinar su capacidad de embotellado.

6.1.4.a.Diagnóstico por zona

6.1.4.a.i. Zona 1 (Bombeo)

Figura 2.

Plano P&ID de la zona 1 en estado inicial.



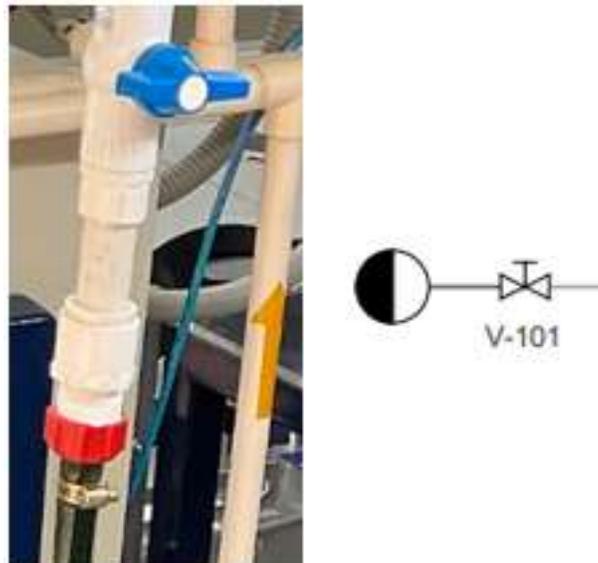
Nota. En la imagen anterior se puede observar la sección de la zona de bombeo en el P&ID – Anexo 2.

Como se dijo anteriormente, la presente zona (Figura 2) se compone de dos tanques (uno de agua fría y uno caliente), dos bombas encargadas de impulsar los fluidos y un termostato. A continuación, se realiza un análisis de cada uno de estos componentes.

Válvula de apertura manual (V-101)

Figura 3.

Fotografía y símbolo de V-101



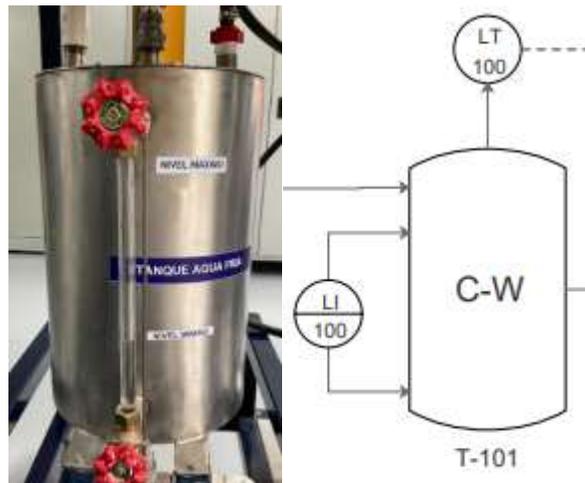
Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la válvula manual y su respectivo símbolo en el diagrama P&ID.

- **Funcionamiento:** En la Figura 3 se observa la válvula manual que permite el ingreso del fluido al interior del tanque de agua fría. Es el primer elemento del sistema y debe ser desactivada manualmente cuando la mirilla de nivel del tanque de agua fría indique su nivel máximo.
- **Estado:** Se identifica una fuga en la conexión entre dicha válvula y la manguera de llenado.
- **Causa:** La posible causa a esta fuga es una falla en el empaque de la unión, lo que provoca una pérdida de agua en el sistema.

Tanque de agua fría (T-101)

Figura 4.

Fotografía y símbolo de T-101



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del tanque de agua fría y su respectivo símbolo en el diagrama P&ID.

- **Funcionamiento:** El tanque que se observa en la Figura 4 almacena el agua fría que entra en el sistema. Además, consta de una mirilla para medir su nivel y un sensor de nivel bajo para proteger la bomba 1 de trabajo en vacío.
- **Estado:** Este tanque se encuentra en buen estado al igual que sus componentes.

Bomba 1 (P-101)

Figura 5.

Fotografía y símbolo de P-101



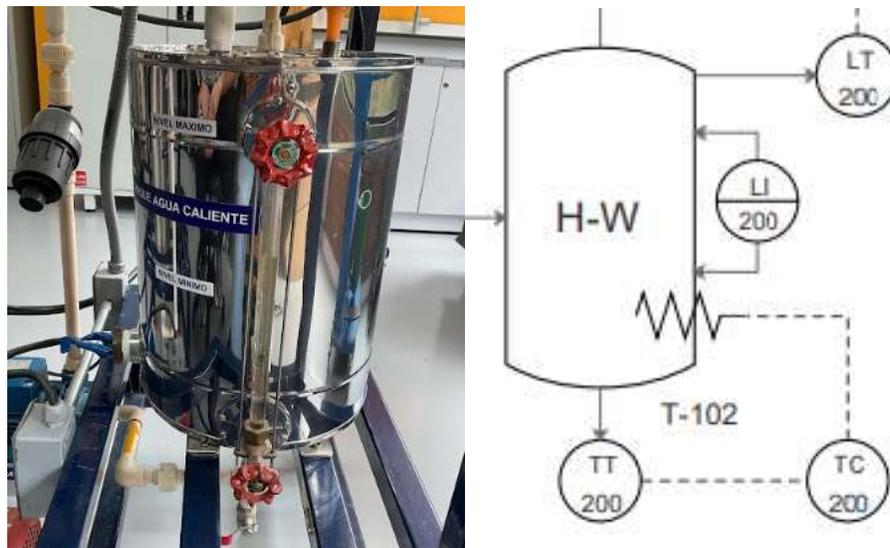
Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la bomba 1 y su respectivo símbolo en el diagrama P&ID.

- **Funcionamiento:** La bomba es la encargada de suministrar fluido al tanque de agua caliente desde el tanque de agua fría (Figura 5).
- **Estado:** La bomba se encuentra operativa.

Tanque de agua caliente (T-102)

Figura 6.

Fotografía y símbolo de T-102



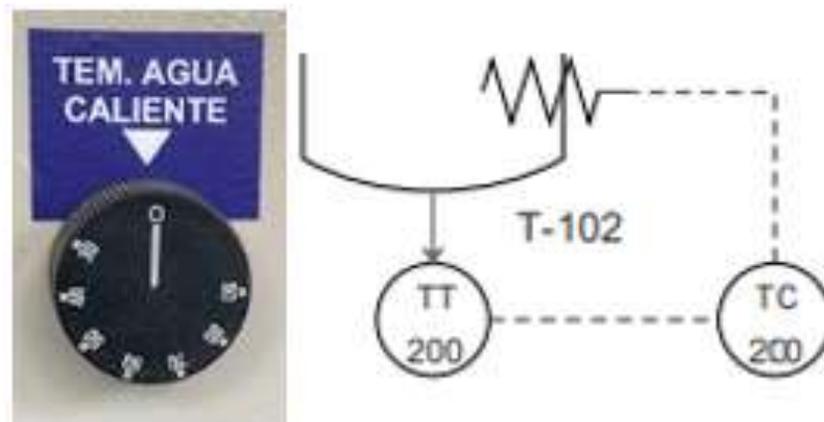
Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del tanque de agua caliente y su respectivo símbolo en el diagrama P&ID.

- **Funcionamiento:** El tanque que se observa en la Figura 6 almacena el agua mientras se lleva a cabo el proceso de calentamiento. El tanque cuenta con una mirilla para verificar su nivel, un sensor de nivel bajo para proteger la bomba 2 de trabajar en vacío en el siguiente paso, un sensor de nivel alto para evitar desbordamientos y un embudo que permite la incorporación de solutos requeridos para el producto final.
- **Estado:** Este tanque se encuentra en buen estado al igual que sus componentes.

Termostato

Figura 7.

Fotografía y símbolo del termostato



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del termostato y su respectivo símbolo en el diagrama P&ID.

- **Funcionamiento:** El termostato (Figura 7) permite regular la temperatura a la cual se desea mantener el fluido en el tanque de agua caliente. Este dispositivo consta de un sistema para detectar la temperatura interna del tanque y de una resistencia que posibilita el aumento de temperatura requerido.
- **Estado:** El sistema de aumento de temperatura está operando correctamente.

Bomba 2 (P-102)

Figura 8.

Fotografía y símbolo de P-102



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la bomba 2 y su respectivo símbolo en el diagrama P&ID.

- **Funcionamiento:** Se encarga de elevar el fluido desde el tanque de agua caliente hasta los tanques A, B y C, operando en simultáneo con las electroválvulas (Figura 8).
- **Datos técnicos de la bomba:**

Tabla 1.

Caracterización de bombas 110V

Marca	Topper
Modelo	16-50060
Voltaje	110V
Tipo	Centrífuga
Potencia	370 W
Fase eléctrica	110V
Altura máxima de elevación	35 m
Caudal máximo de agua	35 L/min
Altura manométrica total	35 m
Peso	5 kg
Presión de trabajo	4 bar
Altura máxima de succión	35 m

Nota. En la tabla anterior se observan las características de las bombas de 110V utilizadas.

- **Estado:** Cumple con la función de elevar el fluido, sin embargo, presenta una considerable cantidad de residuos de óxido como se evidencia en la Figura 9.

Figura 9.

Suciedad en tanques por óxido



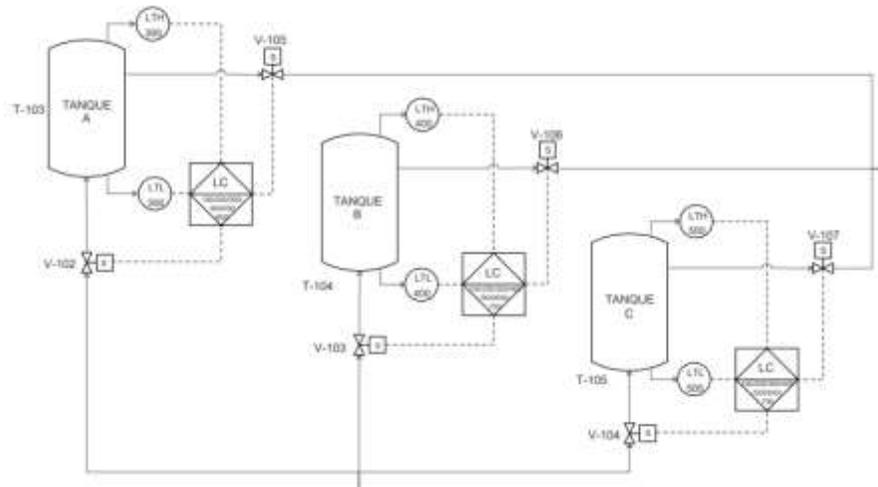
Nota. En la imagen anterior se observan los tanques A, B y C con residuos por oxidación de bomba 2.

- **Causa:** La presencia de óxido se debe a la falta de uso y mantenimiento de la bomba, lo que ha permitido la corrosión de sus componentes.

6.1.4.a.ii.Zona 2 (Tanques)

Figura 10.

Plano P&ID de la zona 2 en estado inicial.



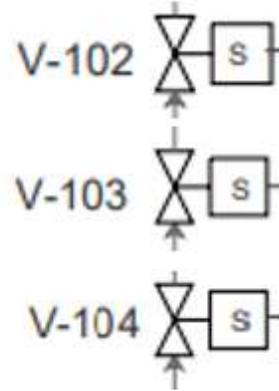
Nota. En la imagen anterior se puede observar la sección de la zona de tanques en el P&ID – Anexo 2.

La zona 2 se compone de tres tanques, así como de sus electroválvulas de entrada y electroválvulas de salida hacia el tanque mezclador; a continuación, se realiza un análisis de cada uno de estos componentes (Figura 10).

Electroválvulas para llenado de tanques A, B y C (V-102, V-103 y V-104)

Figura 11.

Fotografía y símbolo de V-102, V-103 y V-104



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de las válvulas de llenado de los tanques A, B y C con sus respectivos símbolos en el diagrama P&ID.

- **Funcionamiento:** Las electroválvulas (Figura 11) regulan el flujo del fluido al interior de los tanques A, B y C, operando en respuesta a señales enviadas desde el OPLC (Controlador Lógico Programable Óptico). Estas señales indican cuándo abrir y cerrar las válvulas, permitiendo un control preciso y automatizado del flujo del fluido en el sistema.
- **Estado:** La electroválvula A no está operativa, presentando una falla que impide su funcionamiento. Por otro lado, las electroválvulas B y C están operando correctamente, permitiendo el flujo adecuado del fluido a los respectivos tanques.
- **Causa:** La falla en la electroválvula A puede deberse a un daño interno en el mecanismo de la válvula, lo cual impide su correcto funcionamiento. Alternativamente, esta falla podría ser consecuencia de un problema en la señal emitida desde el OPLC, que impide la apertura de la válvula.

Tanques A, B y C (T-103, T-104 y T-105)

Figura 12.

Fotografía y símbolo de T-103, T-104 y T-105

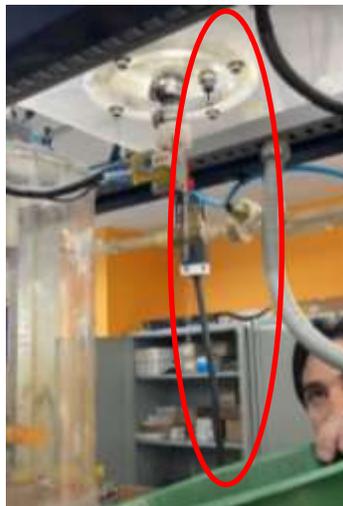


Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de los tanques A, B y C con sus respectivos símbolos en el diagrama P&ID.

- **Funcionamiento:** Estos tanques (Figura 12) permiten la dosificación del líquido en sus diferentes soluciones antes del proceso de mezclado. Cada tanque está diseñado para recibir y almacenar cantidades precisas de líquido, facilitando la correcta proporción de las soluciones necesarias para el proceso de embotellado.
- **Estado:** Los tanques presentan fugas significativas, lo cual representa un riesgo considerable para los circuitos circundantes, como se evidencia en la Figura 13.

Figura 13.

Fuga en las tuberías de los tanques



Nota. En la imagen anterior se observan las fugas de agua presentes en las tuberías de los tanques.

- **Causa:** Las fugas en los tanques se deben a la presencia excesiva de silicona aplicada en múltiples

áreas como se evidencia en la Figura 14. Esta silicona se utilizó con la intención de aumentar la presión interna y hacer que los tanques fueran "herméticos". Sin embargo, esta solución inadecuada ha resultado en una gestión más complicada del problema de filtraciones, además de no resolver eficazmente las fugas, comprometiendo la integridad y seguridad del sistema.

Figura 14.

Exceso de silicona en la salida del tanque



Nota. En la fotografía anterior se observa una fotografía del exceso de silicona presente en la máquina.

Electroválvulas de dosificación tanques A, B y C (V-105, V-106 y V-107)

Figura 15.

Fotografía y símbolo de V-105, V-106 y V-107



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de las electroválvulas de dosificación y sus respectivos símbolos en el diagrama P&ID.

- **Funcionamiento:** Estas electroválvulas (Figura 15) permiten el paso del fluido al tanque de mezclado mediante la activación controlada por el OPLC. La presión ejercida por estas

electroválvulas corresponde a la presión hidrostática del tanque, asegurando un flujo durante el proceso de dosificación.

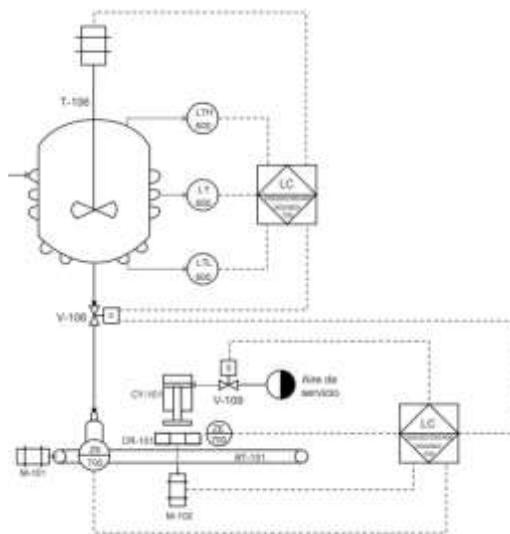
- **Estado:** Actualmente, las electroválvulas no están permitiendo el paso del fluido hacia el tanque de mezclado, lo que impide la continuación del proceso de embotellado.
- **Causa:** Varias causas pueden originar este problema; primero puede haber un error en la conexión entre la electroválvula y el OPLC interrumpiendo señal de activación. Segundo, una obstrucción en el sistema debida al estado deteriorado de las tuberías, lo que podría estar bloqueando el flujo. Tercero, la falta de una presión hidrostática adecuada en los tanques podría impedir la apertura correcta de las electroválvulas.

6.1.4.a.iii. Zona 3 (Dosificación y Alistamiento)

Aún no es posible determinar cómo se comporta esta zona en la continuidad del flujo, ya que el líquido no ha alcanzado este punto. Sin embargo, se procederá a probar los elementos electroneumáticos y analizar las posibles fallas que puedan surgir, las cuales probablemente estén relacionadas con el estado de los componentes.

Figura 16.

Plano P&ID de la zona 3 en estado inicial.



Nota. En la imagen anterior (elaboración propia), se observa el diagrama P&ID de la zona de dosificación y alistamiento.

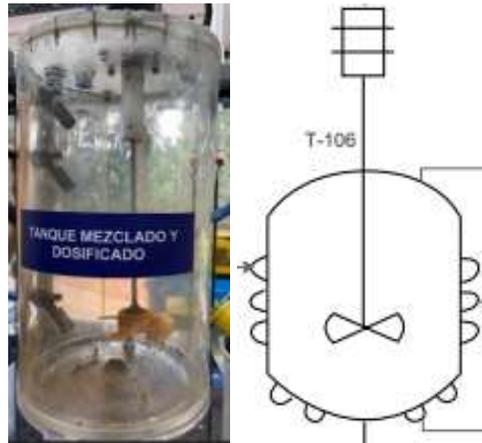
Como se dijo anteriormente, el presente sector se compone del tanque mezclador, su eje de agitación, la electroválvula encargada del dosificador de botellas, la zona de tapado, la zona de llenado, el carrusel y la banda transportadora; a continuación, se realiza un análisis de cada uno de

estos componentes (Figura 16).

Tanque de mezclado y dosificado (T-106)

Figura 17.

Fotografía y símbolo de T-106



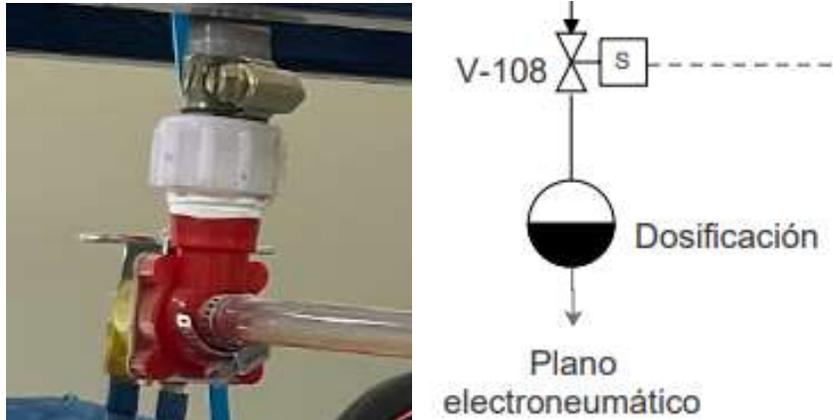
Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del tanque de mezclado y su respectivo símbolo en el diagrama P&ID.

- **Funcionamiento:** Este tanque (Figura 17) recibe el fluido de otros tres tanques, permitiendo la mezcla homogénea de sus contenidos a través de un eje mezclador.
- **Estado:** Tanto el tanque como el eje se encuentran en mal estado, presentando residuos de óxido lo cual contamina el fluido al momento de la dosificación.
- **Causa:** La falta de mantenimiento ha provocado la acumulación de residuos de óxido en el tanque.

Electroválvula de dosificado (V-108)

Figura 18.

Fotografía y símbolo de V-108



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la válvula y su respectivo símbolo en el P&ID.

- **Funcionamiento:** Esta electroválvula se encarga de dosificar el fluido mezclado hacia las botellas (Figura 18).
- **Estado:** No es posible evaluar su funcionamiento con fluido en este momento, sin embargo, al activarla manualmente a través del OPLC, se evidencia que la electroválvula se activa. No obstante, no se puede confirmar si la presión es suficiente para dosificar adecuadamente las botellas. Además, esta no es una manera precisa de dosificar, ya que la altura del fluido en el tanque varía a medida que se llenan las botellas, lo que resulta en una dosificación inconsistente.

Sensor de llenado

Figura 19.

Sensor de llenado de las botellas



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del sensor de llenado.

- **Funcionamiento:** Este sensor capacitivo (Figura 19) detecta la presencia de las botellas para indicar al OPLC cuando dosificar las botellas.
- **Estado:** Al activarla manualmente a través del OPLC, se evidencia que el sensor no se activa con las botellas.
- **Causa:** Puede ser un error en la calibración del sensor o una falla en la selección del sensor para este tipo de material.

Banda transportadora de la embotelladora (BT-101)

Figura 20.

Banda Transportadora



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la banda transportadora de la máquina embotelladora.

- **Funcionamiento:** Esta banda transportadora es la encargada de transportar las botellas hasta el carrusel y la zona de almacenamiento (Figura 20).
- **Estado:** Actualmente, no es posible activar la banda transportadora.
- **Causa:** Este fallo puede deberse a la falta de funcionamiento del motor que opera la banda o a un fallo en la programación del sistema de control de la banda, impidiendo su operación.

Carrusel de alistamiento de botellas (CR-101)

Figura 21.

Carrusel de alistamiento



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del carrusel que permite el alistamiento de las botellas.

- **Funcionamiento:** Este elemento (Figura 21) permite el posicionamiento de las botellas en los puntos de llenado, recolección de tapas y tapado, por medio de un motor el cual es posible regular su velocidad.
- **Estado:** Se evidencia que su funcionamiento es óptimo.

Dispensador de tapas sin ejercer presión

Figura 22.

Dispensador de tapas



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del dispensador de tapas de la máquina embotelladora.

- **Funcionamiento:** Este elemento permite el posicionamiento de las botellas en los puntos de llenado, recolección de tapas y tapado, por medio de un motor el cual es posible regular su velocidad (Figura 22).
- **Estado:** Se evidencia que las tapas no se posicionan de manera correcta en la parte superior de las tapas.
- **Causa:** Esto puede deberse a una falta de calibración en el elemento el cual deposita las tapas en su posición correcta sobre las botellas.

Sensor de tapado

Figura 23.

Sensor de tapado de las botellas



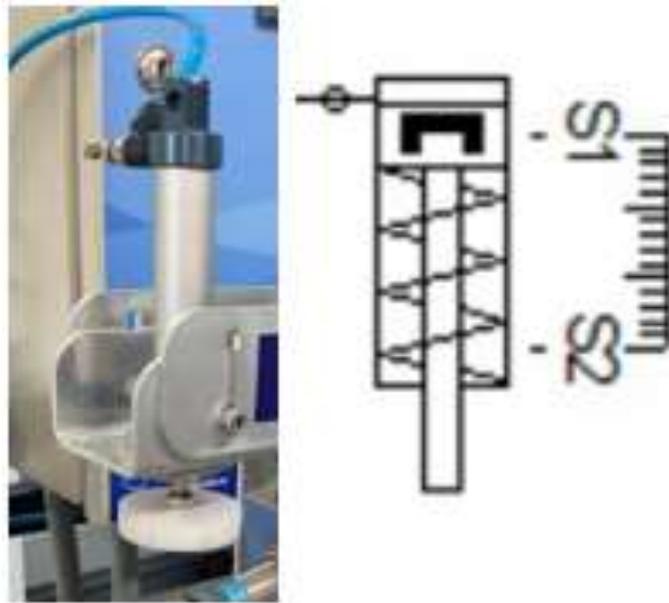
Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del sensor de tapado de la máquina embotelladora.

- **Funcionamiento:** Este sensor capacitivo (Figura 23) detecta la presencia de las botellas para indicar al OPLC cuando tapar las botellas.
- **Estado:** Al activar el sensor manualmente a través del OPLC, se evidencia que no se activa con la presencia de botellas.
- **Causa:** Se puede deber a un error en la calibración del sensor o una falla en la selección del sensor para este tipo de material.

Cilindro Neumático (CY-101)

Figura 24.

Mecanismo que ejerce presión para sellar las botellas



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del sensor de tapado de la máquina embotelladora.

- **Funcionamiento:** Este cilindro neumático es el encargado de realizar el tapado a presión de las botellas (Figura 24).
- **Estado:** El cilindro neumático tiene un funcionamiento óptimo.

Colchón de aire

Figura 25.

Mecanismo que facilita el movimiento de aire



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del colchón de aire de la máquina embotelladora.

- **Funcionamiento:** La función de este colchón de aire es permitir una superficie con menos rozamiento por lo cual las botellas se desplazan con mayor suavidad y evita la caída en la salida del producto (Figura 25).
- **Estado:** El colchón de aire tiene un funcionamiento óptimo.

6.1.4.b.Diagnóstico general

Tras el análisis por zonas realizado anteriormente, se puede afirmar que el sistema no cumple con su función al tener una eficiencia del 0% la cual es medida a partir de la cantidad de botellas dosificadas y selladas por minuto; por esto se expone de forma general el estado de la máquina embotelladora de la Universidad de América al inicio del presente proyecto.

- **Estado:** El sistema presenta múltiples fallas críticas que afectan su operación. Por un lado las electroválvulas de la zona de tanques no permiten el paso del fluido hacia el tanque de mezclado impidiendo la continuación del proceso; la banda transportadora no puede ser activada lo que detiene el transporte de botellas hasta el carrusel y la zona de almacenamiento; el tanque de mezcla presenta residuos de óxido y exceso de silicona; el sensor capacitivo no detecta las botellas

correctamente lo que impide una dosificación precisa; la electroválvula de dosificación no asegura una presión adecuada y constante para llenar las botellas uniformemente. En general varios componentes del sistema están en mal estado y requieren mantenimiento o su cambio por nuevos elementos.

- **Causa:** Las causas de estas fallas son diversas incluyendo falta de mantenimiento, errores en la calibración de los sensores, selección incorrecta de componentes, y posibles fallos en la programación del OPLC. Además, la acumulación de óxido y silicona en el tanque de mezcla y las posibles obstrucciones en las tuberías contribuyen a los problemas operativos.

Dicho lo anterior, se puede decir que las deficiencias detectadas en el sistema afectan significativamente su rendimiento resultando en una eficiencia nula; siendo necesaria una revisión y mantenimiento de todos los componentes para restablecer la funcionalidad y eficiencia del sistema.

6.2. Automatización de la máquina embotelladora

En este capítulo se analizan los diferentes ajustes mecánicos, eléctricos y electrónicos dentro de la máquina embotelladora, examinando con mayor detenimiento las diversas fallas, sus causas y el proceso para solucionar las mismas. El objetivo de este capítulo es restablecer la capacidad de dosificación de botellas de la máquina, asegurando un funcionamiento eficiente

6.2.1. Solución de fallas por cada zona

La intervención en la máquina embotelladora se lleva a cabo de manera sistemática, abordando cada una de sus zonas por separado. Este enfoque tiene como objetivo resolver los problemas identificados a lo largo de la cadena de preparación del fluido y las botellas, para finalmente asegurar una dosificación precisa. Además, este método permite analizar el rendimiento de las distintas zonas, garantizando que cada una funcione correctamente cuando la anterior está en óptimas condiciones operativas.

6.2.1.a.Zona 1 (Bombeo)

Fuga en válvula de apertura manual

- **Falla:** Tras el análisis de la válvula, se identifica que el mal funcionamiento se origina debido a un empaque deteriorado en la conexión entre la válvula y la manguera como se observa en la figura 26.

Figura 26.

Fuga de agua por falta de empaque en válvula manual



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la manguera sin empaque, lo que provoca fuga.

- **Solución:** Se procede a reemplazar el empaque en la unión, lo que resuelve la fuga y asegura un paso adecuado del fluido sin pérdidas de materia prima al inicio del proceso como se observa en la figura 27.

Figura 27.

Solución de fuga de agua en la válvula manual



Nota. En la imagen anterior se observa la manguera de la válvula manual con empaque.

Oxidación al interior de la bomba de agua caliente

- **Falla:** Se evidencia que la bomba encargada de elevar el fluido desde el tanque de agua caliente a los tanques de dosificación A, B y C presenta una considerable acumulación de óxido en su interior; esta situación resulta altamente inadecuada ya que genera un aspecto visual desagradable (Figura 28). Además, la manipulación y el olor podrían representar riesgos para la salud. Se puede afirmar que esta condición es resultado de la falta de mantenimiento de la bomba, la cual permaneció por periodos prolongados con fluido en su interior, propiciando así la oxidación y su consecuente mal estado.

Figura 28.

Fluido resultante de la activación bomba agua caliente en mal estado



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de las condiciones inadecuadas del fluido.

- **Solución:** Se llevan a cabo múltiples purgas de los tanques, incluyendo la adición de vinagre al fluido a elevar mediante la bomba de agua caliente. Esta acción se justifica por la capacidad del ácido acético presente en el vinagre para reaccionar con el óxido, disolviéndolo y facilitando su remoción de la superficie metálica de manera efectiva, dejándola limpia y libre de óxido como se observa en la Figura 29.

Figura 29.

Mejor apariencia del fluido de dosificación



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la solución para la condición y apariencia que tenía el fluido por los residuos de corrosión.

6.2.1.b.Zona 2 (Tanques)

Falla en la electroválvula Tanque A

Figura 30.

Falla de llenado Tanque A

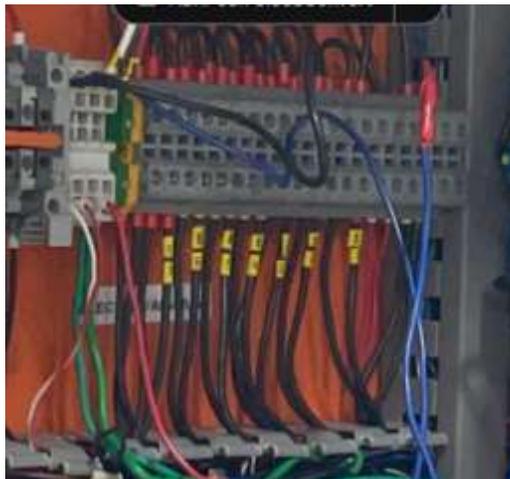


Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del tanque A, el cual presentó una falla en su llenado.

- **Falla:** Después de analizar el funcionamiento de la electroválvula EV6 (V-102), encargada del llenado del tanque A, se confirmó que el OPLC envía la señal de activación correctamente. Sin embargo, se observa que la electroválvula no responde a esta señal debido a un fallo en el tablero de conexiones, por lo cual no llena el tanque como se observa en la figura 30.

Figura 31.

Tablero de conexión del sector de las electroválvulas



Nota. En la imagen anterior se observa el tablero de conexiones en el sector de las electroválvulas.

- **Solución:** Se inició midiendo la continuidad (Figura 31) en los distintos puntos relacionados con la electroválvula de llenado del tanque A (V-102). Durante la inspección, se identificó un mal ajuste en uno de los cables del tablero de conexiones, llevando a cabo el ajuste necesario, lo que permitió restaurar el funcionamiento adecuado de la electroválvula y facilitar el flujo de líquido a través del tanque A (Figura 32).

Figura 32.

Solución de problemática de llenado del tanque A



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la solución al llenado del tanque A.

Mal estado de los tanques de dosificación A, B y C

- **Falla 1:** Al entrar en contacto con el fluido y sus partes oxidadas sumergidas en él, estas últimas se precipitaron hacia el fondo del tanque. Como resultado, el fluido adquiere un aspecto no deseado para el funcionamiento adecuado de la embotelladora (se evidencia en Figura 33).

Figura 33.

Partículas de óxido en el tanque C



Nota. En la imagen anterior se observa precipitado de residuos de óxido en el tanque C.

- **Solución:** Se lleva a cabo una purga de los tanques (como se observa en la Figura 34) mediante los racores ubicados en su parte inferior. Sin embargo, el movimiento del fluido durante esta purga resultó insuficiente para eliminar las partículas de óxido presentes en el interior del tanque.

Figura 34.

Purga Tanque C

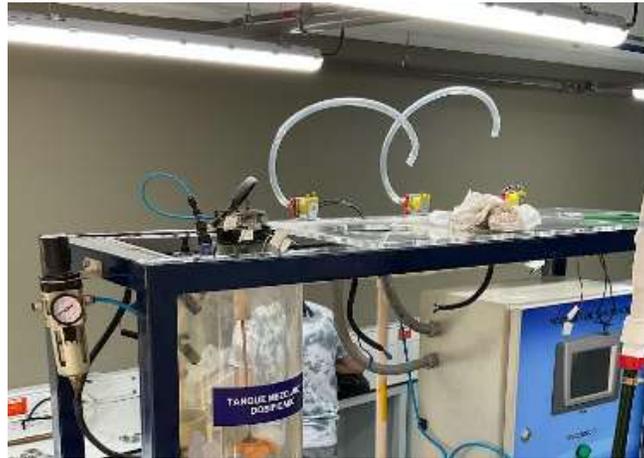


Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la solución a los residuos presentes en el tanque C.

Por esta razón, se procedió al desmontaje de los tanques y sus sensores (Figura 35).

Figura 35.

Desmante de los tanques de dosificación A, B y C



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del desmante de los tres tanques de dosificación.

Esto con el fin de llevar a cabo una limpieza efectiva utilizando agua y acetona. El objetivo de esta acción fue lograr un aspecto limpio tanto en el interior de los tanques, como en sus componentes y en los fluidos que serán almacenados en ellos (Figura 36).

Figura 36.

Limpieza de los tanques de dosificación



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la limpieza de los residuos de óxido presentes en los tanques de dosificación.

Como resultado de estas acciones, se observa una mejora significativa en el aspecto de los tanques, lo que nos permite almacenar el fluido sin riesgo de contaminación (Figura 37).

Figura 37.

Tanque A en buen estado para el almacenamiento del fluido



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del tanque A al final del proceso de limpieza.

- **Falla 2:** Se han identificado fugas en la parte inferior de los tanques de dosificación A, B y C; las cuales son atribuidas al uso excesivo de silicona como método de sellado, como se puede apreciar en la Figura 14. Esta técnica no es adecuada para reparar fugas a largo plazo debido a la durabilidad limitada de la silicona y la dificultad asociada para realizar reparaciones futuras (Figura 38).

Figura 38.

Unión salida Tanque A y electroválvula



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía donde utilizan gran cantidad de silicona como método de sellado de los tanques de dosificación.

- **Solución:** Al analizar el estado de las uniones de los tanques se decidió llevar a cabo un reemplazo

integral de la base de los tanques, renovando estas uniones por completo. El proceso se inició en el taller CAD CAM de la Universidad de América, enfocándose en el refrentado (Figura 39) de la cara inferior del tanque después del corte de la base a reemplazar. El procedimiento descrito tiene como objetivo obtener una superficie completamente plana y uniforme, esencial para garantizar un sellado hermético y prevenir fugas que puedan comprometer la integridad de los circuitos circundantes. La precisión del refrentado asegura que las nuevas uniones sean robustas y duraderas, optimizando así el rendimiento general del sistema de embotellado.

Figura 39.

Refrentado tanque A máquina CNC



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del proceso de refrentado del Tanque A en los laboratorios de la Universidad de América.

Una vez se obtiene una base del tanque en óptimas condiciones para la unión, se procede con el torneado de las piezas cortadas de la base anterior. Este proceso permite reducir los residuos y reutilizar estas piezas en la nueva unión, dado que se encuentran en buen estado para ser parte de los nuevos tanques. Esta práctica no solo resulta eficiente desde el punto de vista de los recursos, sino que también garantiza que las partes reutilizadas mantengan la integridad estructural del sistema de embotellado (Figura 40).

Figura 40.

Base a reutilizar en los nuevos tanques



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de una de las bases a reutilizar de los tanques.

Para lograr reutilizar estas bases, se lleva a cabo un proceso de torneado en el taller de máquinas y herramientas de la Universidad de América; este proceso tiene como objetivo darles la forma deseada a las diferentes bases, asegurando que cumplan con los requisitos de precisión y ajuste necesarios para su integración en los nuevos tanques. La realización de este procedimiento se muestra en la Figura 41.

Figura 41.

Torneado para la base de los tanques



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del proceso de Torneado de las bases de los tanques de dosificación.

Una vez se obtienen estas bases con la forma deseada, se procede a abrir los agujeros necesarios para atornillar los tanques a la base de acrílico, siendo un proceso que se realiza en el taller

de máquinas y herramientas, utilizando una fresadora con broca de 1/8" (Figura 42).

Figura 42.

Perforación base tanques



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del proceso de perforación de las bases de los tanques.

Una vez se perforan los agujeros en las bases de los tanques, se procede con el roscado de los mismos utilizando un macho de roscar. Este paso es fundamental para asegurar un ajuste firme y seguro de los componentes. El proceso se puede evidenciar en la Figura 43.

Figura 43.

Roscado de las bases de los tanques



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del proceso de roscado de las bases de los tanques.

Una vez las bases quedan listas, se procede a realizar la unión entre estas, la tapa inferior de los tanques y los propios tanques. Esto permite ensamblar de manera completa la estructura. El resultado de este proceso se puede observar en la Figura 44.

Figura 44.

Unión del tanque con sus respectivos ajustes



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la presentación final de los tanques de dosificación.

Se lleva a cabo el montaje de los tanques en su base y se procede a reconectar sus electroválvulas y sensores utilizando termo encogible y cinta aislante para garantizar una conexión segura y aislada; este proceso se puede observar detalladamente en la Figura 45.

Figura 45.

Reconexión de los sensores tanques de dosificado



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del proceso de reconexión de las electroválvulas al sistema.

Como resultado de este proceso, se obtienen tanques sin fugas, lo que mejora su hermeticidad y reduce las pérdidas de fluido y presión. Además, se elimina el riesgo asociado a las filtraciones hacia el circuito eléctrico circundante, lo que podría resultar en daños eléctricos. Estéticamente, la eliminación de la silicona mejora significativamente el aspecto de la unión, como se puede evidenciar

en detalle en la Figura 46.

Figura 46.

Resultado final tanques de dosificación



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del resultado final del tanque de dosificado.

Falta de presión en los tanques de dosificado A, B y C

- **Falla:** Si bien al iniciar el proceso de realización de la máquina se determinó la realización del dosificado de los tanques A, B y C por medio de presión hidrostática como se evidencia en el documento base de la construcción de la misma:

<<Teniendo en cuenta los criterios estipulados el sistema de dosificado por presión es el más adecuado para el equipo, está basado en el Teorema de Torricelli el cual expone que si se tiene un tanque con un líquido contenido dentro de él y al mismo tiempo dicho tanque tiene un orificio por donde fluye el líquido bajo la acción de la gravedad, se puede conocer el caudal de salida del líquido con ayuda de la ecuación de Torricelli; se debe tener en cuenta que si aumenta la cabeza, es decir la altura del líquido aumenta la velocidad de salida>> [1].

Cálculo de la presión:

Para calcular la presión hidrostática, podemos usar la ecuación 1:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad [1]$$

Donde:

P = Presión hidrostática

g = Gravedad = 9.81m/s^2

h = Altura de la columna de fluido = 0.3m

ρ = Densidad del fluido = 1000 kg/m^3

Por lo cual:

$$P = 1000\text{kg/m}^3 \cdot 9,81\text{m/s}^2 \cdot 0,3\text{m}$$

$$P = 2943\text{ Pa}$$

Durante la apertura de las electroválvulas, se observa que el fluido, a pesar de encontrarse a su nivel máximo, no logra activar la válvula por presión. Esta situación se debe a que, aunque la apertura se realiza mediante una señal enviada por el PLC, las válvulas requieren un mínimo de presión y con la presión hidrostática disponible no es suficiente.

Además, el llenado mediante la presión hidrostática del tanque no es la opción más eficiente debido a la variación considerable en la velocidad de dosificación. Esto se debe a que, a medida que disminuye la columna de fluido en el tanque, la presión también disminuirá, lo que afectará la uniformidad del proceso de dosificación.

- **Solución:** Se realiza un rediseño del estado inicial en el sistema de dosificado de los tanques A, B y C, utilizando bombas en vez de electroválvulas, esto debido a que necesitamos una dosificación uniforme que no dependa únicamente de la columna de agua que se tiene en los tanques, por esta razón se opta por realizar la adaptación para mejorar el sistema de bombeo. Este método se utiliza para superar las limitaciones de la presión hidrostática y asegurar que el agua pueda ser transportada a través de tuberías y sistemas, incluso cuando la altura o la presión por gravedad no son suficientes.

Sin embargo, esto es un reto desde el diseño de estos elementos debido a que se deben modificar las bases por las cuales se dosifican los tanques debido a que anteriormente se manejaban tuberías para este fin, por lo cual se decide utilizar únicamente una base con un racor pasamuros M6 para los diferentes tanques de dosificado; obteniendo así un sistema mejorado como se evidencia en la Figura 47:

Figura 47.

Sistema inicial y sistema mejorado de las bases para los tanques de dosificación



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del antes y después de los acabados en los tanques de dosificación.

Una vez decidido cambiar el sistema de dosificación, se procede a seleccionar bombas que se adapten al sistema, garantizando un incremento significativo en la presión sin aumentar costos considerablemente. Se requieren características como un alto grado de protección IP para resistir fluidos y asegurar mantenimiento sin problemas por la humedad relativa del entorno.

Además, deben desplazar el fluido de manera rápida para dosificar en menos de 2 minutos por tanque. En cumplimiento con estos requisitos, se opta por adquirir 4 bombas Gian Electric Tech Inc., como se muestra en la Figura 48.

Figura 48.

Bomba de dosificación para tanques



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de las bombas utilizadas en la dosificación de tanques.

Esta bomba presenta características significativas para nuestro proyecto, destacándose por su grado de protección IP68, lo cual asegura su resistencia a la entrada de cualquier tipo de material sólido o líquido al ser sumergible. Además, mantiene un caudal de 240 L/h y una altura máxima de bombeo de hasta 3 m, permitiendo una aproximación precisa a diversas variables al integrar esta bomba en el sistema de dosificación. En la tabla 2 se realiza la caracterización de las bombas utilizadas.

Tabla 2.

Caracterización de las bombas de 12V

Marca	DollaTek
Modelo	AD20P-1230C
Voltaje	12 Volts (DC)
Potencia	3.6W
Altura máxima de elevación	3 m
Caudal máximo de agua	240 L/hora
Peso	35
Protección IP	IP 68
Diámetro entrada de agua	8,5 mm
Diámetro de salida de agua	8,5 mm

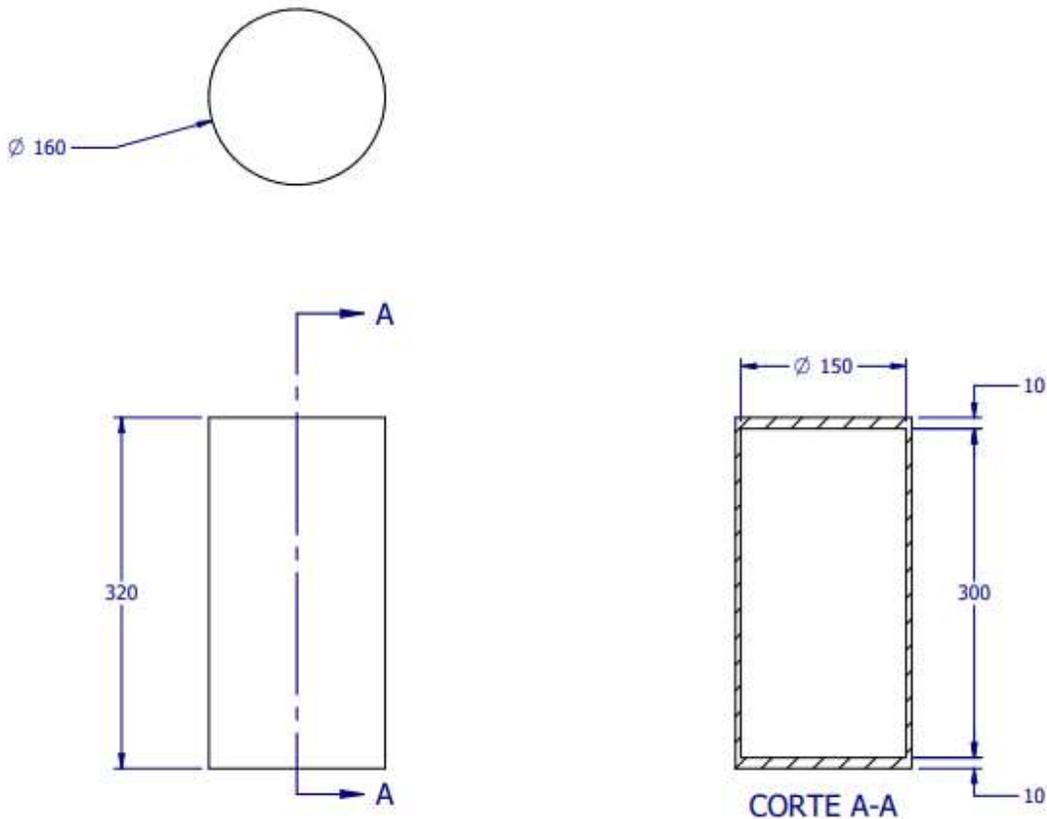
Nota. En la tabla anterior se observan las características de las bombas de 12V utilizadas.

Cálculo de la presión de la bomba:

Para realizar los cálculos de presión hidrostática referentes a los tanques de dosificación A, B y C, es necesario conocer las dimensiones de los mismos, ya que esta presión se fundamenta en la altura del fluido dentro de cada tanque. Por lo tanto, se ha diseñado un diagrama en el cual se evidencian las cotas de estos elementos, como se observa en la Figura 49. Además, estas dimensiones también se pueden encontrar en un plano en el Anexo 3. Este diagrama proporciona una base sólida para calcular la presión hidrostática, asegurando un diseño preciso y eficiente del sistema de dosificación.

Figura 49.

Diagrama de cotas de los tanques A, B y C.



Nota. En la imagen anterior se observa el diagrama de cotas para los tanques A, B y C – Anexo 3.

Para calcular la presión hidrostática, se puede utilizar nuevamente la ecuación 1:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

Donde:

P = Presión hidrostática

g = Gravedad = 9.81m/s²

h = Altura de la columna de fluido = 3m

ρ = Densidad del fluido = 1000 kg/m³

Por lo cual la presión es igual a 29.430Pa como se calcula a continuación:

$$P = 1000kg/m^3 \cdot 9,81m/s^2 \cdot 3m$$

$$P = 29430 Pa$$

A partir de las dos presiones calculadas con anterioridad (Presión Hidrostática que proporciona la gravedad del fluido y Presión de la bomba), se prosigue a calcular la presión máxima por medio de la ecuación 2.

$$P_{m\acute{a}x} = P_{Hidrostat\acute{i}ca} + P_{Bomba} \quad [2]$$

$$P_{m\acute{a}x} = 2943 Pa + 29430 Pa$$

$$P_{m\acute{a}x} = 32373 Pa$$

Teniendo como resultado una presión total de 32373 Pa, en términos de vaciado de tanque. Por otro lado, para calcular el valor aproximado del tiempo de dosificación total del tanque, primero se encuentra el volumen del tanque a partir de la ecuación 3 para conocer la cantidad de fluido a desplazar por la bomba.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad [3]$$

$$V = \pi \cdot (0,075m)^2 \cdot 0,3m$$

$$V = 0,0053 m^3 = 5,3L$$

Se convierte el caudal de la bomba a Litros por segundo y se prosigue a calcular el tiempo de vaciado del tanque a partir de la ecuación 4.

$$Q = \frac{240litros}{3600 segundos} = 0,0667 \frac{L}{s}$$

$$tiempo = \frac{Volumen}{caudal} \quad [4]$$

$$t = \frac{5,3 L}{0,0667 L/s}$$

$$tiempo de dosificado total del tanque = 79,5 s$$

En resumen, la integración de estas bombas en los tanques de dosificación A, B y C ha resultado en un aumento considerable de la presión, pasando de 2943 Pa a 32373 Pa. Este incremento es crucial para garantizar el correcto funcionamiento y la eficiencia del sistema de dosificación. Además, se ha logrado una dosificación eficiente de los tanques, acción que anteriormente no se

realizaba, en un tiempo reducido de 79.5 segundos. Este mejor desempeño se debe a la capacidad de las bombas para incrementar la velocidad de flujo del líquido y optimizar los procesos de llenado del tanque mezclador, así como el vaciado de los tanques dosificadores A, B y C.

Las bombas cuentan con un voltaje inferior al sistema antiguo de dosificación por lo cual fue necesario realizar una intervención en la parte eléctrica del tablero de control, realizando una derivación a un convertidor de voltaje que nos ofreciera los 12V a los que operan las bombas como se evidencia en la Figura 50.

Figura 50.

Derivación para convertidor de voltaje

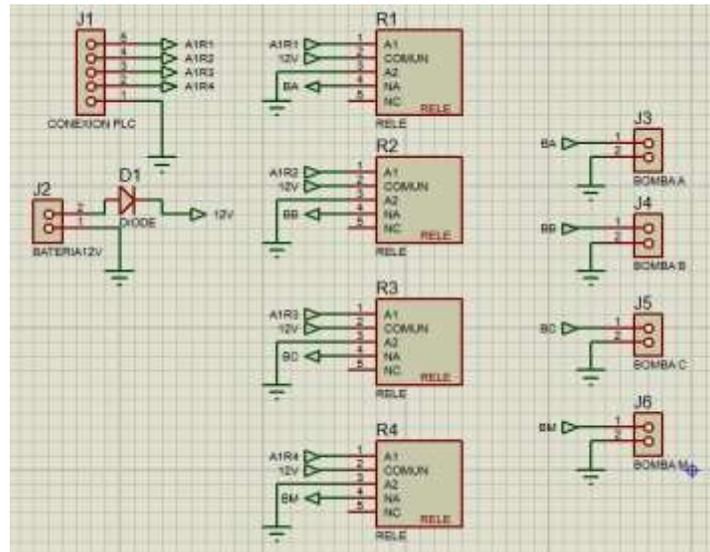


Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la derivación realizada para obtener un voltaje de 12V.

Se incluye una PCB de fabricación propia, cuyo diseño comenzó con un diagrama de los elementos necesarios para el correcto funcionamiento y control de las bombas a 12V, garantizando su operación segura. Utilizando el programa Proteus, se diseñó el esquema que se muestra en la figura 51. Este esquema incluye los siguientes componentes: los relés correspondientes a cada bomba, la entrada de 12V para la alimentación de las bombas, las conexiones de entrada y puesta a tierra, y las uniones a las entradas del OPLC. Este sistema permite el control preciso de apertura y cierre de las bombas, asegurando un funcionamiento eficiente y seguro.

Figura 51.

Diagrama Proteus elementos dentro de la PCB

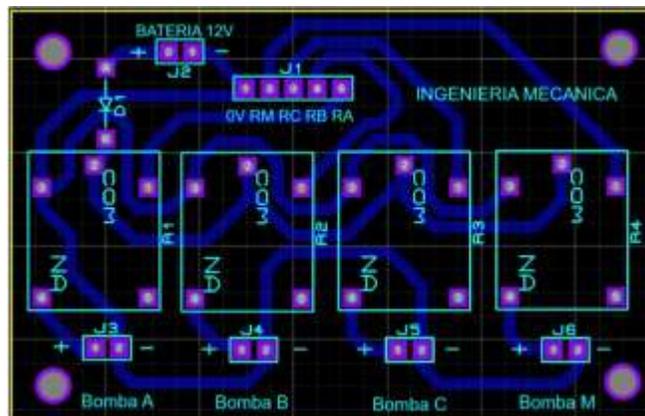


Nota. En la imagen anterior se observa el diagrama Proteus de los elementos dentro de la PCB.

Con la idea inicial de los componentes que se deben incluir en la placa PCB, se procedió a diseñarla, teniendo en cuenta la norma IPC explicada previamente en el marco teórico. Se llevó a cabo una distribución eficiente de los elementos a lo largo de la placa, buscando que las conexiones fueran fáciles de realizar y desmontar. Además, se consideraron las normas de seguridad para la placa, resultando en el diagrama final de la PCB que se muestra en la Figura 52. Esta disposición asegura un diseño funcional y seguro, optimizando tanto la instalación como el mantenimiento del sistema.

Figura 52.

Diagrama de la PCB

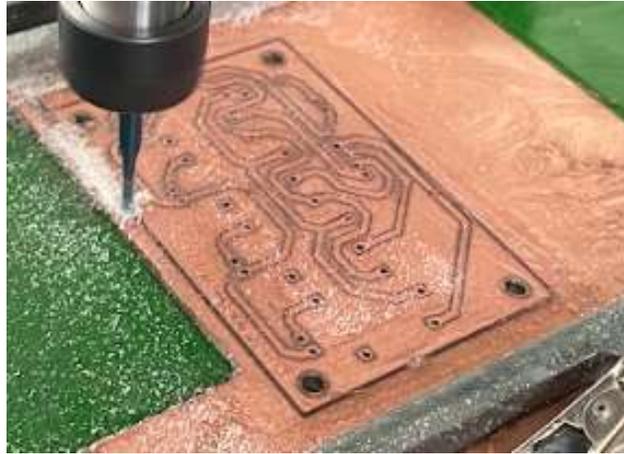


Nota. En la imagen anterior se observa el diagrama de la PCB.

Posteriormente se lleva a cabo la realización de la misma como se evidencia en la Figura 53.

Figura 53.

Realización de la PCB

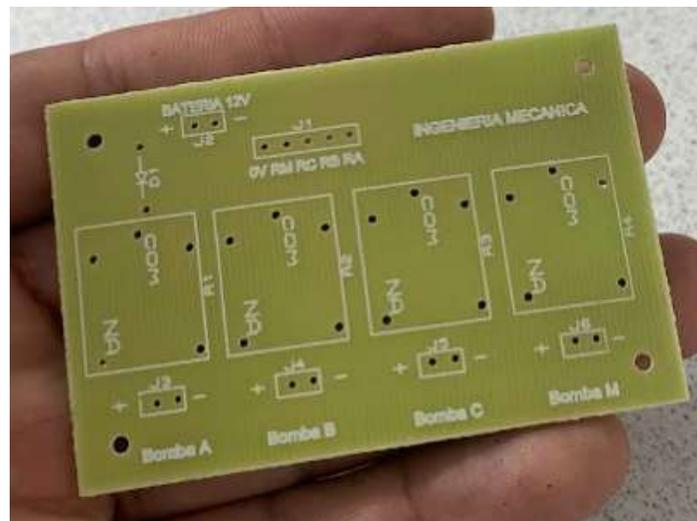


Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la elaboración de la PCB.

También se realiza la serigrafía de la placa (Figura 54) para poder evidenciar de una manera fácil la posición correcta de los diferentes elementos de la misma, esto nos permite minimizar la posibilidad de que se incurra en un error al momento del montaje y soldadura de los diferentes componentes.

Figura 54.

Serigrafía de la PCB



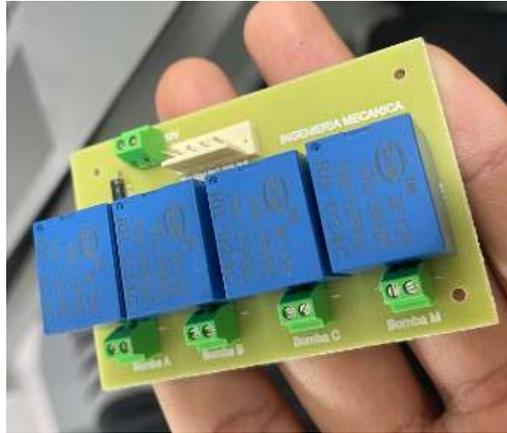
Nota. En la imagen anterior se observa la serigrafía realizada de la PCB.

Con la placa ya marcada se procede a realizar el montaje de los elementos sobre esta, lo que

se puede evidenciar en la figura 55.

Figura 55.

Montaje de los componentes eléctricos en la PCB

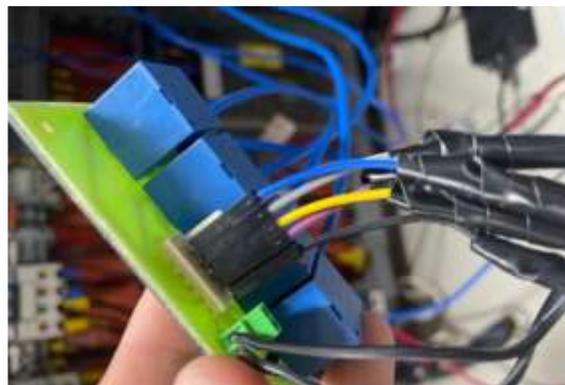


Nota. En la imagen anterior se observa el montaje de los componentes en la PCB.

Posteriormente se lleva a cabo el cableado de la placa con termoencogible en las uniones de sus cables permitiendo así minimizar el riesgo de corto eléctrico, y generando un funcionamiento más seguro y confiable de este sistema, esto se evidencia en la Figura 56.

Figura 56.

Cableado de la PCB



Nota. En la imagen anterior se observa el cableado de la PCB.

A continuación, se fija la PCB a la carcasa de la máquina (sin que entre en contacto directo) mediante tornillos y tuercas. Esto previene la posibilidad de un arco eléctrico o de un contacto no deseado entre los componentes, esta fijación se evidencia en la Figura 57.

Figura 57.

Montaje de la PCB a la Carcasa de la máquina



Nota. En la imagen anterior se observa el montaje de la PCB en la carcasa del equipo.

Por otro lado, con la utilización de las bombas es necesario utilizar un sistema de apertura para el tanque mezclador debido a que este tipo de bombas no impiden el paso de fluido a través del sistema, razón por la cual se implementa un control del flujo de los tanques A, B y C hacia el mezclador, por medio de una electroválvula en esta ingresa el flujo de cada uno de los tanques esta vez con la presión necesaria para realizar su apertura y permitir una dosificación uniforme y controlada hacia la zona 3 de la máquina embotelladora como se evidencia en la Figura 58.

Figura 58.

Llenado del tanque de mezclado



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del proceso de llenado del tanque de mezclado.

Al unir los flujos hacia una electroválvula, es importante implementar un control de flujo debido a que la presión generada por una bomba al vaciar un tanque, puede ocasionar que el fluido llene otro tanque dosificador en lugar de dirigirse directamente al mezclador. Para abordar este problema, se instala manualmente un sistema de válvulas de retención (check valves), que permite dirigir el flujo en una sola dirección hacia el punto de salida deseado; esto se observa en la Figura 59.

Figura 59.

Sistema de válvula antirretorno implementado

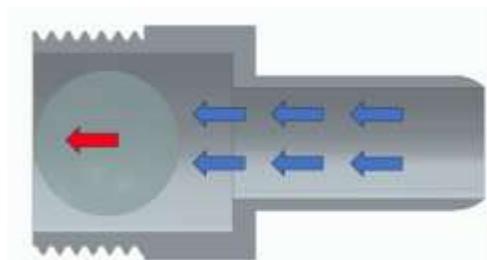


Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía y diagrama del sistema de antirretorno implementado.

El funcionamiento de esta implementación se puede evidenciar en la Figura 60, donde se observa que al momento de la salida de flujo de la válvula de retención (válvula antirretorno), la esfera es expulsada del orificio, permitiendo el paso del fluido sin mayor restricción. Este comportamiento se debe a la diferencia de diámetro entre la parte encajada con la manguera y la parte encajada con la tubería, que genera una menor resistencia al flujo en la salida. La válvula de retención está diseñada para prevenir el retorno del fluido, asegurando un flujo unidireccional. Al expulsar la esfera del orificio, se facilita un flujo continuo y eficiente, optimizando así el rendimiento del sistema y mejorando la eficiencia hidráulica del proceso.

Figura 60.

Diagrama salida de flujo de la válvula antirretorno

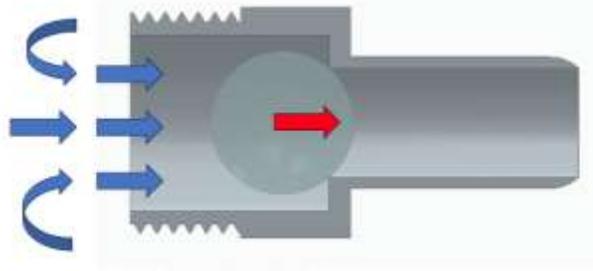


Nota. En la imagen anterior se observa la salida del fluido a través del sistema de válvula implementado.

Así mismo, al momento de dosificar otras bombas, se puede observar el funcionamiento de este sistema mediante el diagrama de la Figura 61. En este diagrama, se muestra que al momento del ingreso de flujo en la válvula de retención (check valve), la esfera es llevada hacia el espacio con el diámetro más pequeño, impidiendo así el paso del fluido al interior de los tanques que no se están dosificando. Esto permite un mejor control del fluido en la máquina, asegurando que el flujo se dirija únicamente hacia los tanques que están en proceso de dosificación y evitando la mezcla no deseada en los otros tanques.

Figura 61.

Diagrama ingreso de flujo de la válvula antirretorno



Nota. En la imagen anterior se observa el ingreso del fluido a través del sistema de válvula implementado.

6.2.1.c.Zona 3 (Dosificado y Alistamiento)

Exceso de silicona en el tanque de mezclado

- **Falla:** En el tanque, se detectaron excesos de silicona en múltiples áreas, los cuales se aplicaban para aumentar la presión y hacer que los tanques fueran "herméticos". Sin embargo, al cambiar el método de dosificación no es necesario realizar esta mala práctica, además dificulta bastante la apertura del tanque y su intervención en términos de mantenimiento, como se puede apreciar en la Figura 62.

Figura 62.

Excesos de silicona en el tanque de mezclado



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del exceso de silicona que presentaba el tanque de mezclado.

- **Solución:** Se realiza la limpieza en la unión entre la tapa y el tanque de mezclado mediante un proceso de lijado del recipiente, seguido de la aplicación de acetona para eliminar los residuos de silicona adheridos dando como resultado un aspecto mucho mejor y una mayor facilidad de acceso (Figura 63).

Figura 63.

Tanque de mezclado sin residuos de silicona



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la solución y presentación final del tanque de mezclado.

Falta de mantenimiento en el tanque y eje mezclador

- **Falla:** El problema previo con el óxido condujo a una corrosión considerable tanto en el eje de mezclado como en las aspas. Este deterioro se atribuye a la falta de mantenimiento y limpieza

periódica del equipo. Además, la dificultad para abrir el tanque, como se mencionó en la falla anterior, contribuyó al mal estado de estas piezas como se observa en la Figura 64.

Figura 64.

Suciedad al interior del tanque y su eje mezclador



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía el estado inicial del tanque de mezclado y de su agitador.

- **Solución:** Se realiza un lavado completo del tanque y sus sensores, como se puede evidenciar en la Figura 65.

Figura 65.

Lavado de tanque de mezclado



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del proceso de lavado de tanque de mezclado.

Posteriormente se realiza el cambio de las aspás, debido a que la anterior no solo presentaba suciedad, sino que estaba fracturada, por este motivo se sustituye este elemento como se puede observar en la figura 66.

Figura 66.

Nueva hélice montada en el eje mezclador



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de las aspas nuevas montadas en el tanque mezclador.

Falta de fluido en el dosificado de las botellas

- **Falla:** Se ha identificado una falta de presión para la apertura de la electroválvula de dosificado de botellas, como se observa en la Figura 67. Además, se ha detectado un diseño deficiente en este punto, ya que la dosificación de las botellas depende de la columna de fluido presente en el tanque de mezclado. Esta limitación impide lograr una uniformidad en las muestras resultantes del proceso de envasado.

Figura 67.

Sistema antiguo de dosificado para las botellas



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del sistema de dosificado en su estado inicial.

- **Solución:** Se procede nuevamente con el rediseño del sistema de dosificación, abordando la problemática identificada en el numeral 6.2.1.2. específicamente en la "Falta de presión en tanques de dosificado A, B y C" donde se realiza el respectivo cálculo de la presión del tanque; se lleva a cabo la instalación de bombas lo que resulta en un aumento significativo de esta variable, pasando de 3.534 Pa a 32.964 Pa. Este incremento es importante para asegurar el

funcionamiento óptimo y la eficiencia del sistema de dosificación. Además, se mejora la repetibilidad en las muestras de producto generadas por la máquina embotelladora, gracias a la capacidad de las bombas para proporcionar un flujo más uniforme y controlado durante el proceso de llenado de botellas como se puede observar en la Figura 68.

Figura 68.

Dosificación de botellas

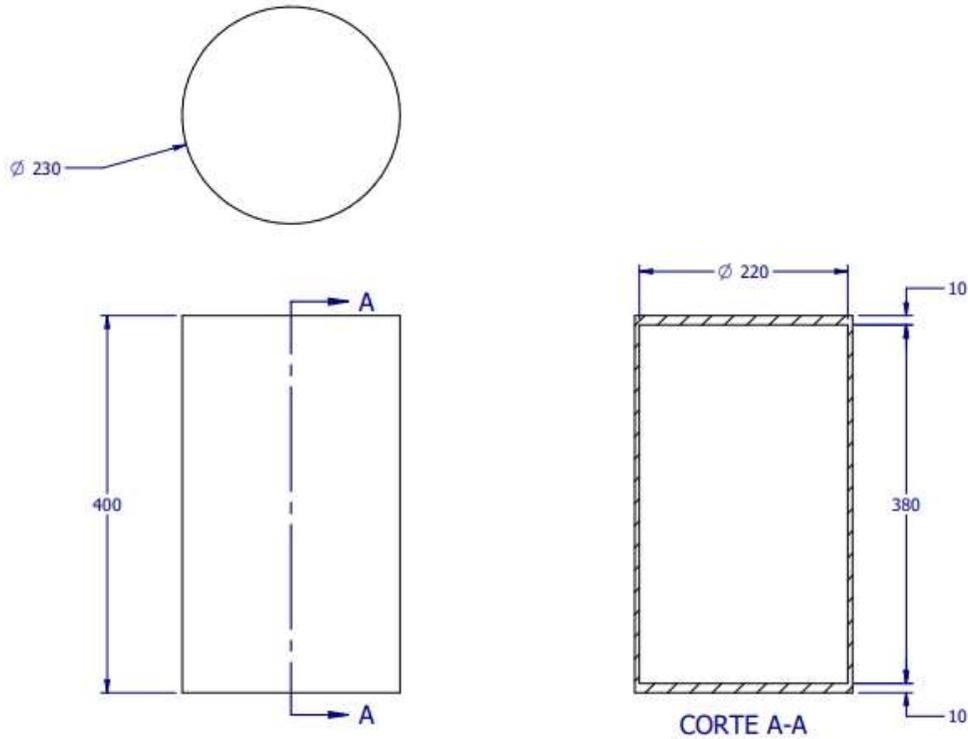


Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del proceso de dosificado de botellas.

Para realizar los cálculos de la presión hidrostática para el tanque de mezclado y dosificado, se hizo necesario conocer las dimensiones del mismo, ya que esta presión se fundamenta en la altura del fluido dentro de cada tanque. Por lo tanto, se ha diseñado un diagrama en el cual se evidencian las cotas de estos elementos, como se observa en la Figura 69. Además, estas dimensiones también se pueden encontrar en un plano en el Anexo 4. Este diagrama proporciona una base sólida para calcular la presión hidrostática, asegurando un diseño preciso y eficiente del sistema de dosificación.

Figura 69.

Diagrama de cotas tanque de mezclado y dosificado



Nota. En la imagen anterior se observa el diagrama de cotas del tanque de mezclado – Anexo 4.

Falta de funcionamiento en los sensores

- **Falla:** Los sensores de dosificado y tapado no detectan las botellas cuando están en posición, imposibilitando el dosificado y tapado de las botellas como se observa en la Figura 70 que, aunque está conectado y con elemento en frente no realiza la detección.

Figura 70.

Falta de funcionamiento del sensor



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del sensor que no está funcionando.

- **Solución:** Se procede a calibrar los sensores e implementar un recubrimiento para las botellas. Experimentalmente, se ha demostrado que este recubrimiento facilita la detección de la posición del elemento por parte del sensor. El funcionamiento de estos sensores se evidencia en la detección precisa de las botellas durante el proceso de dosificación.

Falta de funcionamiento de la banda transportadora

- **Falla:** La banda transportadora no se puede activar, esto impide el movimiento de las botellas a lo largo del proceso de alistamiento de las botellas.
- **Solución:** Se inicia analizando las conexiones dentro del tablero de control, para evidenciar continuidad dentro del sistema desde la salida del PLC hasta el motor de la banda transportadora, como se puede observar en la Figura 71.

Figura 71.

Medición de continuidad zona de motores en el tablero de control



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la medición de continuidad en zona de motores.

Se evidencian diferentes conexiones que no tienen una secuencia lógica, razón por la cual decidimos realizar una nueva conexión desde el tablero de control a un controlador de velocidad como se evidencia en la Figura 72.

Figura 72.

Conexión del PWM



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del PWM.

Posteriormente se realiza la conexión del PWM hasta el motor de la banda transportadora, como se evidencia en la Figura 73.

Figura 73.

Conexión del PWM al motor de la banda transportadora



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía de la conexión del PWM al motor de la banda transportadora.

Al realizar esta nueva conexión a la banda no solo permite el funcionamiento de la banda,

sino que nos permite la variación de la misma para controlar el tiempo en el cual la botella llega al carrusel.

6.2.2.Programación

A continuación, se realiza la identificación inicial de los componentes eléctricos y la detección de las entradas y salidas del OPLC, además se realiza el análisis del programa inicial de la máquina, para posteriormente proponer la nueva programación del equipo, mostrando también los respectivos diagramas de este proceso.

6.2.2.a. Identificación de componentes eléctricos tablero de control

El tablero de control es el corazón del sistema de la máquina embotelladora, ya que alberga los componentes eléctricos necesarios para su operación. Este apartado detalla la identificación y descripción de cada uno de los componentes eléctricos del tablero de control (Tabla 1).

Tabla 3.

Componentes eléctricos del tablero de control

Componente	Descripción	Función	Ubicación
Interruptor Principal	Dispositivo que controla la energía eléctrica total del tablero.	Permite encender o apagar todo el sistema eléctrico de la máquina.	En la parte frontal del tablero.
Transformador	Dispositivo que convierte el voltaje de entrada a un nivel adecuado para los componentes del tablero.	Asegurar que todos los componentes reciban el voltaje correcto.	Dentro del tablero, cerca de la fuente de alimentación.
Relés y Contactores	Corresponden a dispositivos electromecánicos que permiten el control de las electro bombas y electroválvulas mediante pequeñas señales eléctricas.	Activan o desactivan las electrobombas y también las electroválvulas.	Montados en las paredes y en la puerta del tablero eléctrico correctamente aislados de la superficie metálica para que no hagan corto.
Disyuntores	Dispositivos de protección que interrumpen el flujo de corriente en caso de sobrecarga o cortocircuito.	Protegen los circuitos y componentes eléctricos de daños.	En la parte trasera del tablero para acceso rápido en caso de emergencia.

PLC (Controlador Lógico Programable)	Sistema de control que ejecuta programas lógicos para automatizar procesos.	Coordina las operaciones de la máquina según la programación establecida.	Dentro del tablero, en una posición central para facilitar el acceso a todas las conexiones.
HMI (Interfaz Hombre- Máquina)	pantalla o panel táctil que permite la interacción del operador con el sistema de control.	Proporciona un medio para monitorear y controlar los parámetros operativos de la máquina.	En la parte frontal del tablero o en una consola externa accesible para el operador.

Nota. En la tabla anterior se detallan los componentes eléctricos del tablero de control.

6.2.2.b. Identificación del programa inicial de la máquina

Se evidencia que el programa de la máquina embotelladora posee una estructura funcional, sin embargo, es imperativo realizar ajustes debido a la inoperatividad de algunos elementos. Inicialmente, se intenta extraer el programa del OPLC para efectuar las modificaciones pertinentes. Sin embargo, al cargar el código del programa, se detecta que el fabricante ha implementado una Read Protection en el PLC, lo que imposibilita cualquier interacción con el código. Ante esta situación, se realiza una petición formal a través de la universidad al fabricante para obtener el código de operación de la máquina. Desafortunadamente, el fabricante no accede a compartir esta información. Este inconveniente es significativo, dado que la embotelladora tiene un propósito didáctico, diseñado para instruir a los estudiantes en diversas materias; por lo tanto, la capacidad de visualizar y modificar el código es esencial para realizar prácticas educativas que incluyan ajustes de la programación inicial.

Frente a este obstáculo, se decide desarrollar un nuevo programa desde cero. Este nuevo programa permite controlar diversas prácticas dentro de la máquina, incluyendo la revisión de sensores y la activación de salidas específicas en el PLC. Estas acciones son necesarias para comprobar la funcionalidad de los componentes y determinar si requieren ajustes, siendo crucial para comprender cómo las entradas y salidas del PLC interactúan con los distintos componentes del sistema, garantizando una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación del sistema a futuros requerimientos educativos y operativos.

6.2.2.c. Caracterización del OPLC

Para este proyecto se utiliza un controlador lógico programable (OPLC) V570, que permite

interactuar directamente con sus variables a través de una pantalla integrada. Esta pantalla muestra los diferentes estados del sistema y permite la activación de salidas de manera interactiva. La programación del OPLC V570 se realiza mediante el software Visilogic, una herramienta versátil que facilita la estructuración del código en formato Ladder y la creación de diversas interfaces de usuario. Esta capacidad de diseño y programación permite configurar el OPLC con las diferentes funciones requeridas para optimizar el funcionamiento de la máquina embotelladora. Algunas mejoras y detalles técnicos son:

Interfaz de usuario. La pantalla integrada del OPLC V570 proporciona una interfaz de usuario intuitiva para monitorear y controlar el estado de la máquina.

Programación en Ladder. Visilogic permite estructurar el código en esquema Ladder, un lenguaje de programación estándar en la automatización industrial que facilita la creación de lógica de control clara y eficiente.

Diseño de interfaces. Además del esquema Ladder, Visilogic ofrece herramientas para diseñar interfaces gráficas, mejorando la interacción del operador con el sistema.

Funciones avanzadas. El OPLC V570 y Visilogic soportan la implementación de diversas funciones avanzadas, como temporizadores, contadores y manejo de señales analógicas y digitales, que son esenciales para el control preciso de la máquina embotelladora.

Optimización del sistema. La integración del OPLC V570 con la máquina embotelladora permite una optimización significativa del proceso de dosificación y control, mejorando la eficiencia y la repetibilidad del sistema.

Según lo mencionado, se puede decir que esta configuración del OPLC V570 no solo mejora el control y monitoreo de la máquina embotelladora, sino que también facilita futuras modificaciones y ajustes en el sistema, asegurando una mayor flexibilidad y adaptabilidad en el entorno de producción.

6.2.2.d. Interfaz HMI del OPLC V570

El OPLC V570, desarrollado por Unitronics, incorpora una interfaz hombre-máquina (HMI) que facilita la interacción directa con el controlador y la supervisión del sistema.

Las características principales son:

Pantalla a Color Táctil. La pantalla táctil a color tiene un tamaño de 5.7 pulgadas, además Ofrece una resolución de 320 x 240 píxeles (QVGA), lo que garantiza una visualización clara y detallada de gráficos y datos.

Funcionalidad Táctil. Permite al usuario interactuar directamente con el sistema, facilitando la navegación por menús y la activación de funciones específicas.

Capacidades Gráficas. La HMI del V570 puede mostrar gráficos detallados, incluyendo tendencias de datos, indicadores de estado, y otros elementos visuales que ayudan en la monitorización y control del sistema.

Personalización de Pantallas. A través de Visilogic, los usuarios pueden diseñar y personalizar las pantallas HMI según sus necesidades. Esto incluye la creación de botones, indicadores, gráficos de tendencia, y otros elementos de control y visualización.

Alarmas y Notificaciones. El sistema HMI puede configurarse para mostrar alarmas y notificaciones en tiempo real, alertando al operador sobre cualquier condición anómala o problema en el sistema.

Entrada de Datos del Usuario. La HMI permite la entrada de datos por parte del usuario, como el ajuste de parámetros del sistema, configuración de setpoints, y otros valores operativos necesarios para el control del proceso.

Además, el HMI en el OPLC V570 tiene beneficios importantes para el usuario, algunos de estos son:

Facilidad de uso. La interfaz gráfica y la funcionalidad táctil hacen que la interacción con el sistema sea intuitiva y fácil de usar, reduciendo la necesidad de formación extensa para los operadores.

Monitorización en tiempo real. Permite una monitorización en tiempo real del estado del sistema y los procesos, mejorando la capacidad de respuesta ante cualquier cambio.

Mejora de la Eficiencia Operativa. La capacidad de personalizar las pantallas y las

funcionalidades HMI permite optimizar la eficiencia operativa del sistema, asegurando que los operadores tengan acceso rápido y fácil a la información crítica.

Flexibilidad y Adaptabilidad. Las capacidades avanzadas de la HMI, junto con las opciones de personalización, permiten que el sistema se adapte fácilmente a diferentes aplicaciones y requisitos operativos.

Por otro lado, es importante resaltar la integración de VisiLogic en el presente proyecto, ya que corresponde a un software que no solo permite la programación en Ladder, sino que también ofrece herramientas avanzadas para el diseño de la HMI. Algunas de las funciones que incluye son:

Diseño Gráfico. Herramientas de diseño gráfico para crear pantallas de usuario interactivas y personalizadas.

Widgets y Elementos de Control. Amplia gama de widgets y elementos de control que se pueden arrastrar y soltar en las pantallas.

Simulación y Prueba. Capacidad de simular y probar las pantallas HMI en el entorno de desarrollo antes de implementarlas en el controlador.

La combinación del OPLC V570 con sus capacidades HMI avanzadas y el software Visilogic proporciona una solución potente y flexible para la automatización y control de sistemas complejos, como una máquina embotelladora.

6.2.2.e. Detección de entradas y salidas del OPLC

Se encuentran discrepancias entre el plano eléctrico que indica las salidas y entradas del PLC y las activaciones reales de las mismas. Por esta razón, se lleva a cabo una revisión de cada componente, así como de sus entradas y salidas utilizando seguimiento y pruebas de continuidad en los distintos elementos, además se monitorea la activación de los diferentes sensores (Figura 74).

Figura 74.

Monitor con la identificación de las entradas del OPLC

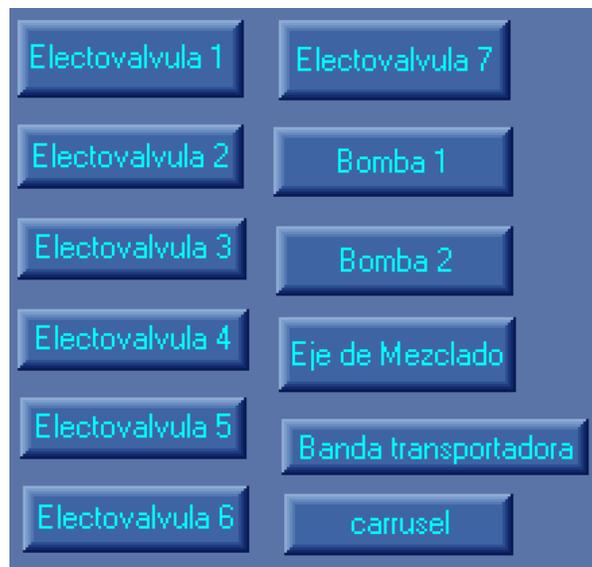


Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del monitor de programación de las entradas del OPLC.

Se realiza también la activación individual de cada salida del PLC para verificar su correcto funcionamiento, como se muestra en la figura 75.

Figura 75.

Programa de activación de salidas para el OPLC



Nota. En la imagen anterior se observa una fotografía del monitor de programación de las salidas.

Este procedimiento permite identificar de manera precisa las salidas correspondientes a las

electroválvulas de llenado de los tanques y las de dosificación de los tanques A, B y C, las cuales se reemplazan posteriormente por bombas. También se identifican las salidas de las bombas de los tanques, así como de los motores del carrusel y de la banda transportadora. Este proceso es esencial para conocer con exactitud cuáles son los elementos conectados y asegurar su correcto funcionamiento dentro del sistema, por esa razón se realiza una tabla con las diferentes entradas del OPLC como se puede evidenciar a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4.

Entradas del OPLC

Entradas digitales			
I4	Sensor de llenado	I13	Sensor nivel bajo tanque B
I5	Sensor de tapado	I14	Sensor nivel alto tanque B
I8	Sensor nivel bajo tanque mezclado	I15	Sensor nivel bajo tanque C
I9	Sensor nivel medio tanque mezclado	I16	Sensor nivel alto tanque C
I10	Sensor nivel alto tanque mezclado	I19	Nivel bajo tanque agua fría
I11	Sensor nivel bajo tanque A	I20	Nivel alto tanque agua caliente
I12	Sensor nivel alto tanque A	I21	Nivel bajo tanque agua caliente

Nota. En la tabla anterior se observan la nomenclatura dada a las entradas digitales del OPLC.

También se realiza una tabla con las diferentes salidas del PLC, donde se indica el número de salida del OPLC y la descripción del elemento al cual va conectado (Tabla 5).

Tabla 5

Salidas del OPLC

Salidas digitales			
O10	Bomba agua caliente	O21	Cilindro neumático
O11	Bomba agua fría	O22	Banda transportadora
O13	Electroválvula entrada tanque mezclado	O23	Carrusel
O14	Electroválvula salida tanque mezclado	O26	Electrobomba entrada tanque mezclado
O15	Electroválvula 4	O27	Electrobomba tanque C

O16	Electroválvula 5	O28	Electrobomba tanque B
O17	Electroválvula 6	O29	Electrobomba tanque A
O18	Electrobomba salida tanque de mezclado		

Nota. En la tabla anterior se observan la nomenclatura dada a las salidas digitales del OPLC.

6.2.2.f. Diagrama tipo Ladder preliminar de la programación

Se realiza un esquema tipo Ladder en FLUID SIM para comprender las diversas entradas y salidas y su interacción con los indicadores dentro del programa. Esto permite llevar a cabo una simulación preliminar, que facilita la visualización de la secuencia lógica de los diferentes pasos de la máquina y cómo será el esquema Ladder final. Esta simulación inicial es crucial para identificar posibles errores y realizar ajustes antes de implementar el programa definitivo en el PLC, garantizando así un funcionamiento eficiente y preciso de la máquina embotelladora. Mediante esta metodología, se logra una mejor comprensión del comportamiento del sistema, permitiendo una programación más robusta y adaptada a las necesidades específicas de la operación.

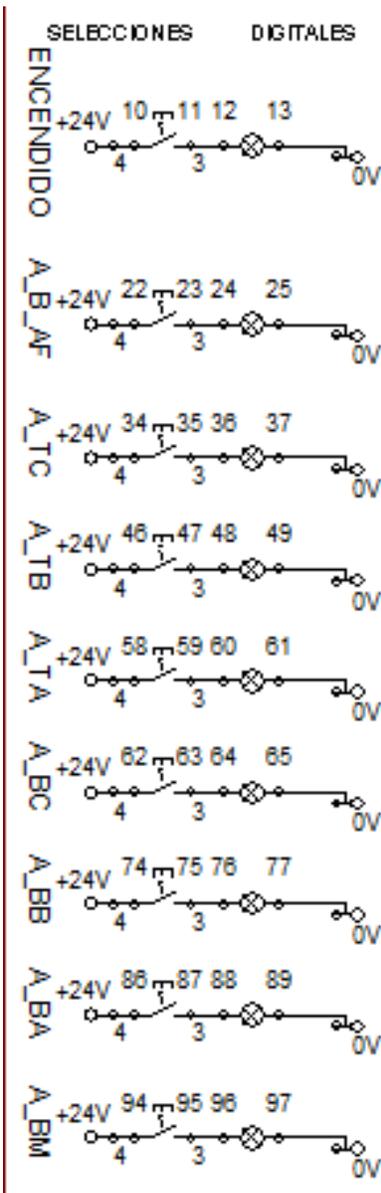
6.2.2.f.i. Entradas de usuario

Se realiza la simulación de las variables controladas directamente por el usuario en el tablero de control como se puede observar en la Figura 76. Esta simulación es esencial para comprender el funcionamiento de la secuencia lógica que se implementará en el esquema final.

Al simular estas variables, se obtienen datos valiosos sobre cómo interactúan los distintos componentes y cómo responde el sistema a diferentes condiciones operativas. Esta información es fundamental para asegurar que el esquema Ladder definitivo refleje fielmente la operación real de la máquina, permitiendo un control preciso y eficiente de todas las etapas del proceso de embotellado. Además, esta simulación ayuda a identificar y corregir posibles problemas antes de la implementación final, optimizando el rendimiento y la fiabilidad del sistema.

Figura 76.

Simulación de las variables iniciales controladas por el usuario



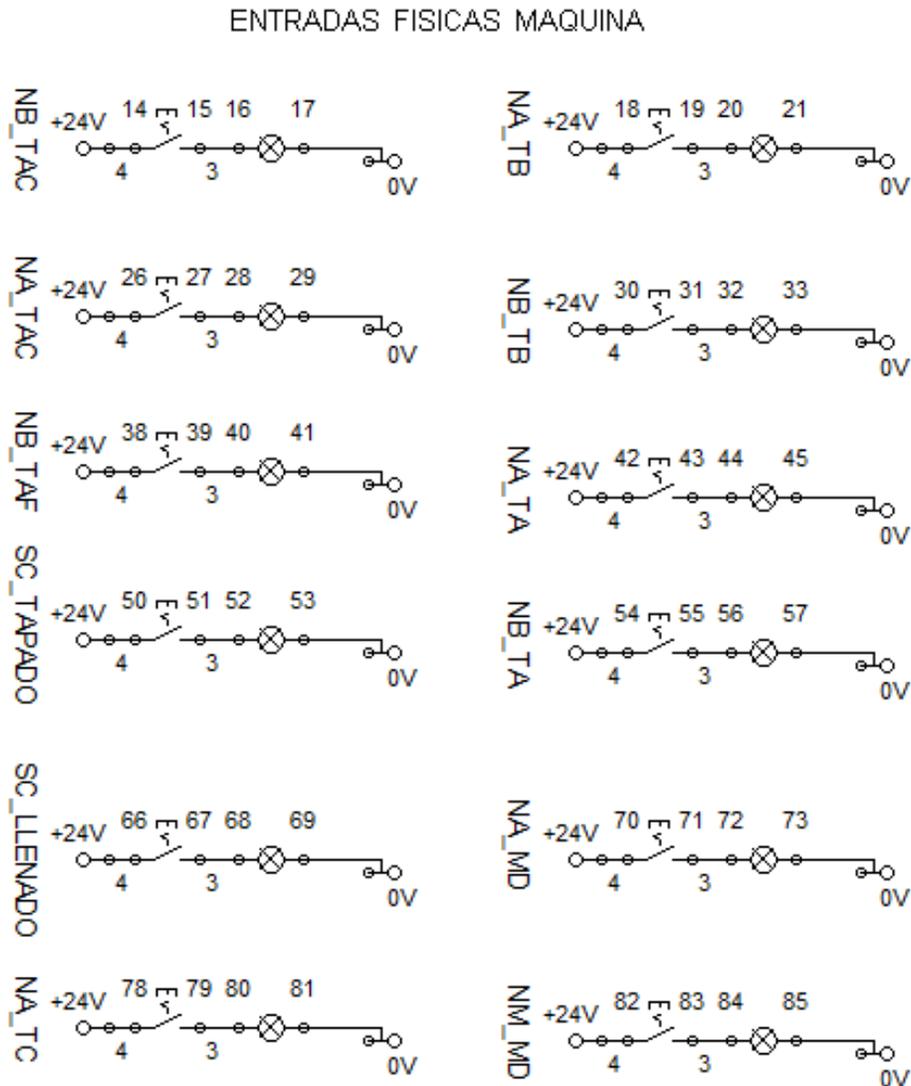
Nota. En la imagen anterior se observa la simulación de las variables iniciales de los controladores – ANEXO 5.

6.2.2.f.ii. Entradas digitales OPLC preliminar

Se realiza la simulación de las entradas físicas del PLC es decir aquellas entradas que no están directamente relacionadas con selecciones manuales del usuario, sino que son resultado de la operatividad de la máquina. Estas entradas incluyen los diversos sensores integrados en cada componente de la máquina embotelladora, como se observa en la figura 77.

Figura 77.

Entradas físicas de la máquina embotelladora



Nota. En la imagen anterior se observa la simulación de las entradas físicas en esquema Ladder – ANEXO 5.

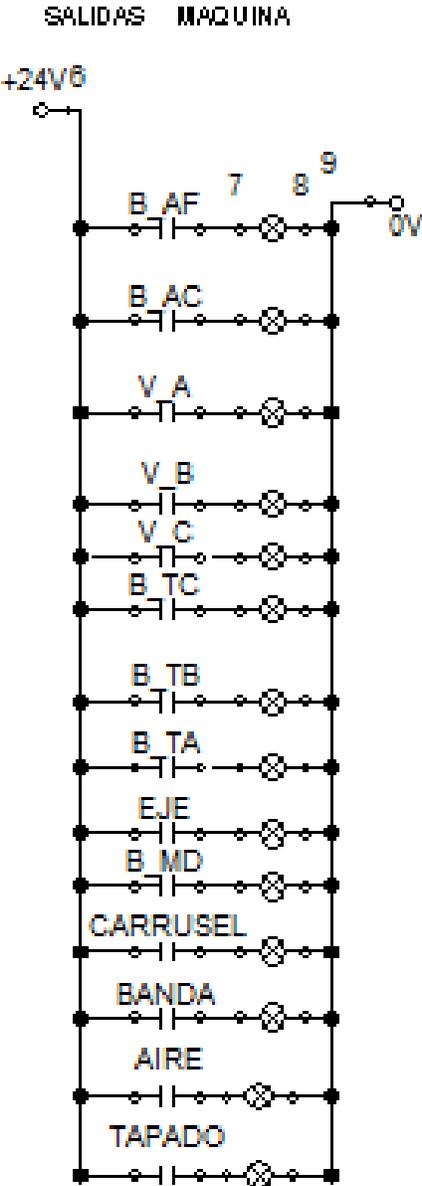
Este proceso es importante para garantizar que todas las señales de los sensores se reciban y procesen correctamente por el PLC, lo que permite un funcionamiento coherente y eficiente del sistema. La simulación permite identificar cualquier discrepancia o fallo potencial en la lectura de los sensores, asegurando así una operación precisa y fiable. Además, se obtiene una visión detallada de cómo cada sensor contribuye al ciclo completo de embotellado, facilitando la detección de posibles puntos de mejora en el diseño final del esquema de control.

6.2.2.f.iii. Salidas OPLC preliminar

Se lleva a cabo la simulación de las salidas del OPLC con el propósito de evidenciar la activación de los diversos elementos dentro del funcionamiento de la máquina, lo que permite un claro entendimiento de los diferentes componentes dentro del sistema, tales como bombas y motores. Esta simulación se presenta en la figura 78.

Figura 78.

Salidas de OPLC preliminar



Nota. En la imagen anterior se observa la simulación de salidas preliminares en esquema Ladder – ANEXO 5.

6.2.2.f.iv. Ladder preliminar del funcionamiento de la máquina

Se elabora un esquema Ladder que simula las condiciones de operación de la máquina como se observa en el Anexo 5, permitiendo evidenciar las diversas entradas y salidas del proceso. Además, se utilizan indicadores de luz para visualizar cuándo y cómo se activan los distintos sensores y salidas del programa.

Esta representación facilita la realización de diferentes pruebas para comprender el funcionamiento y las limitaciones del programa. Asimismo, brinda una perspectiva sobre cómo desarrollar el programa final de la embotelladora para convertirla en un sistema automático de dosificación de botellas.

6.2.2.g.Programación final

Se procede a implementar un nuevo programa automático destinado a la operación eficiente de la máquina embotelladora perteneciente a la Universidad de América. Este proceso se lleva a cabo mediante el uso del software VisiLogic, caracterizado por su capacidad para agilizar el proceso de dosificación de las botellas. Una ventaja adicional de esta nueva implementación es la inclusión de la función de purga de tanques, lo que simplifica las labores de mantenimiento asociadas.

6.2.2.g.i. Esquema GRAFCET

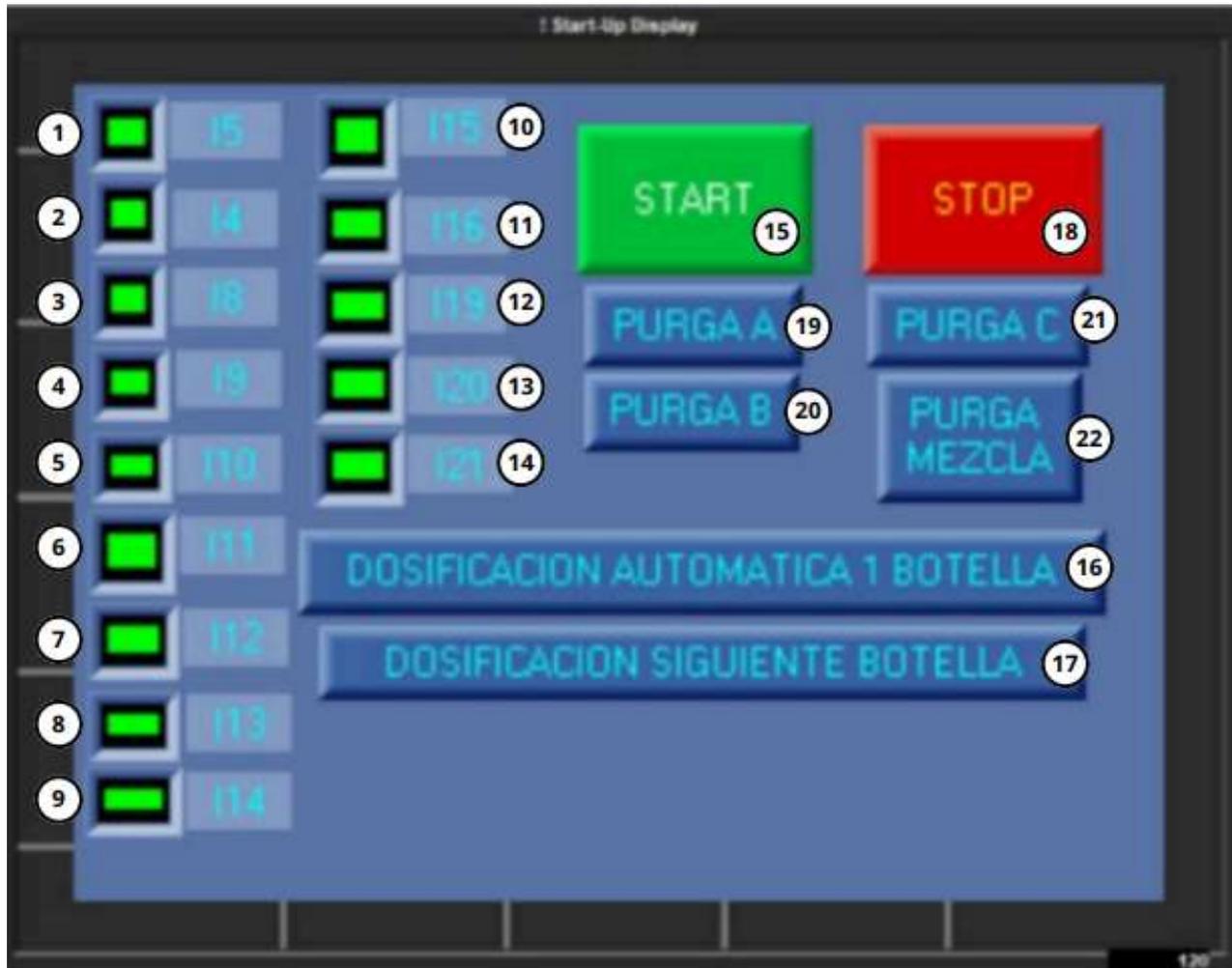
Se elabora un esquema GRAFCET con el objetivo de proporcionar una comprensión más clara de los pasos a seguir en el Ladder y la secuencia lógica de la máquina en cuanto a su operación, activación de sensores y acciones para asegurar un correcto dosificado (Anexo 6).

6.2.2.g.ii. Programación de tablero de mando en VisiLogic

Se procede con el diseño del tablero de control para llevar a cabo las acciones necesarias dentro de la máquina. Este diseño comienza con la creación de botones y marcaciones de entradas en el monitor del OPLC, tal como se muestra en la Figura 79.

Figura 79.

Identificación de la programación monitor PLC



Nota. En la imagen anterior se observa la identificación del control de mando de la máquina embotelladora.

La zona de sensores a la izquierda del monitor muestra el estado de las diferentes entradas al PLC, estas entradas están asociadas a diferentes sensores dentro de la máquina embotelladora y se referencian de la siguiente manera (Tabla 6):

Tabla 6.

Identificación de componentes del control de mando

#	Código	Función	#	Código	Función
1	I4	Sensor de llenado	12	I19	Nivel bajo tanque a. caliente
2	I5	Sensor de tapado	13	I20	Nivel alto tanque a. caliente
3	I8	Nivel bajo tanque mezclado	14	I21	Nivel bajo tanque a. fría
4	I9	Nivel medio tanque mezclado	15	START	Inicio del proceso
5	I10	Nivel alto tanque mezclado	16	-	Dosificación automática 1 botella
6	I11	Nivel bajo tanque C	17	-	Dosificación siguiente botella

7	I12	Nivel alto tanque C	18	STOP	Detener el proceso
8	I13	Nivel bajo tanque B	19	PURGA A	Retirar el líquido del tanque A
9	I14	Nivel alto tanque B	20	PURGA B	Retirar el líquido del tanque B
10	I15	Nivel bajo tanque A	21	PURGA C	Retirar el líquido del tanque C
11	I16	Nivel alto tanque A	22	PURGA MEZCLA	Retirar el líquido del tanque de mezclado

Nota. En la tabla anterior se observa de identificación de los componentes del control de mando.

Además, en la Tabla 6 también se encuentra registrada la zona de los botones, esta permite interactuar con distintas áreas de la máquina, las cuales ejecutan acciones específicas. La zona de botones se divide en dos partes: una correspondiente al sistema automático de llenado de botellas y otra que actúa de manera independiente, realizando acciones concretas.

Automática:

- **Pulsar el botón de "START":** Este botón desplaza el fluido del tanque de agua fría hacia el tanque de agua caliente, siempre y cuando el sensor de nivel bajo no esté desactivado debido a la protección de trabajo en vacío de la bomba.
- **Posteriormente, pulsar el botón "DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA 1BOTELLA":** Este botón ejecuta automáticamente el proceso de dosificación.

Acciones concretas:

- **En caso de requerir dosificar más de una botella, se debe pulsar el botón "DOSIFICACIÓN SIGUIENTE BOTELLA":** Este botón inicia el proceso desde el carrusel, pasando por el llenado, siempre y cuando el sensor de nivel bajo del tanque de mezclado esté activo como protección para evitar que la bomba trabaje en vacío. Posteriormente, continúa con el tapado y finaliza en el área de almacenamiento para cada botella.
- Si es necesario realizar una purga en cualquier tanque, se debe mantener presionado el botón de purga establecido para cada bomba.
- Para detener el funcionamiento de la máquina en cualquier momento del proceso, se debe pulsar el botón **"STOP"**.

6.2.2.g.iii. Programación Ladder en VisiLogic

Se elabora un esquema Ladder de la operación de la máquina, comenzando con la sección de sensores. Esta etapa permite la visualización del estado de los sensores, y se lleva a cabo mediante bloques multiplicadores. Estos bloques activan los indicadores de luz en el tablero de control al recibir la señal de los diferentes sensores.

En este software de programación no es posible duplicar las salidas, por lo que resulta esencial proporcionar una orientación paso a paso de los diversos factores que pueden iniciar cada salida. Esto se aplica dentro de cada uno de los procesos que requieren la activación de un componente, nosotros los llamaremos estados; tal enfoque garantiza que cada estado del esquema GRAFCET tenga sus propias condiciones específicas para activar las salidas correspondientes.

Una vez se activan los estados, se procede a activar los componentes físicos de la máquina utilizando las condiciones previamente configuradas en cada estado; permitiendo así tener una salida única para cada elemento (como bombas y motores) además de múltiples rutinas de accionamiento para estos mismos en cada paso que la máquina debe seguir para realizar el correcto embotellado del producto. Todo lo mencionado anteriormente se evidencia en el Anexo 7.

6.3. Elaboración de planos y documentación de operación

6.3.1. Planos finales con las adecuaciones realizadas

El desarrollo de los planos P&ID (Piping and instrumentation diagram) y los planos electroneumáticos es esencial para la puesta a punto de una máquina embotelladora, especialmente después de haber realizado modificaciones en su funcionamiento. Estos planos son fundamentales para asegurar tanto la eficiencia como la seguridad del sistema.

El plano P&ID ofrece una representación detallada de la disposición de tuberías, equipos, válvulas e instrumentos en el sistema. Esto proporciona una comprensión clara del proceso de embotellado, lo que facilita la identificación y solución de problemas potenciales. Por otro lado, el plano electroneumático muestra la interconexión precisa entre los componentes eléctricos y neumáticos de la máquina. Esta representación es crucial para garantizar la correcta integración y sincronización de todos los elementos del sistema.

Estos planos juegan un papel fundamental en la verificación de que las modificaciones realizadas cumplen con los estándares de calidad y seguridad requeridos. Además, sirven como una guía precisa para el mantenimiento adecuado y futuras mejoras de la máquina embotelladora, asegurando así su funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo.

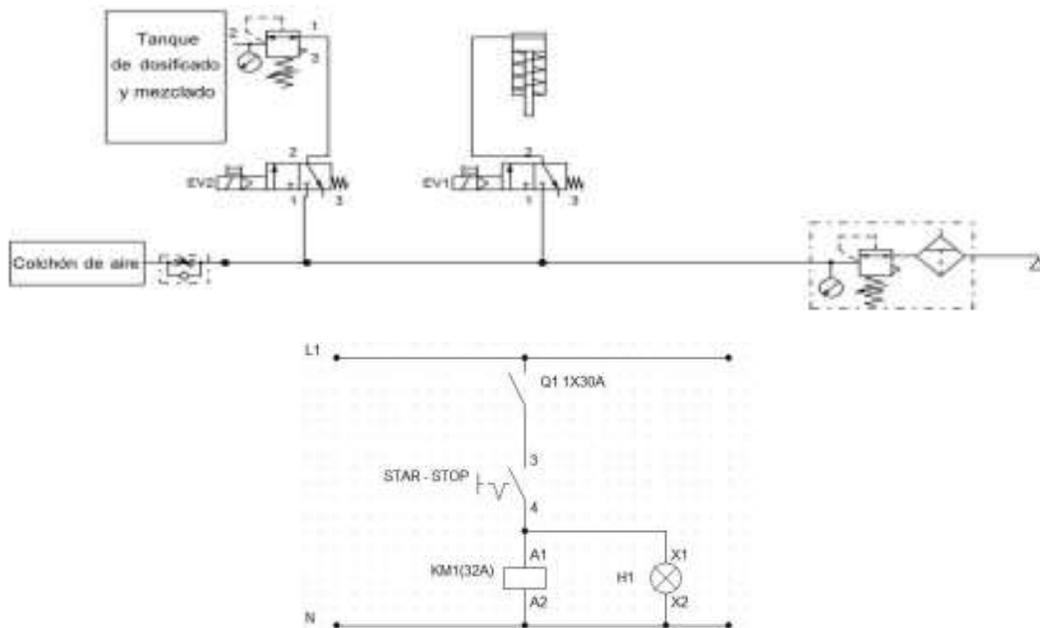
nuevamente, el cual se presenta en el Anexo 2. Posterior a todo el proceso de puesta a punto es necesario realizar el P&ID final con todas las modificaciones realizadas al proceso, este corresponde al Anexo 8.

6.3.1.b.Plano electroneumático

Al igual que como se mencionó en el ítem anterior el plano electroneumático fue suministrado de la tesis [1] y se observa en la Figura 81.

Figura 81.

Diagrama electroneumático suministrado de la máquina embotelladora



Nota. En la imagen anterior se observa el plano electroneumático suministrado [1].

Al analizar el plano anterior, se observa que los motores asociados a la banda transportadora y el carrusel carecen de indicaciones de control de velocidad. Además, se realizaron cambios en el sistema neumático. Con el incremento de la presión suministrada por las bombas, ya no es necesario inyectar aire en los tanques de dosificado y mezclado. Por lo tanto, esta parte del sistema neumático ha sido eliminada.

Posterior a todo el proceso de puesta a punto se realiza el plano electroneumático con las modificaciones realizadas al proceso, este se muestra en el Anexo 9.

6.3.1.c.Plano del tablero de control

Figura 82.

Plano suministrado de entradas del tablero de la máquina embotelladora

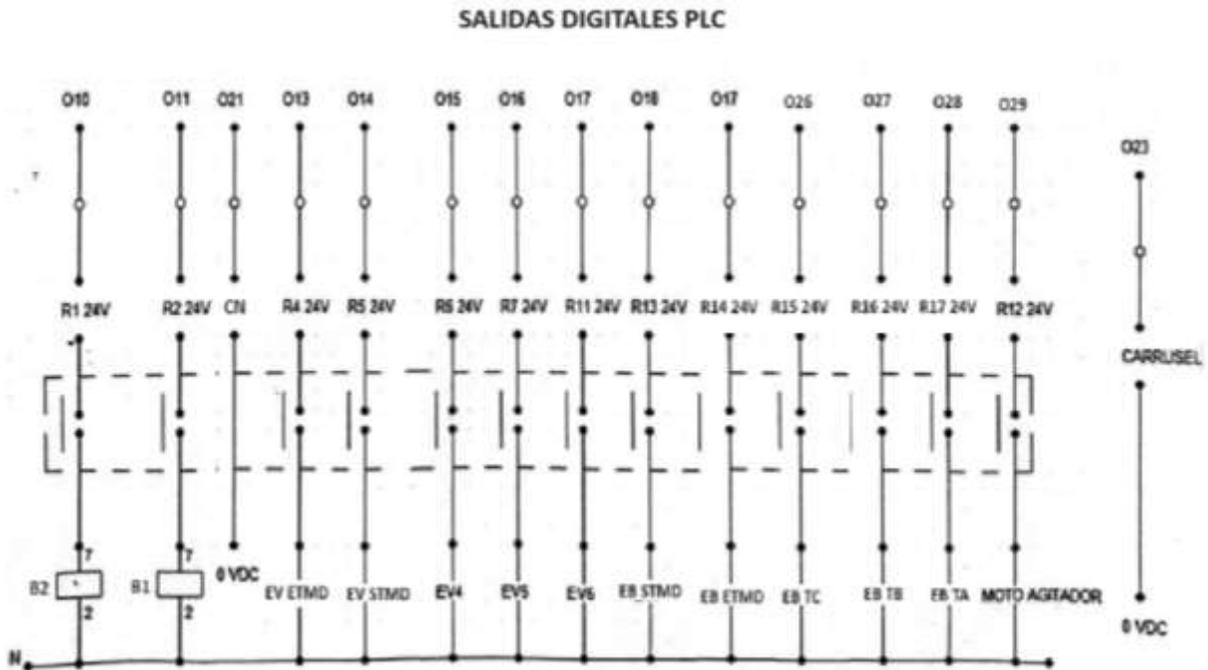


Nota. En la imagen se observa el plano de entradas suministrado de la máquina embotelladora – Anexo 10 [1].

El plano anterior (Figura 82) permite visualizar las entradas físicas que interactúan con la máquina, permitiendo así conocer el estado actual de cada uno de los componentes del proceso. Este plano fue suministrado al iniciar el proceso de la puesta a punto de la máquina embotelladora, siendo extraído de la tesis “Diseño y Desarrollo tecnológico de un equipo de envasado didáctico para el laboratorio de control de producción de la Fundación Universidad de América” [1]; a este no se le realiza ninguna modificación.

Figura 83.

Plano de salidas del tablero de la máquina embotelladora



Nota. En la imagen se observa el plano de salidas suministrado de la máquina embotelladora – Anexo 11.

Debido al cambio en el diseño de la máquina embotella se realiza el diseño de un nuevo plano de las salidas del tablero de control en el cual se describen las salidas del OPLC, la cual permite la activación de diferentes componentes eléctricos por medio de las señales enviadas desde el controlador (Figura 83).

6.3.1.d. Planos mecánicos de componentes

Para realizar el análisis de la máquina, es esencial disponer de información precisa sobre las dimensiones de diversos elementos que la componen. Particularmente, los tanques de almacenamiento de fluido juegan un papel crucial. El conocimiento detallado de sus características es fundamental para llevar a cabo un análisis exhaustivo de presiones y para la toma de decisiones informadas, como la implementación de cambios en el sistema de bombeo de la máquina. La comprensión de estos aspectos permite optimizar el rendimiento y la eficiencia del equipo, asegurando su funcionamiento bajo diferentes condiciones operativas, estos los podemos ver en los Anexos 3 y 4.

6.3.1.e. Planos hidráulicos

Un plano hidráulico es crucial en una máquina embotelladora porque proporciona una representación detallada del sistema de tuberías, válvulas, bombas y otros componentes que manejan el flujo de líquidos. Este plano asegura que todos los elementos del sistema estén correctamente ubicados y conectados, facilitando el diseño, la instalación y el mantenimiento de la máquina. Además, permite a los técnicos identificar y solucionar problemas de manera más eficiente, asegurando un funcionamiento continuo y evitando interrupciones en el proceso de embotellado.

La importancia del plano hidráulico radica en su papel en la optimización del rendimiento del sistema. Tener una visión clara de la disposición de los componentes y el flujo de líquidos permite diseñar un sistema más eficiente, minimizando las pérdidas de presión y mejorando tanto la velocidad como la precisión del dosificado.

Para lograr esto, se elabora un plano en el cual se detallan las dimensiones de los tanques y tuberías que influyen en el sistema (Anexo 12). Además, se incluye otro plano que evidencia la simbología de los elementos en la máquina y su secuencia para la dosificación (Anexo 13), proporcionando una guía clara para la implementación y el mantenimiento del sistema.

6.3.2. Manual de usuario

El manual de operación de la máquina embotelladora es esencial en un contexto académico universitario porque proporciona a los estudiantes conocimientos sobre el funcionamiento y mantenimiento de equipos industriales y control de calidad. Prepara a los estudiantes para el mundo laboral al familiarizarlos con documentación técnica y procedimientos industriales; facilita la investigación en mejora de procesos e innovación tecnológica; y sirve como guía para la capacitación práctica, permitiendo aplicar conocimientos teóricos en un entorno real. En resumen, es una herramienta educativa clave para desarrollar habilidades técnicas (Anexo 14).

6.3.3. Resultados.

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de los datos recopilados durante la investigación. A continuación, se detallan los principales descubrimientos y su relevancia, proporcionando una base sólida para la discusión y las conclusiones posteriores. Como se evidencia a lo largo de la realización del presente proyecto, la máquina presentaba gran cantidad de fallos que fueron identificados con una inspección a fondo de cada componente que conforma el sistema; y estos posteriormente fueron solucionados cada uno para al final lograr la puesta a punto de la máquina embotelladora didáctica de la Universidad de América como se evidencia en los videos adjuntos en el siguiente link:

https://drive.google.com/drive/folders/1hWM_8ZLXk23rkUcmRDW-X0Z83-QwKqU3?usp=sharing

Una de las mayores problemáticas solucionadas fue la falta de una presión óptima para llevar a cabo el proceso de dosificación por parte de las válvulas de salida de los tanques A, B y C (siendo V-105, V-106 y V-107 respectivamente). En el estado inicial de la máquina no era posible el transporte del líquido al tanque mezclador debido a que las electroválvulas requerían un mínimo de presión para su apertura y la presión hidrostática como fue planteado en el diseño del equipo no era suficiente; por esta razón es necesario implementar un nuevo sistema de bombeo; por esta razón se realiza la incorporación de bombas, generando un aumento significativo de la presión pasando de 2943 Pa a 32373 Pa, permitiendo un flujo adecuado del líquido hacía el tanque mezclador y posteriormente al proceso de dosificado, además de un control de variables como la presión y el tiempo de llenado.

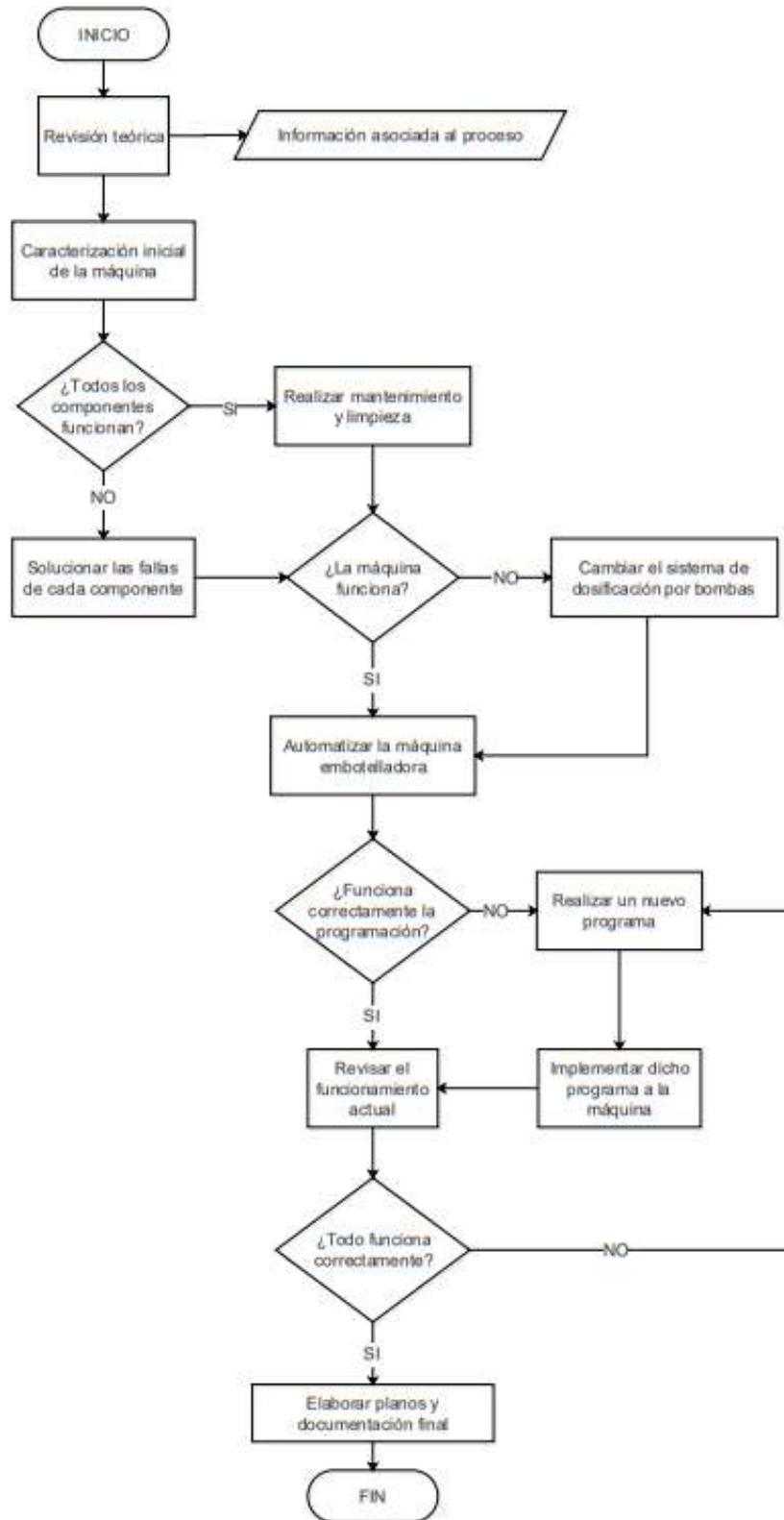
Otro beneficio de la solución anterior, es que el uso de bombas favorece repetibilidad en el

proceso, ya que al no utilizar la presión hidrostática en la dosificación se tiene un mayor control del proceso obtenido así que 9 de cada 10 botellas se llenan con el mismo volumen; siendo este un resultado favorable pues solo la primera botella tendría fallos debido al tiempo que requerido para la succión inicial del líquido por parte de la bomba.

Para ilustrar de manera clara y concisa los pasos llevados a cabo durante este proceso se ha desarrollado un diagrama de flujo (Figura 84), el cual sirve como herramienta para visualizar las diferentes etapas y actividades involucradas en la puesta a punto de la máquina embotelladora.

Figura 84.

Diagrama de flujo del proceso



Nota. En la imagen se observa el diagrama de flujo de los pasos llevados a cabo para la elaboración del proyecto.

6.3.3.a. Análisis de la repetibilidad de la máquina embotelladora

En términos de repetibilidad, teniendo en cuenta que esta hace referencia a la cantidad de botellas dosificadas con aproximadamente el mismo volumen de fluido en su interior, se evidencia que inicialmente la máquina no puede realizar el llenado de ninguna botella por lo cual su repetibilidad inicial tendría un valor de 0 botellas dosificadas con el mismo volumen.

Tras el trabajo realizado en la automatización de la máquina embotelladora, se evidencia un aumento significativo en la repetibilidad del proceso, debido a que con los cambios implementados ahora se logra dosificar las botellas con un volumen constante; esto se evidencia en la Tabla 7.

Tabla 7.

Análisis de repetibilidad e el proceso de embotellado

Número de botellas	Antes de la automatización	Después de la automatización
10	0	9
20	0	19

Nota. En la tabla anterior se realiza la identificación de los componentes el control.

Esta falla en la repetibilidad de una botella por ciclo se debe a que estas ahora contienen aproximadamente el mismo volumen de agua, excepto la primera botella a dosificar. La primera botella presenta variaciones porque las mangueras se purgan después de usar la máquina, y el tiempo necesario para que el fluido pase por la manguera afecta el tiempo de llenado total, reduciendo el volumen en la primera botella.

6.3.3.b. Análisis de la eficiencia de la máquina embotelladora

Para analizar la eficiencia de la máquina embotelladora, se debe evaluar la operación y el correcto funcionamiento de cada elemento del sistema. Esto se logra utilizando cuatro categorías que califican el estado de cada elemento y su función dentro del sistema. Este análisis busca identificar los puntos más deficientes de cada zona y su evolución a lo largo del proyecto. Se realizan las Tablas 8, 9 y 10 las cuales comparan el estado de los elementos por cada zona en dos momentos: el inicio del proyecto y el final del mismo. Las categorías para la evaluación son:

- **Ineficiente (0%).** El elemento no está funcionando.
- **Subóptimo (25%).** El elemento tiene la capacidad de operar, pero no es lo que se necesita para la operación de la máquina embotelladora.

- **Por mejorar (50%).** El elemento funciona, pero tiene algún punto a mejorar o no es la mejor opción dentro del funcionamiento de la máquina.
- **Eficiente (100%).** El elemento funciona correctamente y es la opción adecuada para el funcionamiento de la máquina.

La justificación de estas calificaciones se basa en el análisis realizado a lo largo del proyecto y su documentación en este informe.

Tabla 8.

Análisis de eficiencia – Zona 1

Componente	Estado Inicial	Estado Final	Eficiencia Inicial (50%)	Eficiencia Final (50%)
Válvula apertura manual (V-101)	Por mejorar	Eficiente	50	100
Tanque de agua fría (T-101)	Eficiente	Eficiente	100	100
Bomba 1 (P-101)	Eficiente	Eficiente	100	100
Tanque de agua caliente (T-102)	Eficiente	Eficiente	100	100
Termostato	Eficiente	Eficiente	100	100
Bomba 2 (P-102)	Por mejorar	Eficiente	50	100

Nota. En la tabla anterior se realiza el análisis de eficiencia – zona 1.

Tabla 9.

Análisis de eficiencia – Zona 2

Componente	Estado Inicial	Estado Final	Eficiencia Inicial (50%)	Eficiencia Final (50%)
Electroválvula para llenado de tanques A (V-102)	Ineficiente	Eficiente	0	100
Electroválvula para llenado de tanques B (V-103)	Eficiente	Eficiente	100	100
Electroválvula para llenado de tanques C (V-104)	Eficiente	Eficiente	100	100
Tanque A (T-103)	Subóptimo	Eficiente	25	100
Tanque B (T-104)	Subóptimo	Eficiente	25	100
Tanque C (T-105)	Subóptimo	Eficiente	25	100
Electroválvula de dosificación tanque A (V-105)	Subóptimo	-	25	-
Electroválvula de dosificación tanque B (V-106)	Subóptimo	-	25	-
Electroválvula de dosificación tanque C	Subóptimo	-	25	-

(V-107)				
Bomba de dosificación tanques A (P-103)	-	Eficiente	-	100
Bomba de dosificación tanques B (P-104)	-	Eficiente	-	100
Bomba de dosificación tanques C (P-105)	-	Eficiente	-	100
Electroválvula de dosificación (V-105)	-	Eficiente	-	100

Nota. En la tabla anterior se realiza el análisis de eficiencia – zona 2.

Tabla 10.

Análisis de eficiencia – Zona 3

Componente	Estado Inicial	Estado Final	Eficiencia Inicial (50%)	Eficiencia Final (50%)
Tanque de mezclado y dosificado (T-106)	Por mejorar	Eficiente	50	100
Electroválvula de dosificado (V-108)	Subóptimo	Eficiente	25	100
Sensor de llenado	Por mejorar	Eficiente	50	100
Banda transportadora de la embotelladora (BT-101)	Ineficiente	Eficiente	0	100
Carrusel de alistamiento de botellas (CR-101)	Eficiente	Eficiente	100	100
Dispensador de tapas sin ejercer presión	Por mejorar	Eficiente	50	100
Sensor de tapado	Por mejorar	Eficiente	50	100
Cilindro Neumático (CY-101)	Por mejorar	Eficiente	50	100
Colchón de aire	Eficiente	Eficiente	100	100

Nota. En la tabla anterior se realiza el análisis de eficiencia – zona 3.

Tras analizar la eficiencia de las diferentes zonas es posible llegar a la Tabla 11, la cual muestra la eficiencia de las zonas al inicio del proyecto y al finalizar el mismo.

Tabla 11.

Recopilación de la eficiencia por cada zona

Zona	Eficiencia Inicial (%)	Eficiencia Final (%)
1	83,3	100
2	38,9	100
3	52,8	100

Nota. En la tabla anterior se realiza la recopilación de los análisis de eficiencia.

7. CONCLUSIONES

Tras un análisis detallado del funcionamiento inicial de la máquina se identificaron y abordaron los puntos críticos que afectaban su desempeño óptimo. La automatización y la implementación de un nuevo sistema de bombeo han permitido corregir diversas fallas, posibilitando que el equipo opere en condiciones normales, lo que a su vez resulta en una mejora significativa en la eficiencia, repetibilidad y capacidad de procesamiento. Con todo lo anterior se logra realizar el diseño de los planos finales del funcionamiento de la máquina, además del manual de operación.

La caracterización inicial de los componentes y del funcionamiento de la máquina embotelladora fue importante para el éxito del proyecto; esta evaluación permitió identificar y comprender el estado inicial de la máquina, para así poder diseñar y aplicar soluciones específicas y adecuadas al proceso, optimizando el rendimiento y la eficiencia del sistema. Además, esta caracterización inicial proporcionó una base sólida para la implementación de mejoras asegurando que las intervenciones fueran precisas y dirigidas a las verdaderas necesidades del equipo, lo cual es esencial para alcanzar los objetivos del proyecto y garantizar la confiabilidad y repetibilidad del proceso de embotellado.

La incorporación de bombas ha permitido un incremento de la presión de 2943Pa a 32373Pa, solucionando el problema de presión insuficiente para la apertura de las electroválvulas y asegurando un flujo adecuado del líquido hasta el tanque mezclador y posteriormente al proceso de dosificado; esto ha resultado en una eficiencia de más de 100 botellas por ciclo y una alta repetibilidad en cada uno de los productos.

La implementación del nuevo sistema de bombeo ha mejorado la repetibilidad del proceso, pasando de que en el estado inicial se obtuvieran 0 de cada 10 botellas llenadas, a que después de la puesta a punto se obtengan 9 de cada 10 botellas; con esto se puede afirmar que se cumplió con el propósito de lograr el funcionamiento adecuado de la máquina, asegurando además una mayor consistencia y calidad en el proceso de embotellado.

La elaboración de planos y documentación detallada para la operación de la máquina embotelladora asegura que los futuros usuarios puedan operar y mantener la máquina de manera eficiente, contribuyendo a la sostenibilidad del proyecto.

Se evidencia a lo largo de la inspección inicial, que los planos suministrados del estado inicial

de la máquina tenían errores e incongruencias por lo que fue necesario realizar nuevamente su elaboración (Anexo 1 y 2). En adición, después de realizar varias modificaciones en los componentes y funcionamiento de la máquina para llevar a cabo la puesta a punto de esta, se diseñan los respectivos planos actualizados que contiene las características de operación y control de los elementos presentes en la máquina, así como la documentación esencial para garantizar su correcto funcionamiento.

La puesta a punto de la máquina embotelladora didáctica de la Universidad de América no solo incrementa la eficiencia de producción, sino que también proporciona una herramienta de enseñanza más efectiva para los estudiantes del laboratorio de automatización, logrando el acercamiento de estos a los procesos industriales, además al quedar toda la información abierta al público, tienen la capacidad de visualizar y modificar el código siendo esencial para realizar prácticas educativas que incluyan ajustes de la programación inicial y con esto una mayor interiorización de los conocimientos.

La elaboración del manual de operación para la máquina embotelladora didáctica ha sido un componente importante del proyecto, ya que proporciona una guía detallada y estructurada para su uso y mantenimiento. Este manual asegura que los usuarios, especialmente los estudiantes, puedan operar la máquina de manera segura y eficiente, minimizando riesgos y errores. Además, facilita la continuidad del conocimiento y la formación, permitiendo que futuros usuarios comprendan y aprovechen al máximo las capacidades de la máquina, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad y efectividad del proceso de enseñanza en el laboratorio de automatización de la Universidad de América.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Universidad fomentar la realización de este tipo de proyectos los cuales, desde un enfoque investigativo y práctico con el fin de generar conocimiento, logrando dar a los estudiantes un acercamiento y una visión real de los procesos industriales y la importancia de un buen manejo de los conocimientos en los procesos de diseño y automatización.

También sería conveniente investigar y aplicar soluciones que aumenten la eficiencia energética y reduzcan el impacto ambiental de la operación de la máquina embotelladora, como la implementación de sistemas de recuperación de energía o el uso de materiales reciclables en el proceso.

Por otro lado, para posteriores proyectos sería interesante fomentar la colaboración con otros programas académicos de la universidad, con el fin de buscar nuevas perspectivas y aportes que puedan ser útiles para seguir optimizando el funcionamiento de la máquina embotelladora.

Otro punto importante, es que la Universidad realice un mantenimiento preventivo de la máquina embotelladora, incluyendo inspecciones regulares, calibraciones, y reemplazo de componentes críticos para evitar fallos inesperados y prolongar la vida útil del equipo.

Por último, se recomienda la incorporación del equipo en el proceso de aprendizaje de asignaturas como electrónica, instrumentación, mecánica de fluidos, termodinámica, programación, transferencia de calor, neumática y oleodinámica; debido a que puede servir como una herramienta práctica y multifuncional para mejorar la comprensión y aplicación de los conceptos teóricos en cada una de estas disciplinas preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos técnicos en sus futuras carreras profesionales. A continuación, se explica cómo puede ser utilizada en cada una de las asignaturas mencionadas.

Electrónica. la máquina embotelladora didáctica puede servir como una plataforma para el diseño, análisis y prueba de circuitos electrónicos; los estudiantes pueden aprender a integrar y calibrar sensores para medir variables como el nivel de líquido, temperatura y presión. Además, podrán diseñar circuitos de control para automatizar el proceso de embotellado, lo que les proporcionará una comprensión práctica de cómo funcionan los sistemas electrónicos en aplicaciones industriales.

Instrumentación. Los estudiantes pueden diseñar y probar sistemas de control automático, utilizando controladores lógicos programables (PLC) para gestionar y optimizar el proceso. Esta aplicación práctica les proporciona una comprensión profunda de cómo se integran y gestionan los sistemas de instrumentación y control en un entorno industrial, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos reales en la automatización de procesos.

Mecánica de fluidos. Esta asignatura se beneficiará del uso de la máquina embotelladora para la comprensión del comportamiento de los fluidos en movimiento. Los estudiantes pueden estudiar el flujo laminar y turbulento, las pérdidas por fricción en tuberías, y los efectos de diferentes tipos de válvulas y bombas. Este equipo permitirá realizar experimentos prácticos y observar en tiempo real cómo los principios teóricos se aplican en un sistema de embotellado.

Termodinámica y transferencia de calor. La máquina embotelladora puede ser utilizada para demostrar la transferencia de calor y el equilibrio térmico en procesos industriales. Los estudiantes pueden investigar cómo la temperatura influye en la viscosidad de los líquidos y en la eficiencia del proceso de embotellado; además, pueden analizar el sistema de calentamiento involucrado, proporcionando una experiencia completa de cómo se gestionan los procesos térmicos en la industria.

Programación. Puede aprovechar la máquina embotelladora para enseñar a los estudiantes a desarrollar software de control y monitoreo. Los estudiantes pueden escribir algoritmos para automatizar el proceso de embotellado, controlar sensores y actuadores, y gestionar el flujo de datos en tiempo real. Esta práctica les permitirá aplicar sus conocimientos de programación en un contexto industrial, mejorando su capacidad para desarrollar soluciones prácticas y eficientes.

Neumática. Esta asignatura se beneficiará del uso de la máquina embotelladora para enseñar el diseño y operación de sistemas hidráulicos y neumáticos. Los estudiantes pueden trabajar con cilindros, válvulas, bombas y compresores, y aprender a controlar estos sistemas mediante circuitos electrónicos y software. Esta experiencia práctica les proporcionará una comprensión más profunda de cómo se utilizan los sistemas de fluidos en aplicaciones industriales.

REFERENCIAS

- [1] Palacios, J. J. (2018). DISEÑO Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DE UN EQUIPO DE ENVASADO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE CONTROL DE PRODUCCIÓN DE LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA [Trabajo de grado, Universidad de América]. Lumieres.
- [2] Maquinaria Embotelladora y Maquinaria de Envasado Della Toffola. (s.f.). <https://www.dellatoffola.es/es/catalogue/embotellado-y-enzasado>
- [3] Embotelladoras automáticas de cerveza - Envasado/embotellado híbrido 6611 EPV. (s.f.). Sistemas de llenado IC. [https://www.icfillingsystems.com/es/beer-bottling-machines/](https://www.icfillingsystems.com/es/beer-bottling-machines/automatic-beer-bottling-machines/)
- [4] (MCC), O. V. (2023, 25 de mayo). La automatización de procesos puede agilizar las operaciones y optimizar el tiempo. LinkedIn: Log In or Sign Up. <https://www.linkedin.com/pulse/la-automatización-de-procesos-puede-agilizar-las-y-el-oswaldo-vicenté?originalSubdomain=es>
- [5] Innovar en el envasado: tendencias emergentes para la industria y el papel clave de las máquinas CDA. (s.f.). CDA. <https://cdafrance.com/es/actualidades-de-cda-fabricante-de-maquinas-de-etiquetado/innovacion-en-el-enzasado/>
- [6] ¿Cuáles son algunos de los lenguajes de programación PLC comunes y sus ventajas y desventajas? (2023, 16 de mayo). LinkedIn: Log In or Sign Up. <https://www.linkedin.com/advice/1/what-some-common-plc-programming-languages-advantages?lang=es&originalSubdomain=es>
- [7] J. Zavala, “Plan de Mejora de la Gestión de Mantenimiento de un Proceso de Embotellado Basado en el Análisis de Confiabilidad”, Edu.pe, mayo del 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uarm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/eae3364d-c0eb-4566-a0a2-ecd2abe8300f/content>.
- [8] Redes Industriales: que son, principales tipos y su utilidad. (s.f.). Collaborative robotic automation | Universal Robots Cobots. <https://www.universal-robots.com/mx/blog/redes-industriales-que-son-principales-tipos-y-su-utilidad/>
- [9] Tipos de controles, software y componentes. (s.f.). PMMI ProSource: Encuentre los mejores proveedores de envasado y procesamiento. <https://es.prosource.org/category/controls-software-115>

and-components/controls-software-and-components

- [10] A. Laverde, «[Vídeo]¿PCB qué es y para que sirve?», |Normas IPC|Certificación|ALDELTA, 15 de junio de 2022. <https://www.aldeltatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/pcb-que-es-y-para-que-sirve/>
- [11] Z. Peterson, «Tipos de PCB o placas de circuito impreso», Altium, 1 de julio de 2024. <https://resources.altium.com/es/p/pcbs>
- [12] IPC International, «IPC International, Inc.», IPC International, Inc., 24 de mayo de 2024. <https://www.ipc.org/solutions/ipc-design>
- [13] Pcbelec, «IPC Standards: A Guide to Standards for PCB Manufacturing and Assembly», PCB Prototype Manufacturing & Assembly Services - JHYPCB, 20 de diciembre de 2023. <https://www.pcbelec.com/ipc-standards-for-pcb-manufacturing-and-assembly.html>
- [14] Endress y Hauser, S.A. (s.f.). Caudal, nivel, análisis de líquidos, análisis óptico, presión, medición de temperatura, software y productos de sistema | Endress+Hauser. <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-deteccion-nivel-capacitiva>
- [15] Detección de nivel con sensores capacitivos. (s.f.). Baumer - Passion for Sensors | Baumer Germany. <https://www.baumer.com/int/es/vista-general-de-productos/sensores-de-proceso/sensores-de-nivel-continuo/sensores-de-nivel-puntual-capacitivos/c/14388>
- [16] <https://blog.ansi.org/ansi-isa-5-1-2022-instrumentation-symbols/>
- [17] <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa5-1>

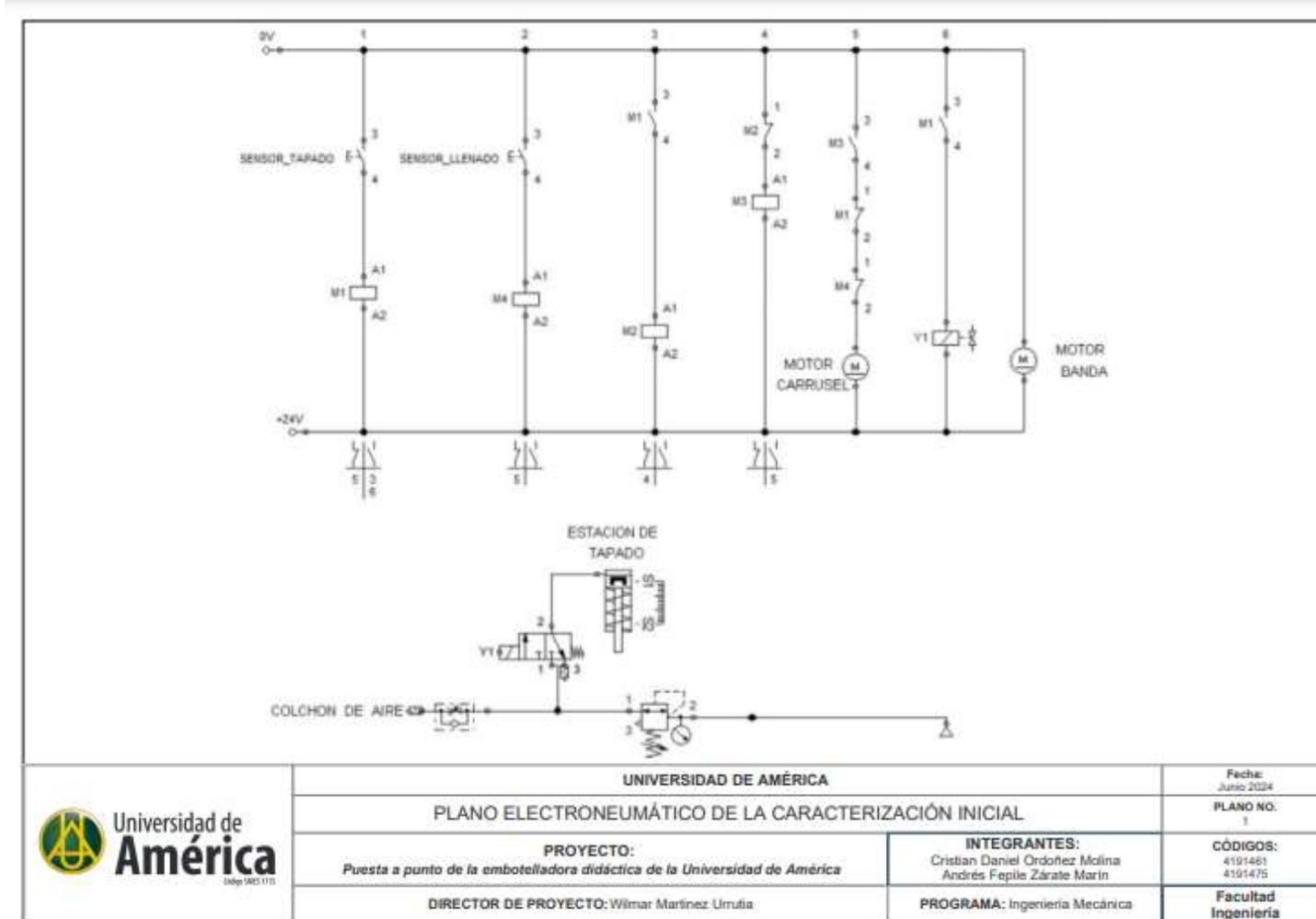
Link de carpeta de drive con todos los anexos:

https://drive.google.com/drive/folders/18lGREv_5kI03NFHZOgmSLHieBEDazmRR?usp=sharing

ANEXOS

Figura 85.

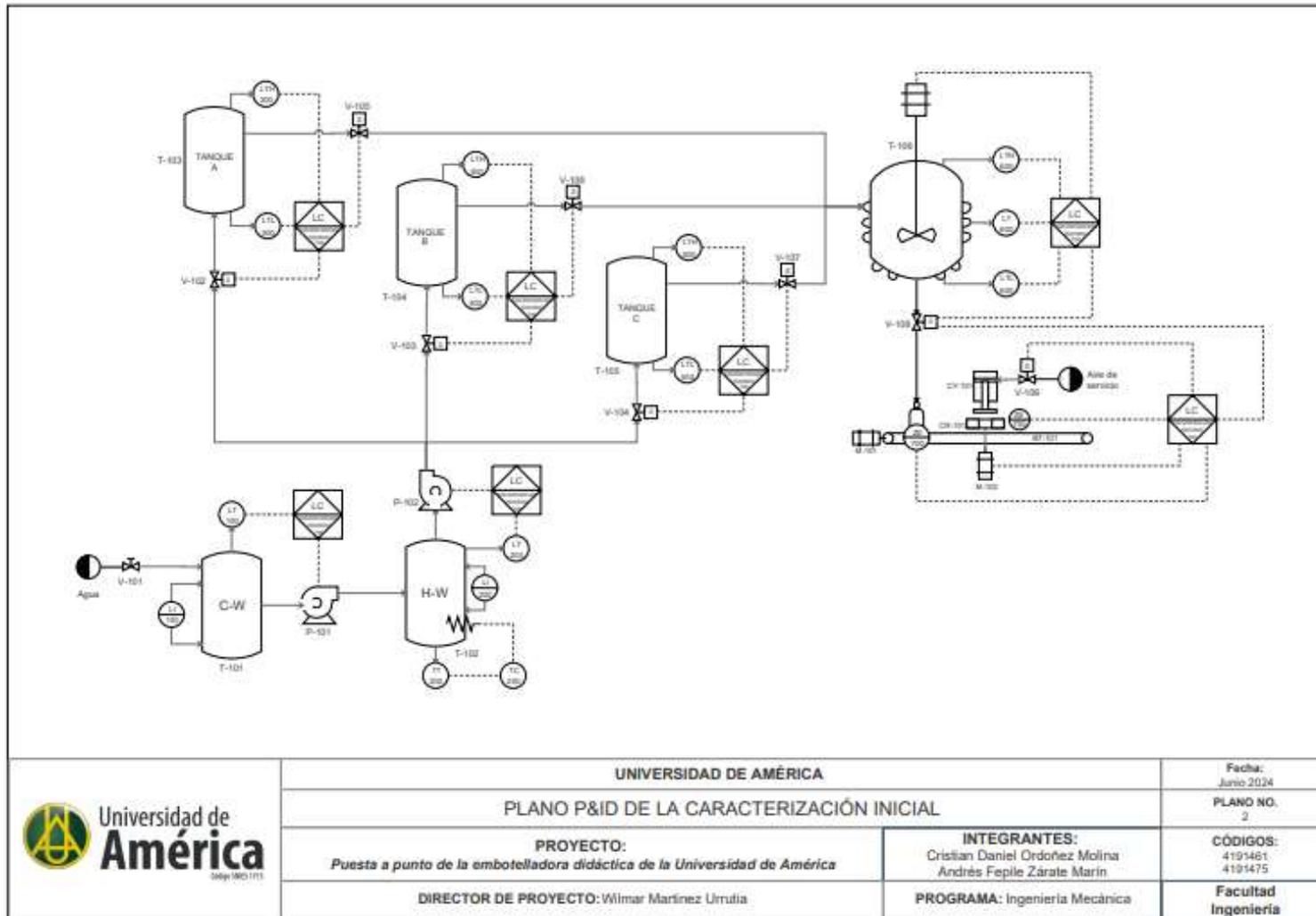
Plano electroneumático inicial



Nota. <https://drive.google.com/file/d/11ySeSNGPhdrzTaSMzfaFfgTOqUIXJYh8/view?usp=sharing>.

Figura 86.

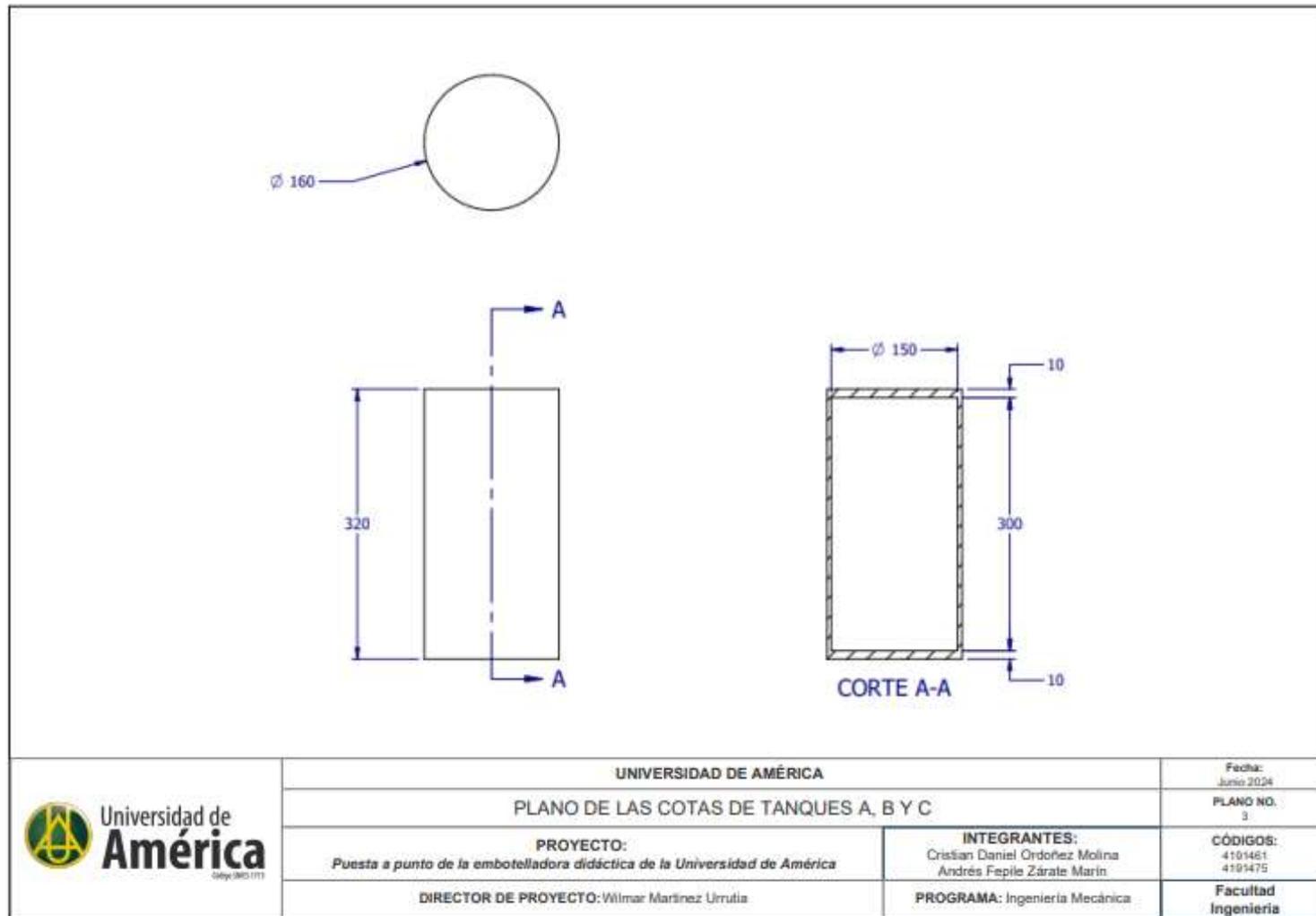
Plano P&ID inicial



Nota. <https://drive.google.com/file/d/1oMG-xPtiCgir2IREDm1dL-9YVTpctG5D/view?usp=sharing>.

Figura 87.

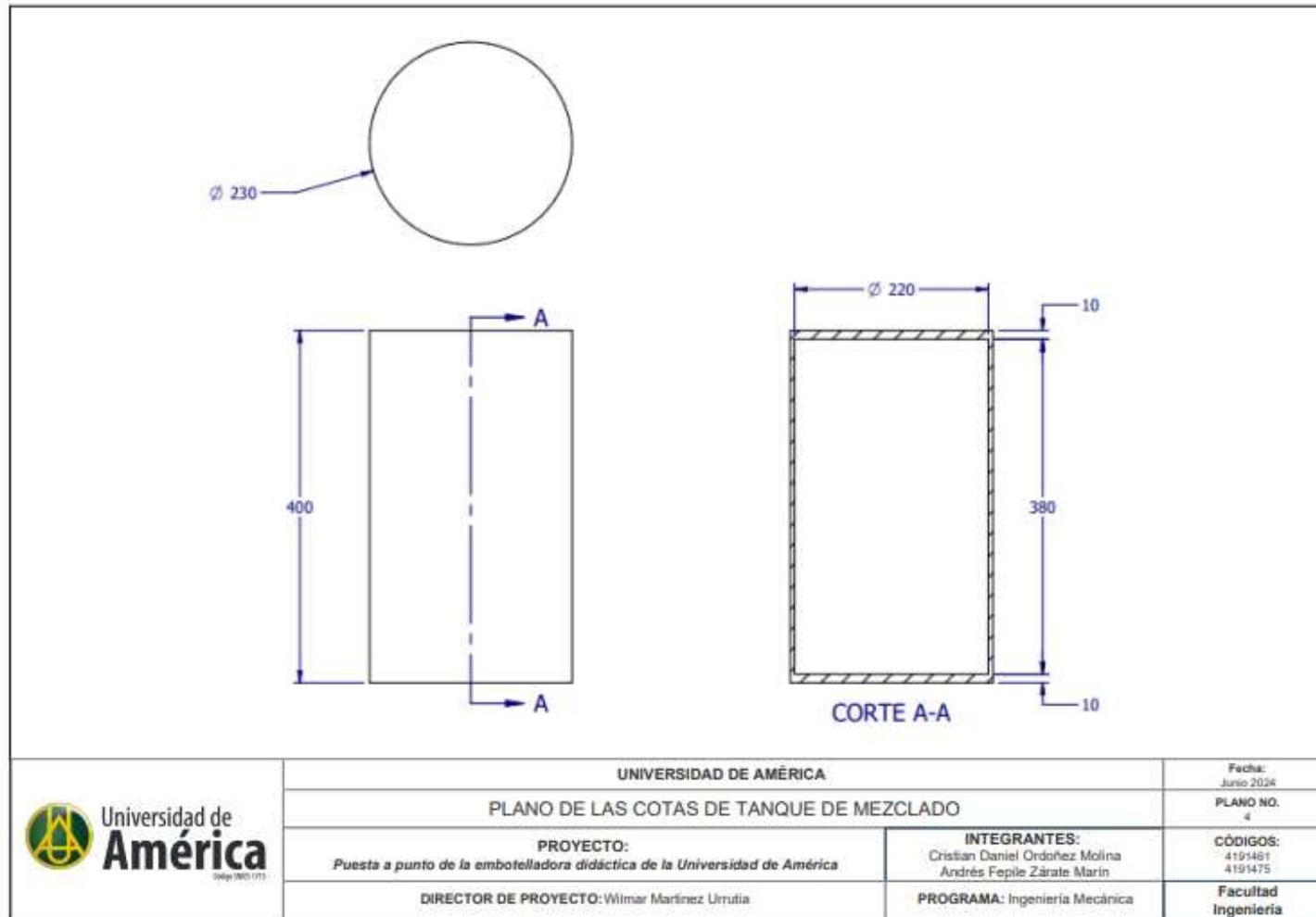
Plano cotas tanques A, B y C



Nota. https://drive.google.com/file/d/1Pw-_xmxSh2D2WlRtWUQVIVvycgJN1f_Y/view?usp=sharing.

Figura 88.

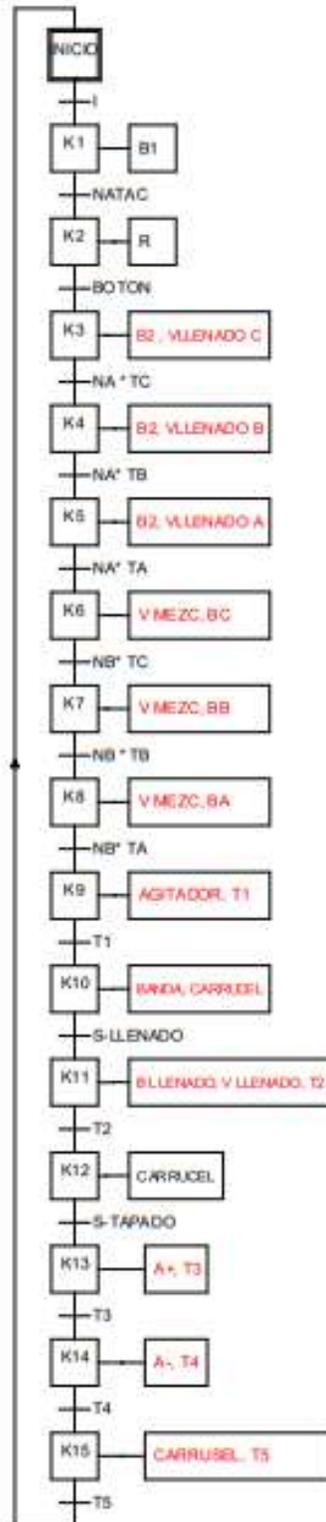
Plano cotas tanque de mezclado



Nota. https://drive.google.com/file/d/1Pw-_mxSh2D2WlrfWUQVIVvycgJN1f_Y/view?usp=sharing.

Figura 89.

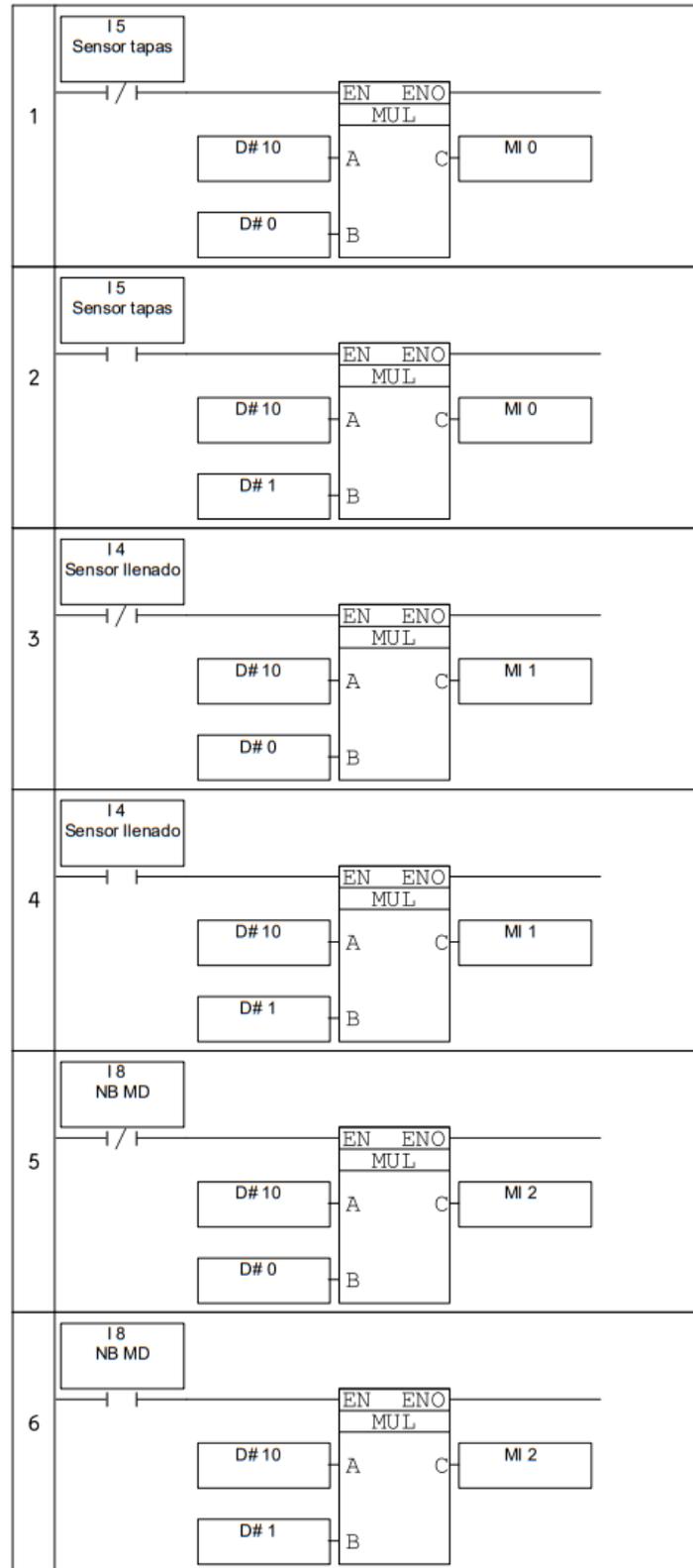
Esquema GRAFCET programación máquina embotelladora

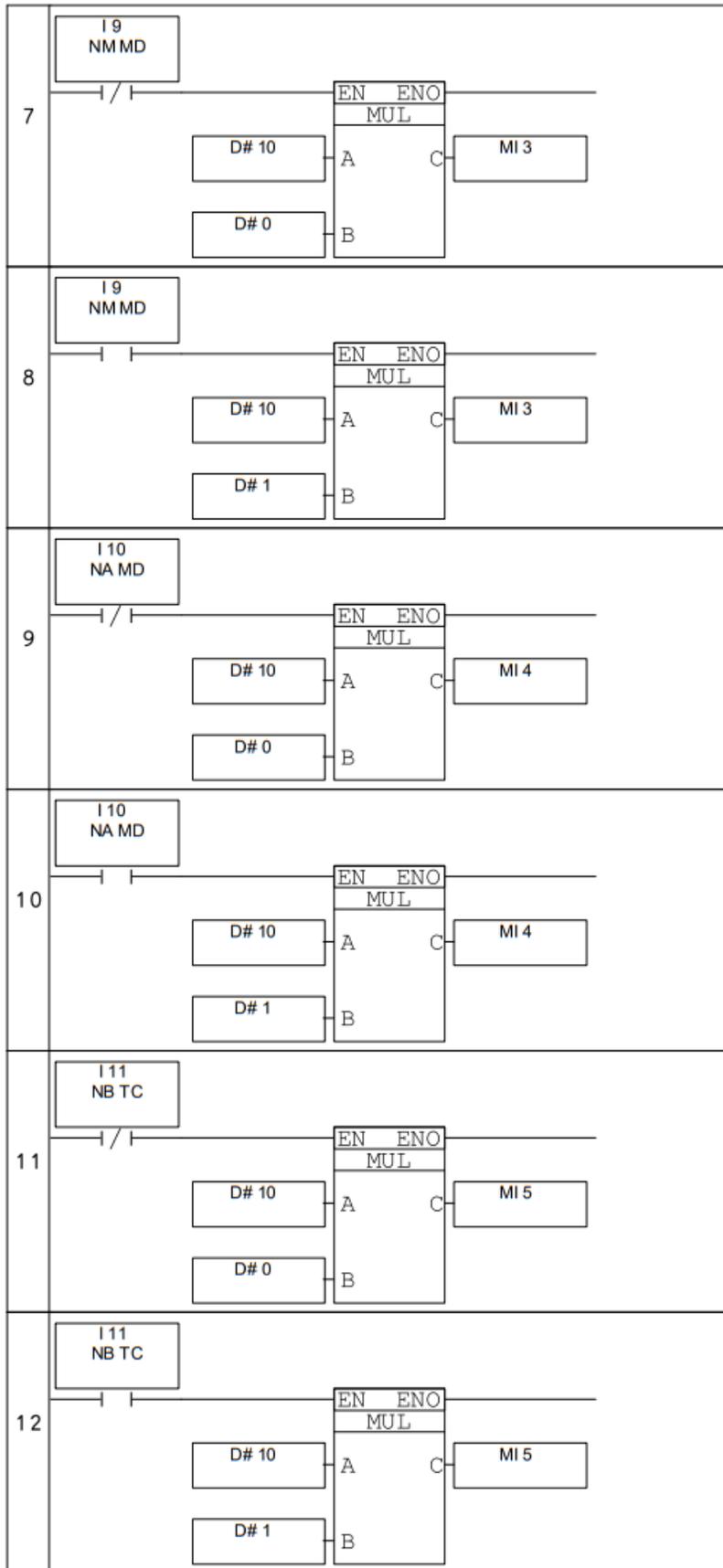


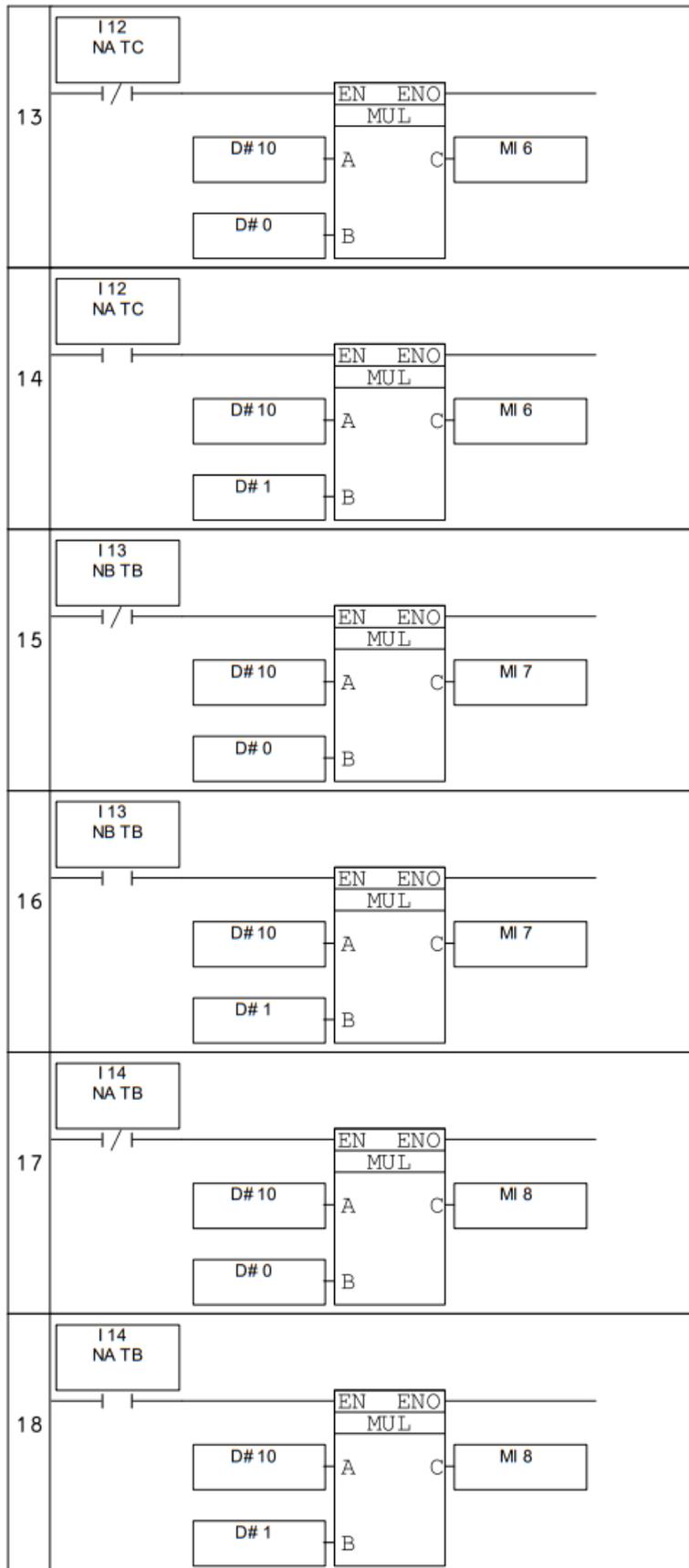
Nota. <https://drive.google.com/file/d/11AhPylt1rqdimKgoRcKqdO8snzD7f2bH/view?usp=sharing>.

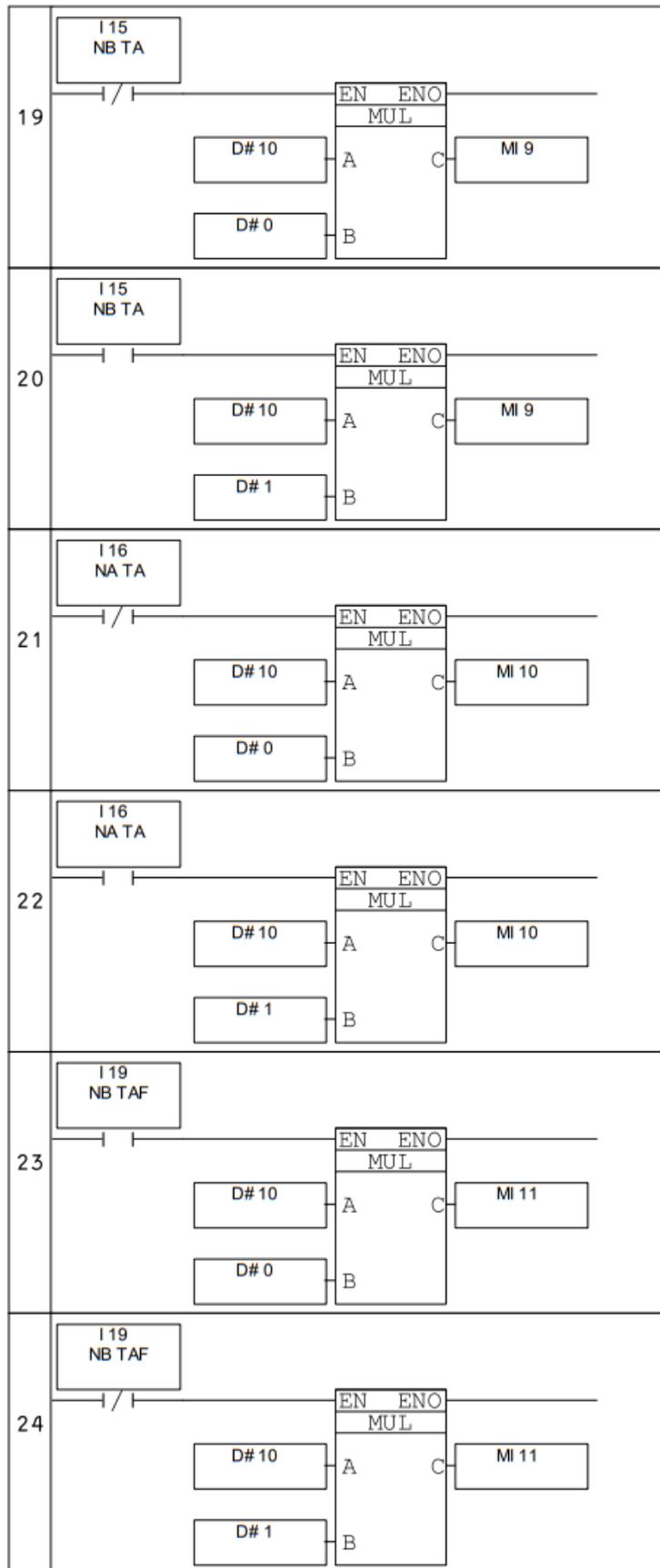
Figura 90.

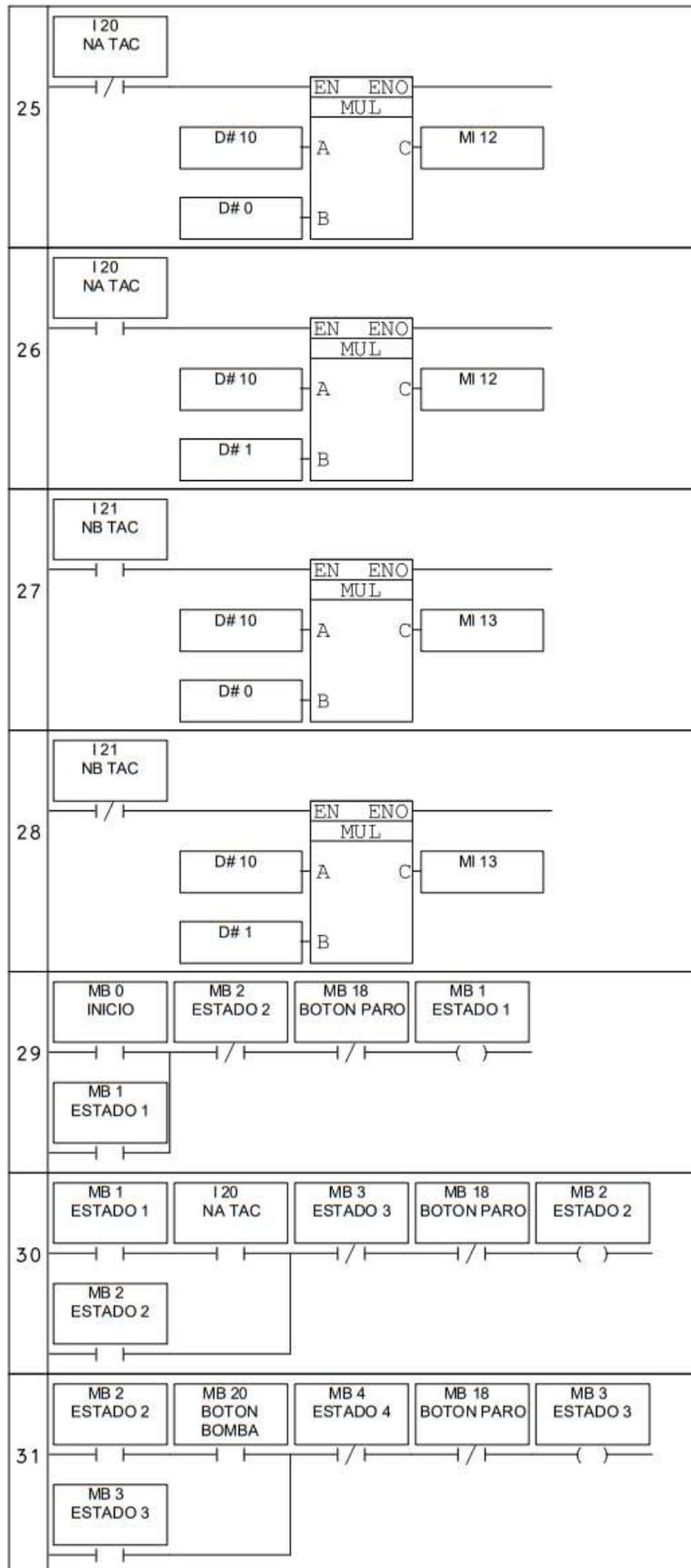
Programación Ladder en VisiLogic

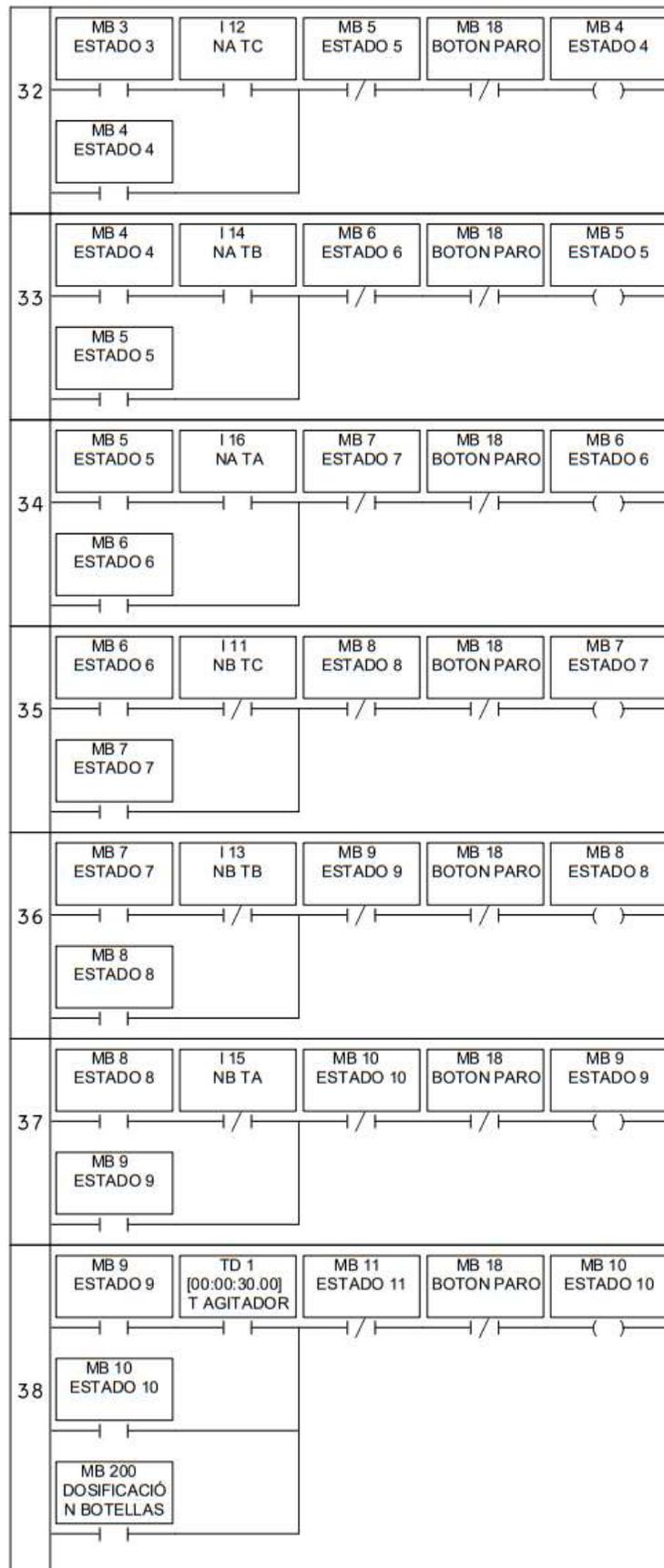


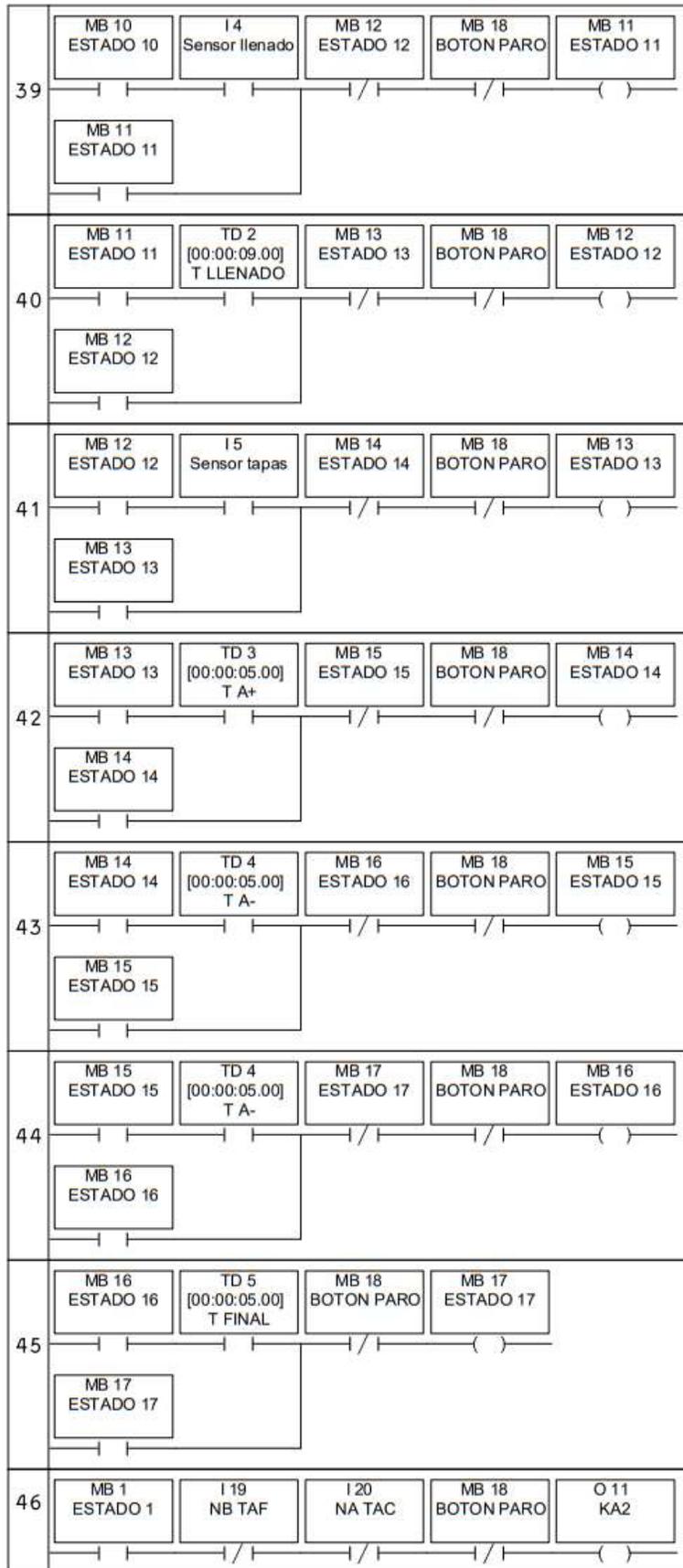


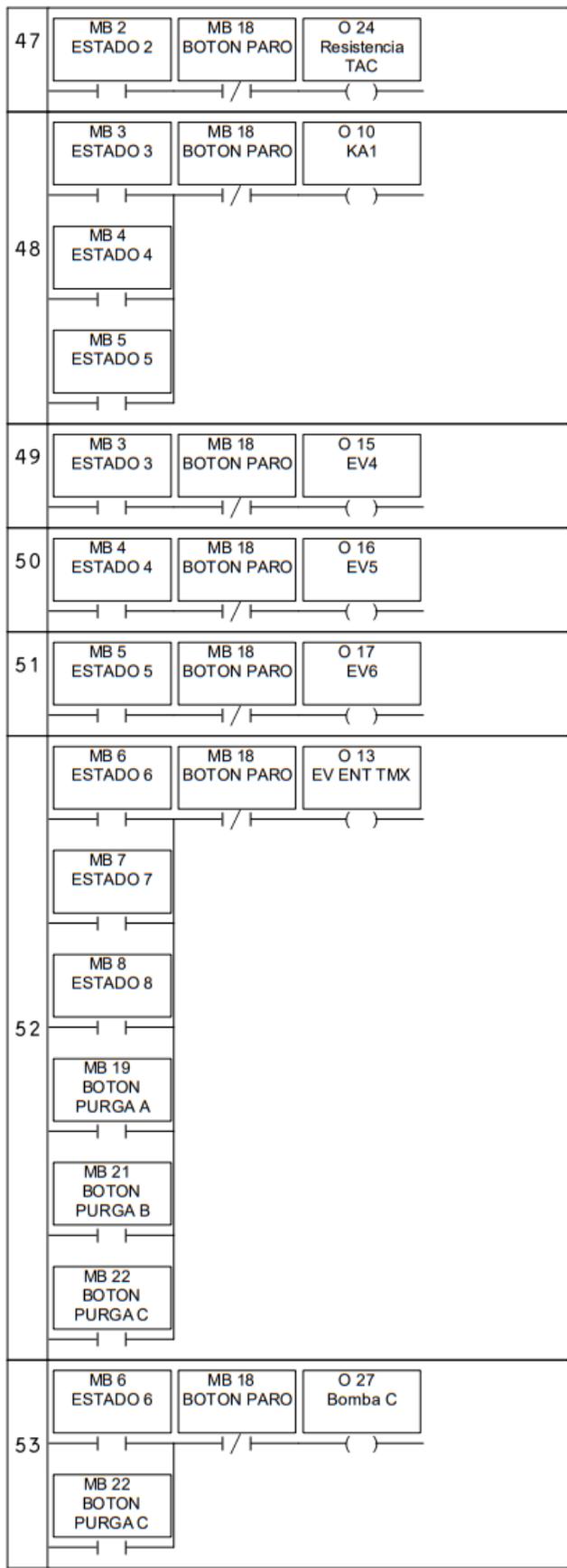


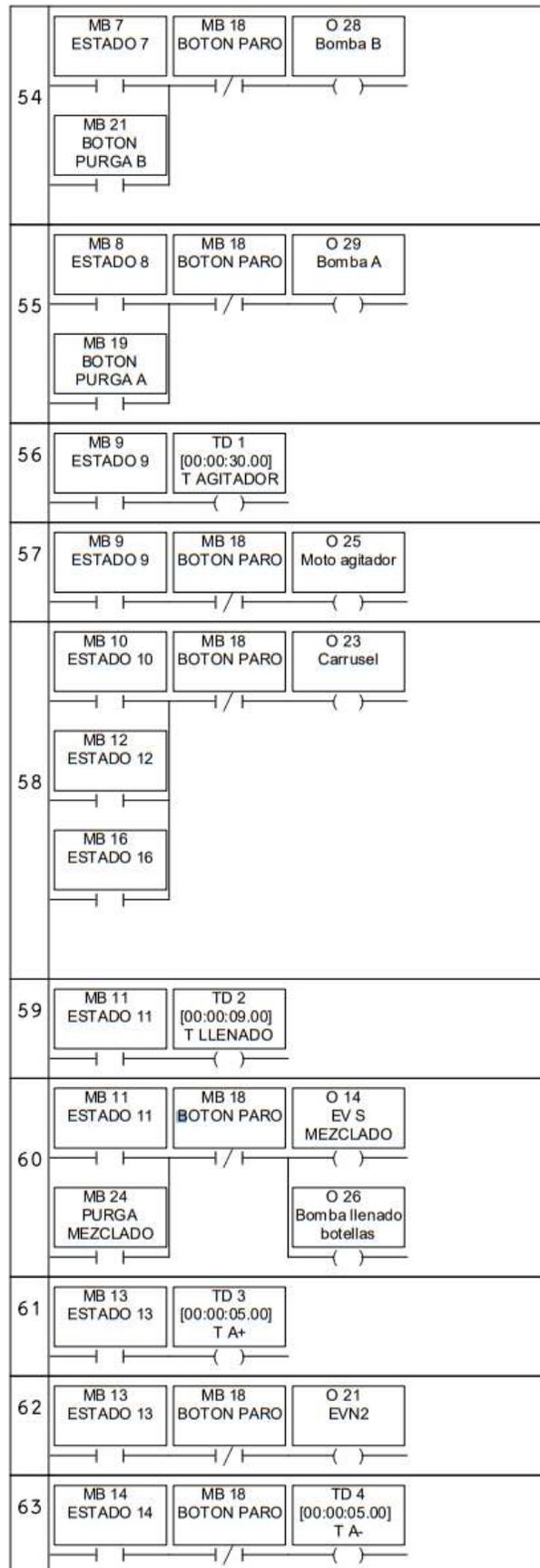


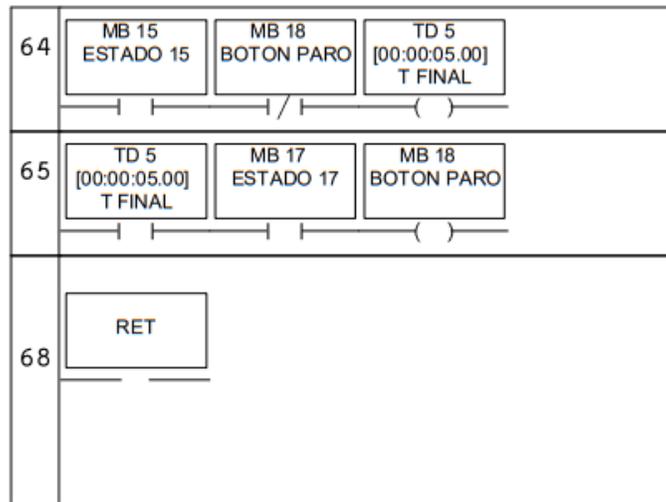








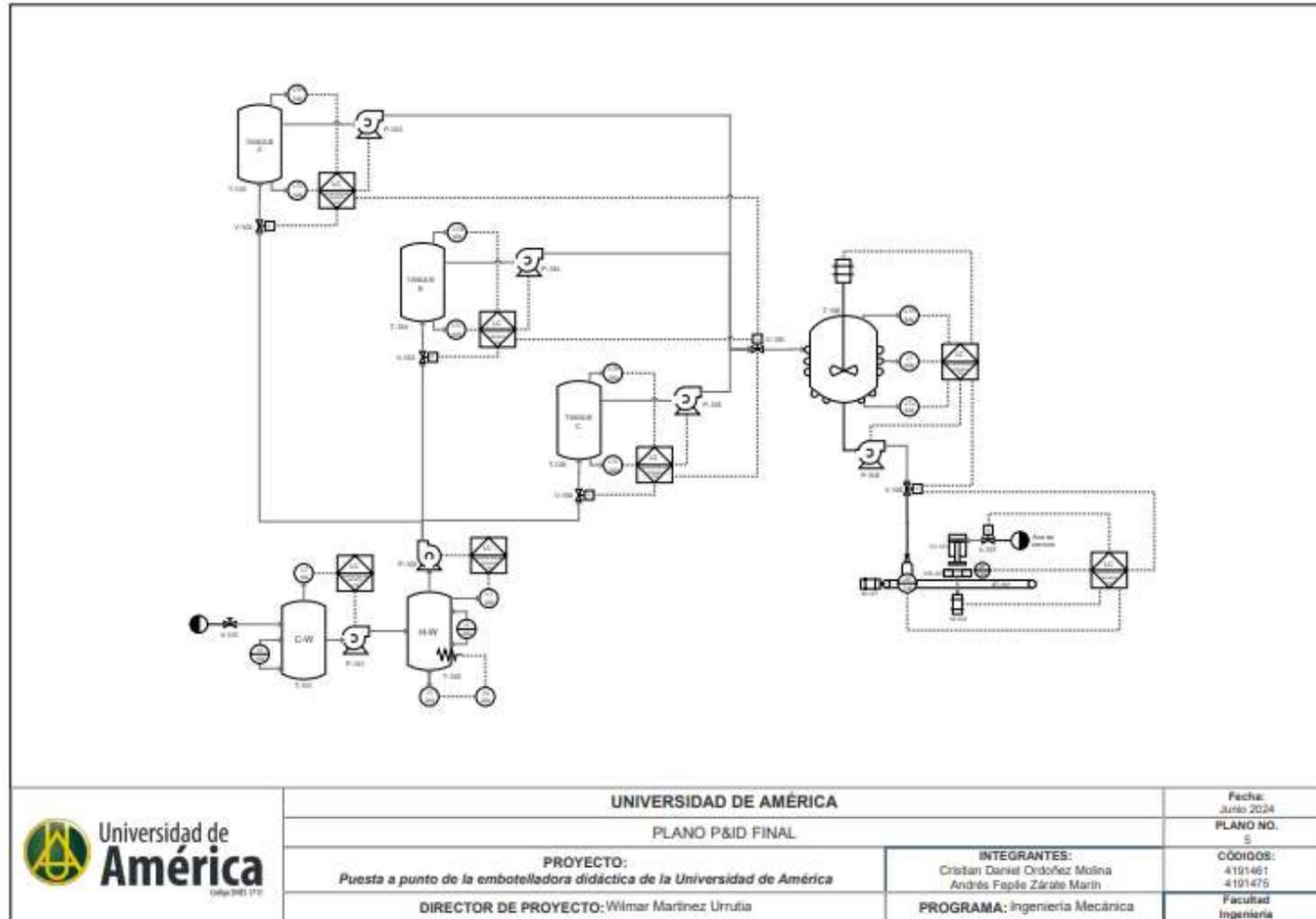




Nota. <https://drive.google.com/file/d/14Znwk50Ek-zq86PIeowbuqgCWW-ef5-DX/view?usp=sharing>.

Figura 91.

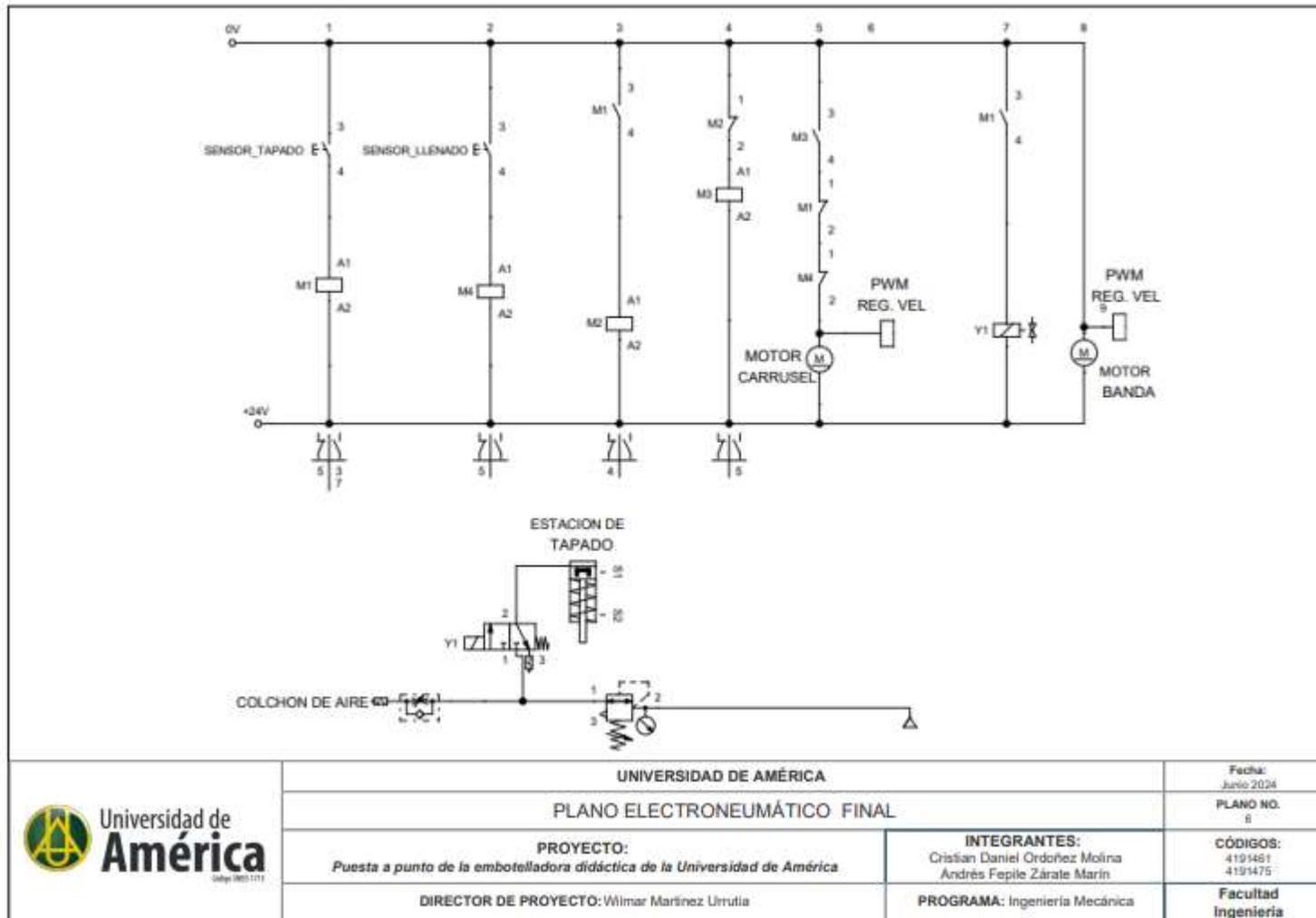
Diagrama P&ID final



Nota. <https://drive.google.com/file/d/1L92wc46h4AsGJK1KVz1MdIoBGSL6Barz/view?usp=sharing>.

Figura 92.

Plano electroneumático final

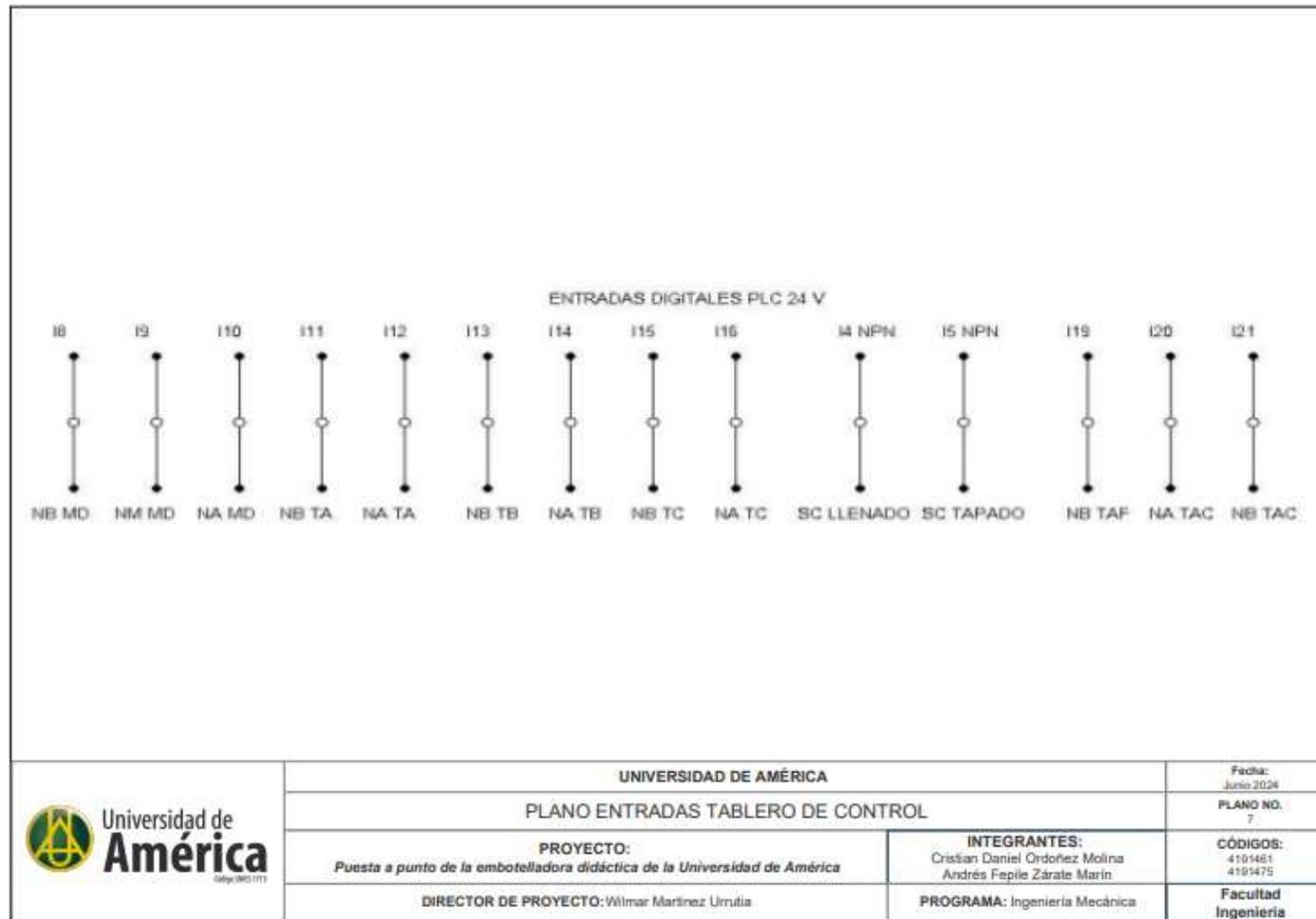


	UNIVERSIDAD DE AMÉRICA		Fecha: Junio 2024
	PLANO ELECTRONEUMÁTICO FINAL		PLANO NO. 8
	PROYECTO: <i>Puesta a punto de la embotelladora didáctica de la Universidad de América</i>		CÓDIGOS: 4191461 4191475
	DIRECTOR DE PROYECTO: Wilmar Martínez Urrutia		INTEGRANTES: Cristian Daniel Ordoñez Molina Andrés Felipe Zárate Marín PROGRAMA: Ingeniería Mecánica
			Facultad Ingeniería

Nota. <https://drive.google.com/file/d/1QQcxzyr-mhHrzMx89m8yPL6Ykvkar6jK/view?usp=sharing>.

Figura 93.

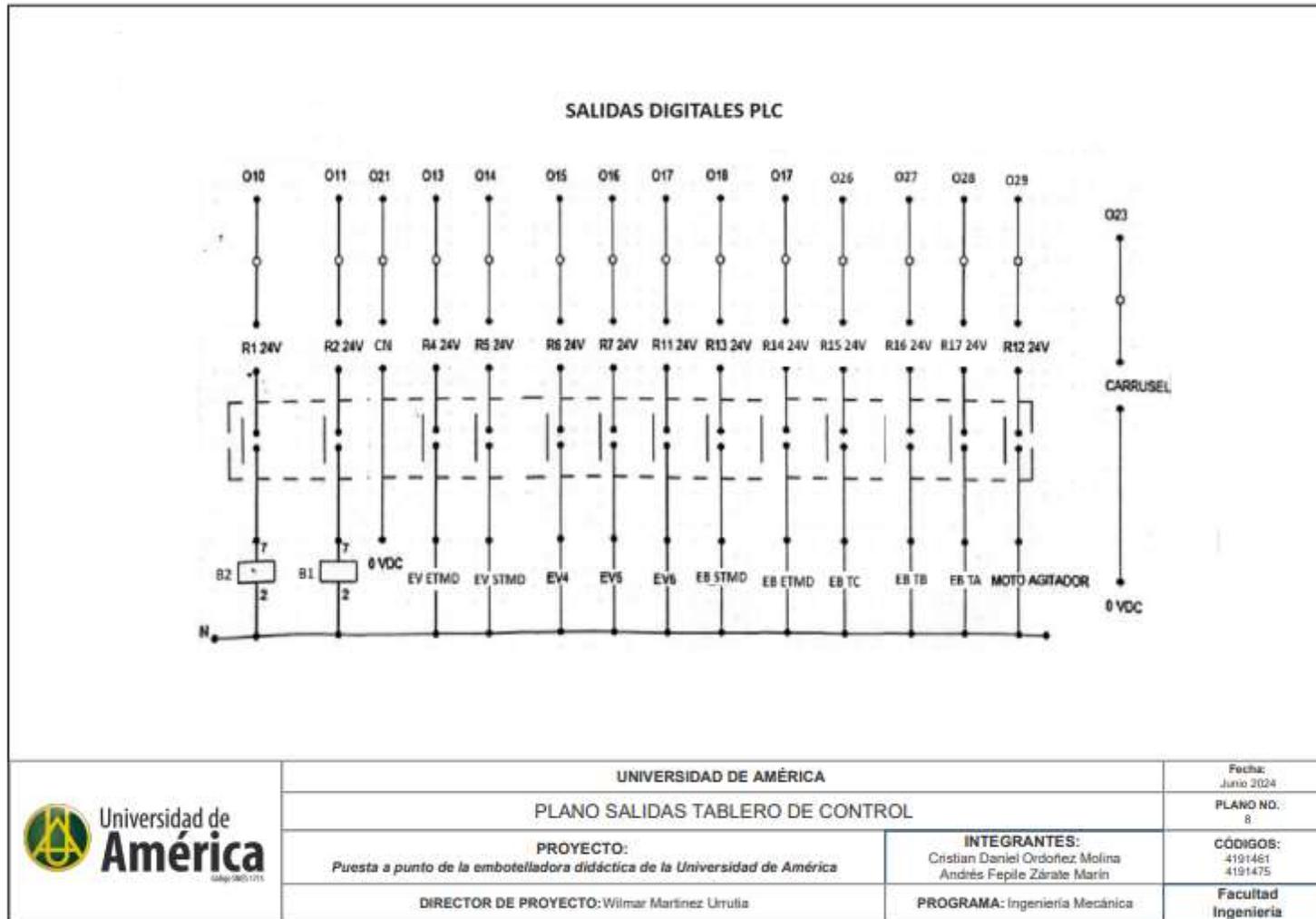
Plano entradas de tablero de control



Nota. https://drive.google.com/file/d/1mL6GrF13tYVsvV7TCJvX7c5r6PVxr3D_/view?usp=sharing.

Figura 94.

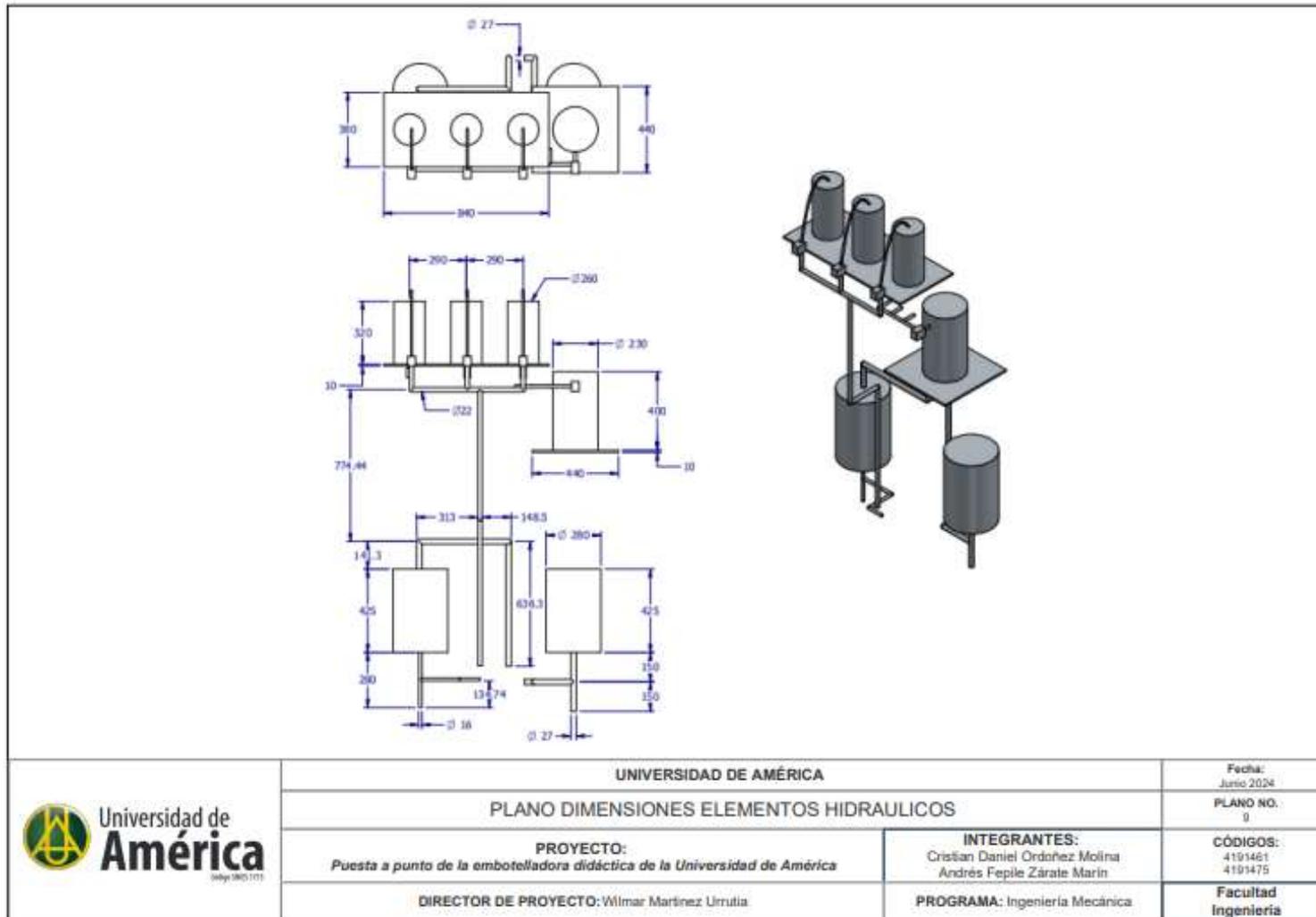
Plano salidas de tablero de control



Nota. <https://drive.google.com/file/d/1W6yMd3TDK8-1KA8nUoHbQRyVqJLoN0q0/view?usp=sharing>.

Figura 95.

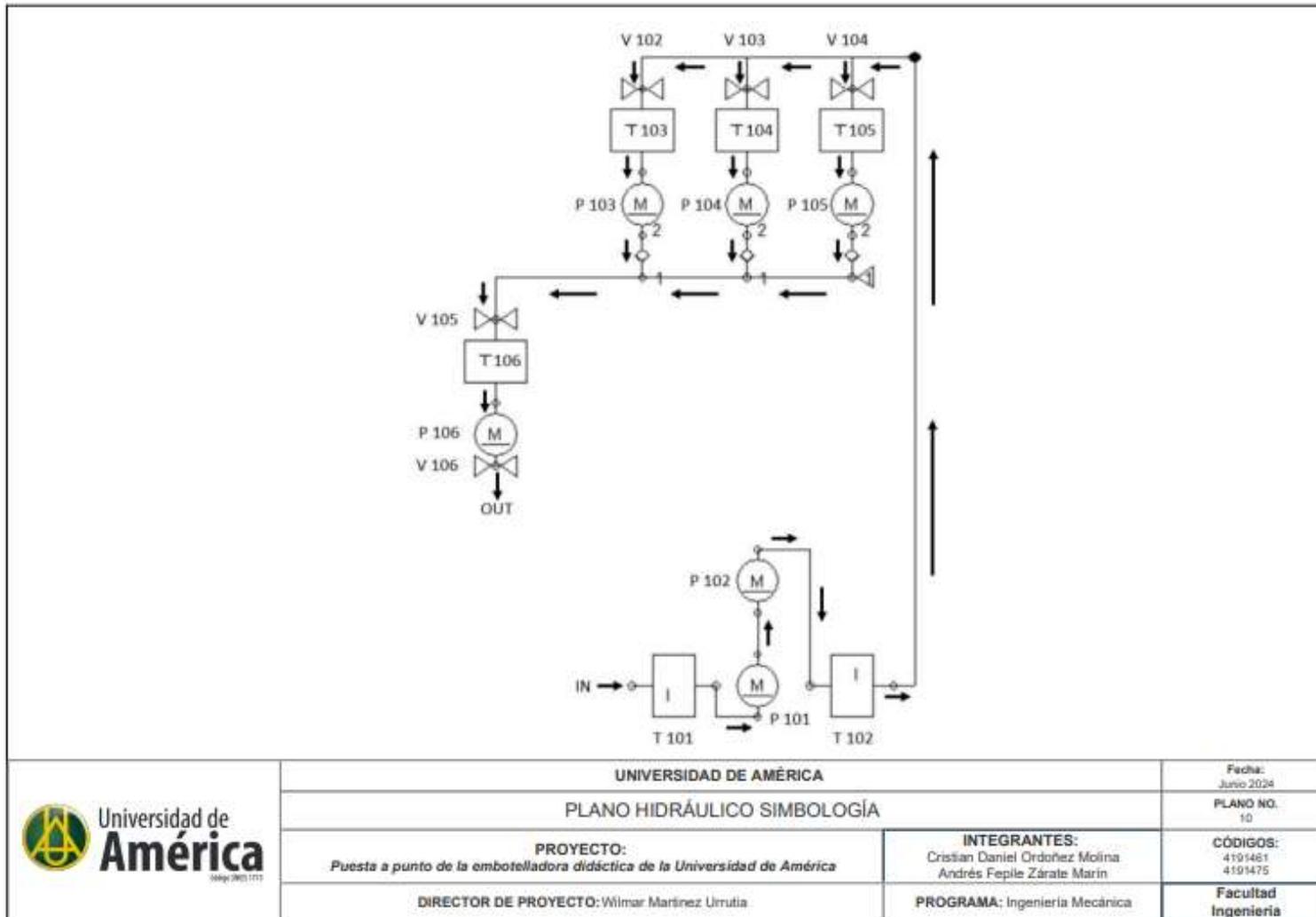
Plano dimensiones elementos hidráulicos



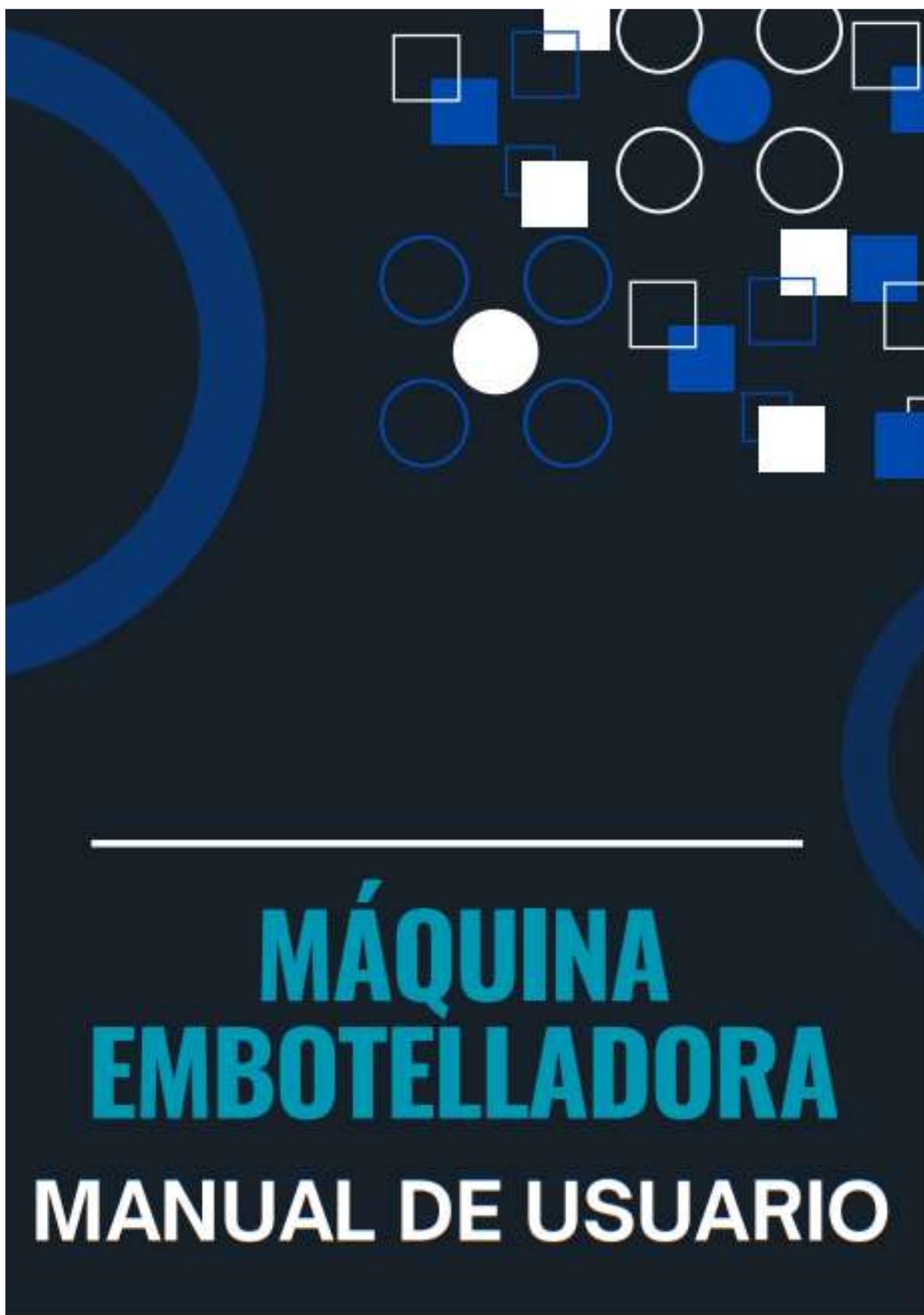
Nota. https://drive.google.com/file/d/14OgkmQeecMOEsmEj44smjeHSYdf_Lr0G/view?usp=sharing.

Figura 96.

Plano hidráulico simbología



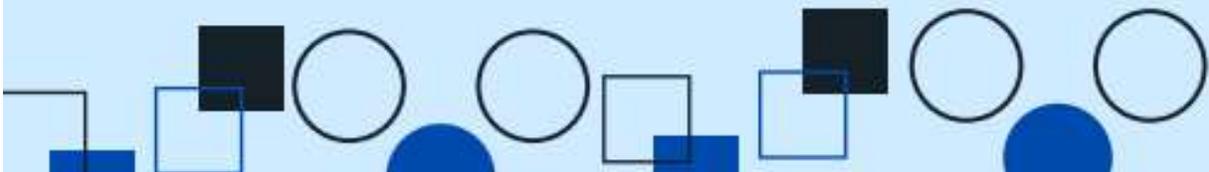
Nota. https://drive.google.com/file/d/1HcAKktbGD6gb_LUGu6KOBtc0ycOG3jRq/view?usp=sharing.



PRESENTACIÓN DEL EQUIPO

El presente manual corresponde a una máquina embotelladora didáctica diseñada con fines académicos, la cual permite a los estudiantes de la Universidad de América tener un acercamiento y una apreciación cercana a la realidad de los procesos industriales como la dosificación de botellas a partir de un sistema automatizado.

El equipo es un banco que simula el proceso de envasado en botellas tipo PET, a partir de la incorporación de sistemas comunes como el hidráulico y el neumático; además de reproducir procesos frecuentes a nivel industrial como el calentamiento, mezclado y automatizado.



INFORMACIÓN IMPORTANTE

Este manual de uso y mantenimiento tiene el objetivo de informar al USUARIO sobre todas las modalidades operativas de la máquina; por esta razón, debe ser leído en su totalidad y analizado por cualquier persona que vaya a operar el sistema.

No se requiere ningún conocimiento previo para operar el equipo, sin embargo, es necesario seguir todas las instrucciones del presente manual.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Máquina embotelladora			
Descripción	Variable	Valor	Unidades
Dimensiones equipo	Altura	2,17	m
	Ancho	1,20	m
	Profundidad	0,70	m
Dimensiones tanque agua fría (T-101) y agua caliente (T-102)	Diámetro	0,30	m
	Altura	0,42	m
Dimensiones tanques A, B y C (T-103/4/5)	Diámetro	0,15	m
	Altura	0,29	m
Dimensiones tanque de mezclado	Diámetro	0,22	m
	Altura	0,36	m
Instalación eléctrica	Corriente (trifásica)	120	V
	Frecuencia	60	Hz
Condiciones de trabajo	Presión máx. teórica	343,35	kPa
	Temperatura máx.	90	°C
Envase para dosificado	Altura	10	cm
	Volumen	120	ml
Sistema neumático	Diámetro int. Tubería	4	mm
	Diámetro ext. Tubería	6	mm
	Presión	551,58	kPa

INSTALACIÓN

Emplazamiento

Ubicación y espacio

Debe ser instalada en un área limpia y seca, lejos de fuentes de polvo y humedad. Asegúrese de que el suelo este nivelado y soporte el peso del equipo. Además, deje un espacio mínimo de 80cm alrededor de la máquina para facilitar el acceso y mantenimiento.

Condiciones ambientales

Evite la exposición directa a la luz solar intensa y a fuentes de calor.

Conexión Eléctrica

Requisitos de energía

Verifique que la fuente de alimentación eléctrica cumpla con los requisitos especificados en la placa de características de la máquina.

Instalación eléctrica

Utilice cables y conectores aprobados que sean adecuados para la potencia requerida. También asegúrese de que la máquina esté conectada a tierra adecuadamente para evitar descargas eléctricas.

Protección

Instale interruptores automáticos y dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

Conexión Neumática

Requisitos de Aire Comprimido

Verifique que el sistema de aire comprimido tenga la capacidad suficiente para suministrar el caudal necesario para el funcionamiento de la máquina.

Instalación de Tuberías

Utilice tuberías de aire y conexiones que cumplan con las especificaciones del fabricante; además, asegúrese de que las tuberías estén bien sujetas y libres de fugas.



PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

# Paso	Descripción
1	Abrir la válvula manual para permitir el ingreso de agua fría al tanque.
2	Llenar el tanque de agua fría hasta que alcance el nivel óptimo (visible en la mirilla de nivel máximo y mínima en la pantalla).
3	Cerrar la válvula manual de ingreso al tanque de agua fría cuando el nivel de agua fría esté dentro de los límites aceptables.
4	Activar la bomba 1 desde el OPLC para transferir el fluido del tanque de agua fría al tanque de agua caliente
5	Detener la bomba 1 cuando el tanque de agua caliente alcance el nivel deseado (indicado por la mirilla de nivel máximo y mínima en la pantalla).
6	Ajustar el termostato a la temperatura requerida.
7	Verificar que la temperatura alcanzada sea la deseada
8	Activar la bomba 2 una vez que la temperatura haya sido verificada.
9	Activar las electroválvulas para llenar simultáneamente los tanques A, B y/o C.
10	Cerrar las electroválvulas de llenado de los tanques A, B y/o C al mismo tiempo que se desactiva la bomba 2.
11	Activar las bombas de dosificación hacia el tanque mezclador.
12	Encender el motor del mezclador para homogeneizar el contenido del tanque mezclador cuando alcanza el nivel mínimo del tanque de mezclado
13	Detener las bombas una vez que el tanque mezclador esté completamente lleno.
14	Activar el motor de la banda transportadora para el transporte de botellas.
15	Iniciar el carrete para la selección de botellas.
16	Abrir la electroválvula de dosificación para llenar las botellas.
17	Al obtener el volumen deseado, el carrusel transporta las botellas al mecanismo que coloca las tapas sin ejercer presión
18	Activar el cilindro neumático que realiza presión para sellar las botellas.
19	Se transportan las botellas por la banda transportadora y llegan al área de almacenamiento
20	Utilizar un colchón de aire para facilitar el transporte y movimiento de las botellas en el área de almacenamiento.

ESQUEMA DEL EQUIPO



#	Código	Equipo	Descripción técnica
1	V-101	Válvula manual	-
2	T-101	Tanque agua fría	Volumen: 29,69L
3	T-102	Tanque agua caliente	
4	P-101	Bombas de transporte de fluidos	Presión: 343,35kPa Voltaje: 110V Potencia: ½ hp Altura máx.: 35m
5	P-102		
6	V-102	Electroválvulas de control	Voltaje: 120V
7	V-103		
8	V-104		
9	T-103	Tanque A	Volumen: 5,12L
10	T-104	Tanque B	
11	T-105	Tanque C	
12	P-103	Bombas dosificación al tanque de mezclado	Voltaje: 12V DC Caudal máx.: 240L/h Altura máx.: 3m
13	P-104		
14	P-105		
15	V-105	Electroválvula control	Voltaje: 120V
16	T-106	Tanque de mezclado	Volumen: 13,68L
17	P-106	Bomba dosificación de botellas	Voltaje: 12V DC Caudal máx.: 240L/h Altura máx.: 3m
18	V-106	Electroválvula control	Voltaje: 120V
19	M-101	Motor banda transportadora	Voltaje: 24V Potencia: 5W
20	M-102	Motor carrusel	Velocidad: 80 rpm
21	BT-101	Banda transportadora	Longitud: 80 cm Ancho: 7 cm
22	CR-101	Carrusel	Voltaje: 24V Velocidad: 13 rpm
23	V-107	Válvula de control de entrada de aire	Voltaje: 120 V
24	CY-101	Cilindro neumático	Carrera: 2cm

ESQUEMA DEL CONTROL DE MANDO



#	Código	Función	#	Código	Función
1	I14	Sensor de llenado	12	I19	Nivel bajo tanque a. caliente
2	I15	Sensor de tapado	13	I20	Nivel alto tanque a. caliente
3	I18	Nivel bajo tanque mezclado	14	I21	Nivel bajo tanque a. fria
4	I19	Nivel medio tanque mezclado	15	START	Inicio del proceso
5	I10	Nivel alto tanque mezclado	16	-	Dosificación automática 1 botella
6	I11	Nivel bajo tanque C	17	-	Dosificación siguiente botella
7	I12	Nivel alto tanque C	18	STOP	Detener el proceso
8	I13	Nivel bajo tanque B	19	PURGA A	Retirar el liquido del tanque A
9	I14	Nivel alto tanque B	20	PURGA B	Retirar el liquido del tanque B
10	I15	Nivel bajo tanque A	21	PURGA C	Retirar el liquido del tanque C
11	I16	Nivel alto tanque A	22	PURGA MEZCLA	Retirar el liquido del tanque de mezclado

CONTROL DE MANDO

ZONA DE BOTONES

Esta zona me permite interactuar con algunas zonas de la máquina las cuales cumplen acciones, estas se dividen en dos partes, una es un sistema automático de llenado de botellas y otra actúa de manera independiente realizando acciones concretas

1. Automática

Pulsa el botón "START": Esto desplaza el fluido del tanque de agua fría, Siempre y cuando no se desactive el sensor de nivel bajo debido a la protección de trabajo en vacío de la bomba al tanque de agua caliente.

Posteriormente pulsa el botón "DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA 1 BOTELLA": este realiza de manera automática el proceso de dosificación de una botella.

2. Acciones Concretas

En caso de requerir dosificar más de una botella por cada una deberás pulsar el botón **"DOSIFICACION SIGUIENTE BOTELLA"** esto realizará el proceso desde el carrusel pasando por el llenado y el tapado finalizando en el área de almacenamiento para cada botella

En caso de realizar una **PURGA** a cualquier tanque se debe mantener presionado el botón de purga establecido para cada bomba

Para Detener el funcionamiento de la máquina en caso de requerir, no importa la parte del proceso en la que se encuentre, se debe pulsar el botón de **"STOP"**

DESCRIPCIÓN **SECTORES** DEL EQUIPO



ZONA 1 - BOMBEO

Abarca el ingreso de fluido, los tanques de agua fría y caliente, las bombas encargadas de impulsar el fluido entre dichos tanques y hacia los tanques A, B y C, y finalmente, el termostato. Esta etapa inicial es crucial para el control y la preparación adecuada del fluido antes de su posterior procesamiento.



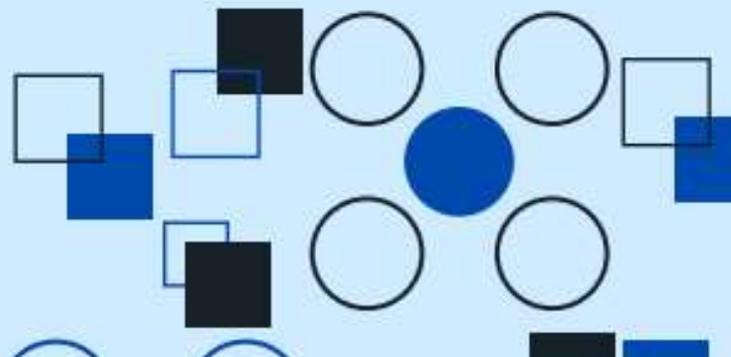
ZONA 2 - TANQUES

Comprende los tanques A, B y C, así como sus electroválvulas de entrada y las electroválvulas de salida hacia el tanque mezclador. En esta fase intermedia, se lleva a cabo la dosificación precisa de los componentes que conforman el producto final (elementos a ser mezclados), buscando una buena mezcla en el siguiente proceso.



ZONA 3 - DOSIFICACIÓN Y ALISTAMIENTO

Se centra en el tanque mezclador, su eje de agitación, la electroválvula encargada del dosificador de botellas, la zona de tapado, la zona de llenado, el carusel y la banda transportadora. Aquí se completa el proceso de embotellado, donde el producto es dispensado en las botellas, se les aplica el tapado correspondiente y se realiza el transporte final para su posterior distribución.



ZONA 1 BOMBEO

Código	Imagen	Función
V-101		Permite el ingreso del fluido al interior del tanque de agua fría, debe desactivarse manualmente cuando la mirilla de nivel del tanque de agua fría indique su nivel máximo.
T-101		Almacena el agua fría que entra en el sistema. Consta de una mirilla para medir su nivel y un sensor de nivel bajo para proteger la bomba 1 de trabajo en vacío.
T-102		Almacena el agua mientras se lleva a cabo el proceso de calentamiento. Consta de una mirilla para verificar nivel, un sensor de nivel bajo para proteger la bomba 2, un sensor de nivel alto para evitar desbortamientos y un embudo para la incorporación de solutos para el producto final.
-		Permite regular la temperatura a la cual se desea mantener el fluido en el tanque de agua caliente. Este dispositivo consta de un sistema para detectar la temperatura interna y de una resistencia.
P-101		Encargada de suministrar fluido al tanque de agua caliente desde el tanque de agua fría.
P-102		Se encarga de elevar el fluido desde el tanque de agua caliente hasta los tanques A, B y C, operando en simultáneo con electroválvulas.

ZONA 2 TANQUES

Código	Imagen	Función
V-102 V-103 V-104		Regulan el flujo del fluido al interior de los tanques A, B y C, operando en respuesta a señales enviadas desde el OPLC.
T-103 T-104 T-105		Permiten la dosificación del líquido en diferentes soluciones antes del proceso de mezclado. Cada tanque está diseñado para recibir y almacenar cantidades precisas de líquido, facilitando la correcta proporción de líquidos.
P-103 P-104 P-105		Impulsan los fluidos de los tanques A, B y C al tanque de mezclado mediante la activación controlada por el OPLC.
V-105		Regula el flujo de entrada al tanque de mezclado, operando en respuesta a los flujos de las bombas por señales del OPLC.

ZONA 3 DOSIFICACIÓN Y ALISTAMIENTO

Código	Imagen	Función
T-106		Recibe el fluido de otros tres tanques, permitiendo la mezcla homogénea de sus contenidos a través de un eje mezclador
P-106		Se encarga de impulsar el líquido para el proceso de dosificación de las botellas.
M-101 BT-101		Esta banda transportadora es la encargada de transportar las botellas hasta el carrusel y la zona de almacenamiento
M-102 CR-101		Permite el posicionamiento de las botellas en los puntos de llenado, recolección de tapas y tapado, por medio de un motor el cual es posible regular su velocidad.
V-107 CY-101		Este cilindro neumático es el encargado de realizar el tapado a presión de las botellas, a partir de un flujo de aire controlado por una válvula.
Colchón de aire		Permite una superficie con menos rozamiento por lo cual las botellas se desplazan con mayor suavidad y evita la caída en la salida del producto

MANTEMINIENTO DEL EQUIPO

El mantenimiento adecuado de una máquina embotelladora es crucial para garantizar su funcionamiento eficiente y prolongar su vida útil. A continuación, te presento una serie de recomendaciones generales para llevar a cabo el mantenimiento de una máquina embotelladora:

1. Mantenimiento Preventivo

Planificación Regular: Establecer un calendario de mantenimiento regular basado en las recomendaciones del fabricante y realizar inspecciones diarias, semanales, mensuales y anuales.

Limpieza: Limpiar todas las superficies de la máquina con productos adecuados para evitar la acumulación de polvo y residuos.

Lubricación: Lubricar las partes móviles con productos recomendados según especificaciones del fabricante.

Revisión de componentes: Inspeccionar regularmente las partes móviles del equipo.

2. Mantenimiento Correctivo

Diagnóstico de fallas: Capacitar al personal para identificar por medio de herramientas signos de desgaste o mal funcionamiento, ya sean eléctricos y/o mecánicos.

Reemplazo de piezas: Tener inventario de repuestos comunes para reemplazos rápidos siguiendo instrucciones del fabricante.

Reparaciones: Realizar reparaciones inmediatamente al detectar un problema para evitar daños mayores y llevar documentado el historial de estas.

3. Mantenimiento Predictivo

Monitoreo continuo: Implementar sensores y sistemas de monitoreo para vigilar el rendimiento de la máquina en tiempo real, prediciendo fallas a partir de los datos obtenidos.

Revisión de temperatura de operación: Monitorear la temperatura de los componentes críticos para evitar sobrecalentamientos.

4. Inspecciones y Verificaciones

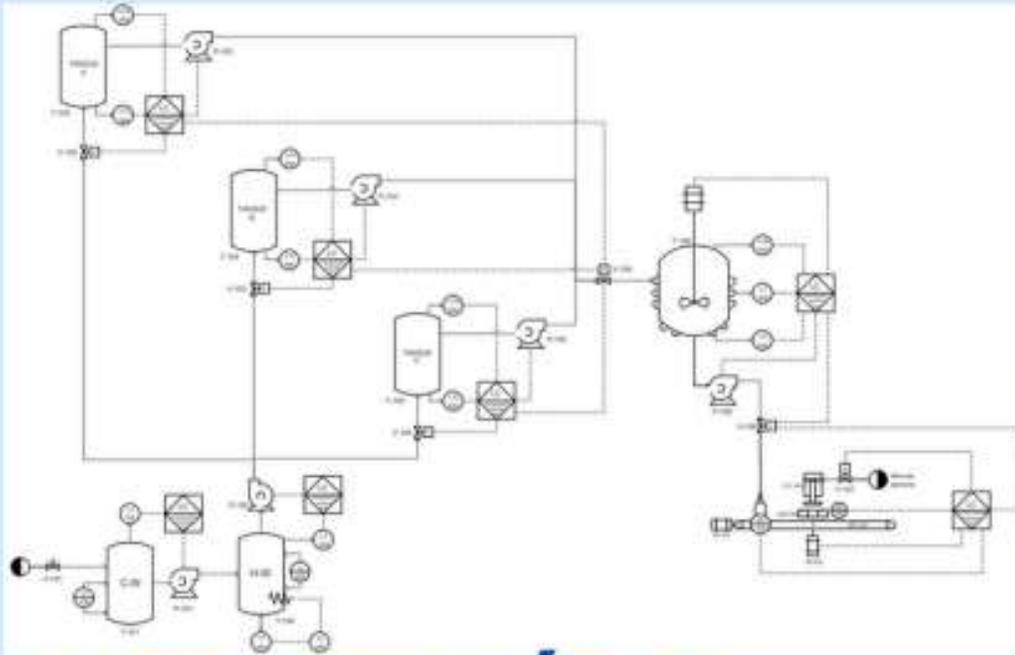
Pruebas de funcionamiento: Realizar pruebas de funcionamiento después de cada mantenimiento para asegurar una operación correcta, además de verificar los parámetros y ajustes si es necesario.

Inspecciones externas: Considerar la posibilidad de contratar servicios de inspección externos para una evaluación imparcial y detallada.

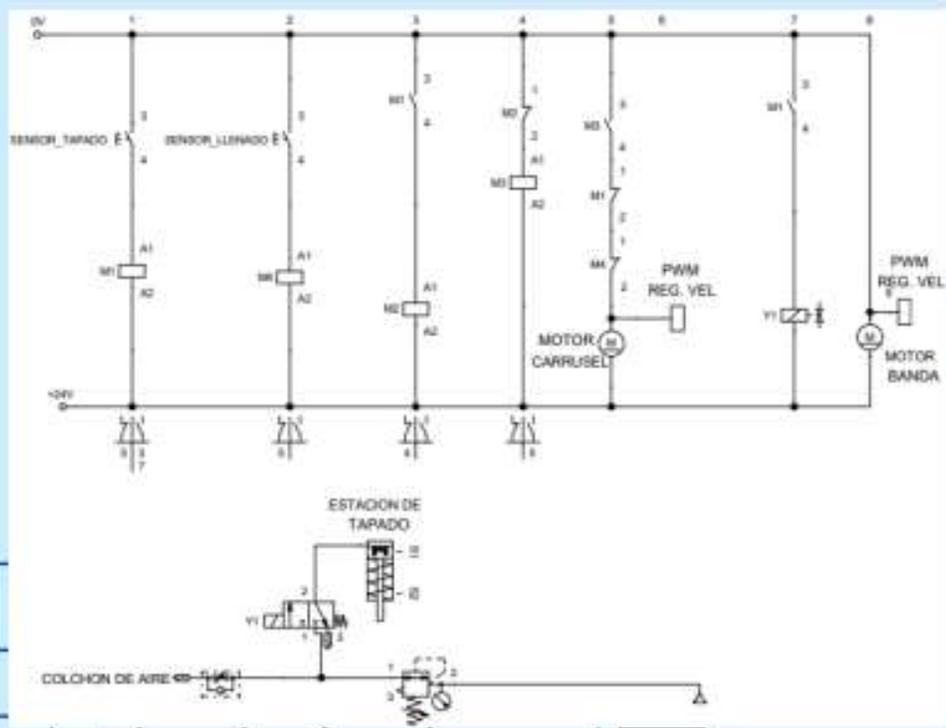
PERIODICIDAD DE MANTENIMIENTOS

Sistema	Componente	Periodicidad	Operación
Hidráulico	<i>Tanques de acrílico (A, B y C)</i>	Semestral	Drenar para poder destapar los tanques para realizar un lavado de los sedimentos que se incorporen en el fondo y realizar un cambio de agua.
	<i>Tanque de acero (Agua Fría)</i>	Semestral	Drenar el agua para poder quitar las bridas y destapar el tanque, esto con el fin de lavar los sedimentos en el fondo. Revisar el estado del sensor de nivel.
	<i>Tanque de acero (Agua Caliente)</i>	Semestral	Drenar el agua para quitar las bridas y destapar el tanque para limpiar los sedimentos y revisar el estado de los sensores de nivel.
	<i>Bombas</i>	Cuatrimestral	Realizar limpieza interna para eliminar los residuos de óxido.
		Semestral	Revisar el buen estado de las bombas midiendo la presión de succión y descarga; en caso de ser necesario repararla.
		Anual	Verificar el consumo de energía, en caso de ser excesivo, se requiere revisión de rodamientos, accesorios o alineación.
	<i>Tuberías y accesorios</i>	Anual	Reparar las fugas en caso de que existan, revisar el buen estado de los empaques y racores
	<i>Electroválvulas</i>	Anual	Reparar fugas entre la electroválvula y tubería en caso de que existan.
		Semestral	Verificar si hay existencia de señales electrónicas que no estén actuando de forma correcta.
	<i>Sensores de posición</i>	Semestral	Verificar su buen estado y que estén enviando señales de forma correcta al OPLC.
Eléctrico y de control	<i>OPLC</i>	Anual	Verificar que el equipo se encuentre en condiciones ambientales óptimas para su buen estado (Lugar con temperatura ambiente y baja humedad)
		Semestral	Comprobar que todos los cables se encuentren bien conectados y que no haya ningún corto. Además, verificar la vida útil de componentes como baterías, relés y fusibles.
	<i>Termostato</i>	Semestral	Verificar que la graduación de temperatura sea correcta.
	<i>Motor</i>	Anual	Realizar la limpieza de los alistamientos y el cambio de las escobillas en caso de estar desgastadas.
Mecánico	<i>Banda transportadora</i>	Semestral	Verificar la tensión y la alineación de los ejes.
	<i>Eje del mezclador</i>	Semestral	Verificar el acople del eje a la hélice, en caso de daño, realizar el cambio de la pieza.
General		Mensual	Verificar el estado visual de todos los componentes, limpie el polvo, verifique que no haya presencia de elementos extraños que puedan dañar las bombas.
		Trimestral	Verifique el funcionamiento de los motores y sus conexiones eléctricas y manuales

PLANOS P&ID

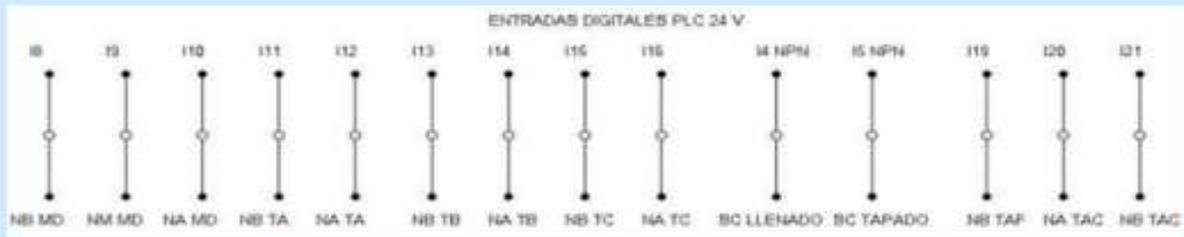


ELECTRONEUMÁTICO



PLANOS

ENTRADAS TABLERO



SALIDAS TABLERO

