

DISEÑO DE UN SISTEMA MODULAR DE SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE
PRODUCCIÓN A ESCALA CON INSTRUMENTACIÓN PARA LOS LABORATORIOS DE
CONTROL, INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES

LUIS FELIPE AMAYA CAMARGO
ANGELA YULIETH RIVERA GÓMEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2023

DISEÑO DE UN SISTEMA MODULAR DE SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN A ESCALA CON INSTRUMENTACIÓN PARA LOS LABORATORIOS DE CONTROL, INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES

LUIS FELIPE AMAYA CAMARGO
ANGELA YULIETH RIVERA GÓMEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director

JEISON ARLEY CASTILLO BOHÓRQUEZ
Ingeniero Electrónico

Codirector

JAIME GUILLERMO BARRERO PÉREZ
Magister en potencia eléctrica

EDWAR FABIAN ANTURI OÑATE
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA

2023

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque sin el nada de esto habría sido posible.

A mis padres por todo su amor, confianza, apoyo y fortaleza durante todos estos años de carrera, a mi hermana por todos sus consejos, por su apoyo y por estar conmigo siempre que fue necesario.

A mi novio por su amor, comprensión y por ser un apoyo incondicional desde el día primer día hasta el último de carrera.

A mis amigos por su apoyo en cada paso, por estar siempre que fue necesario y por hacer de esta experiencia algo extraordinario.

Al director de este proyecto, quien brindo su apoyo y conocimiento para llevarlo a cabo.

Angela Yulieth Rivera Gómez

Es la universidad donde están las manos y los corazones de la clase trabajadora, donde tiramos nuestros miedos al suelo para decir, ver y hacer que vivir valga la pena. El fruto de resultado y gozo es consecuencia del grano que día a día directa o indirectamente, realizaron todos y cada uno. A los que se fueron, los que están, los que perduran en el hoy hacia el mañana. Mas que los agradecimientos, quiero reconocer el trabajo y compañía de todos y todas; a mi familia, al congreso de los pueblos, a mi mascota Missy, a los que se organizan y luchan contra las injusticias, a los que soñaron y hoy continúan luchando por hacer realidad sus sueños. Somos producto del pueblo, somos la flor de libertad que construirá poder, bienestar y paz para todos y todas.

Luis Felipe Amaya Camargo

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1.JUSTIFICACIÓN	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. MARCO TEÓRICO.....	15
3.1 SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR	15
3.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	16
3.3 SENSOR ULTRASÓNICO.....	16
3.4 SENSOR CAPACITIVO.....	17
3.5 SENSOR ÓPTICO.....	18
3.6 SENSOR DE TEMPERATURA	19
3.7 MOTOR PASO A PASO.....	20
4. DISEÑO CONCEPTUAL	21
4.1 DISEÑO DEL PROCESO.....	22
4.1.1 Filtración y mezcla.....	22
4.2 DISEÑO DEL BANCO	24
4.2.1 Filtración y mezcla.....	24
4.2.2 Reactor y distribución.....	25
4.3 SELECCION DE COMPONENTES.....	26
4.3.1 Requerimientos de los sensores y actuadores.....	26
4.3.2 Sensores.....	27
4.3.3 Actuadores.....	28
4.3.4 Selección de los sensores y actuadores.....	30
4.4 DISEÑO DEL MONTAJE.....	43
4.4.1 Requerimientos físicos y ergonómicos para el sistema de producción modular ...	43
4.4.2 Materiales de construcción.....	45
4.4.3 Planos eléctricos y electrónicos.....	47

5. MODELADO CAD	48
5.1 ETAPA 1: FILTRO-MEZCLA	51
6.SIMULACIÓN	53
6.1 ETAPA 1: FILTRO-MEZCLA	53
6.2 ETAPA 2: RECTOR-DISTRIBUCIÓN.....	54
7.FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONOMICA	54
8. CONCLUSIONES.....	58
9. RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	65

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema del funcionamiento de un sensor ultrasónico.	17
Figura 2. Esquema de funcionamiento de un sensor fotoeléctrico.	19
Figura 3. Motor paso a paso.....	20
Figura 4. Esquema general sistema modular de simulación de un proceso de producción	21
Figura 5. Esquema general de la etapa de mezcla y filtración.	22
Figura 6. Esquema general de la etapa de reactor y distribución.....	23
Figura 7. Diagrama de tuberías e instrumentos etapa 1.	24
Figura 8. Diagrama de tuberías e instrumentos etapa 2.	25
Figura 9. Perfiles de aluminio estructurales.	46
Figura 10. Vista superior del diseño general estructura física.	48
Figura 11. Vista lateral 1 del diseño general estructura física.	49
Figura 12. Vista posterior del diseño general estructura física.	50
Figura 13. Vista lateral 2 del diseño general estructura física.	50
Figura 14. Vista isométrica etapa 1: Filtración y mezcla.	51
Figura 15. Vista posterior etapa 1: Filtración y mezcla.	51
Figura 16. Vista isométrica etapa 2: Reactor y distribución.....	52
Figura 17. Vista posterior etapa 2: Reactor y distribución.	52
Figura 18. Esquema general para la simulación de la etapa de mezcla y filtración.	53
Figura 19. Esquema general para la simulación de la etapa de mezcla y filtración.	54

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Requerimientos necesarios para los sensores.....	27
Tabla 2. Requerimientos necesarios para los actuadores.....	29
Tabla 3. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de sensores ultrasónicos.	31
Tabla 4. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de flotadores.	32
Tabla 5. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de sensores ópticos.	33
Tabla 6. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de sensores de temperatura.	33
Tabla 7. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de caudalímetros.	34
Tabla 8. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de sensores capacitivos.....	35
Tabla 9. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de electroválvulas.	36
Tabla 10. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de motobombas.	37
Tabla 11. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de motores paso a paso.....	38
Tabla 12. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de resistencias.....	38
Tabla 13. Sensores seleccionados.....	39
Tabla 14. Actuadores seleccionados.....	40
Tabla 15. Elementos adicionales.....	43
Tabla 16. Elementos requeridos para la construcción de la etapa 1	54
Tabla 17. Elementos requeridos para la construcción de la etapa 2.	55

LISTA DE ANEXOS

Los anexos están adjuntos y puede visualizarlos en la carpeta asignada.

Anexo A. Catálogo

Anexo B. Modelado CAD

Anexo C. Simulación

Anexo D. Planos eléctricos

Anexo E. Manual de uso y ensamble

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA MODULAR DE SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN A ESCALA CON INSTRUMENTACIÓN PARA LOS LABORATORIOS DE CONTROL, INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRONICA Y DE TELECOMUNICACIONES*

AUTOR: LUIS FELIPE AMAYA CAMARGO, ANGELA YULIETH RIVERA GÓMEZ **

PALABRAS CLAVE: AUTOMATIZACIÓN, CONTROL, SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR, INSTRUMENTACIÓN, SENSORES.

DESCRIPCIÓN: Un sistema modular de simulación de un proceso es una estrategia que divide un sistema o proceso complejo en módulos más pequeños y manejables, lo que facilita el modelado, la simulación y la colaboración entre expertos en diferentes disciplinas. Esta técnica es valiosa para comprender y analizar sistemas complejos antes de implementarlos y para mejorar la eficiencia en el desarrollo de modelos de simulación.

Para tener una experiencia más cercana a lo encontrado en la industria, y aplicar conceptos de instrumentación industrial, automatización y control, se plantea diseñar un banco de pruebas basado en un sistema modular de simulación de un proceso de producción a escala. Donde el estudiante podrá observar, simular y medir en tiempo real un proceso de mezclado, filtrado y envasado de un líquido por medio de la programación de un PLC. La selección de la instrumentación y los actuadores se realizará teniendo en cuenta características como el costo, precisión, requerimientos de calibración y disponibilidad en el mercado colombiano. Se realizó un análisis de factibilidad sobre la construcción de este diseño y los beneficios que le puede brindar a la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Adicionalmente se desarrolló un manual de uso y ensamble que proporciona una guía detallada y comprensible sobre cómo ensamblar el sistema de producción modular diseñado.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Ingeniería Electrónica. Director: Jeison Arley Castillo Bohórquez. Ingeniero Electrónico. Codirector: Jaime Guillermo Barrero Perez. Magister en potencia eléctrica. Edwar Fabian Anturi Oñate. Ingeniero Electrónico

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A MODULAR SYSTEM FOR SIMULATION OF A SCALED PRODUCTION PROCESS WITH INSTRUMENTATION FOR THE CONTROL, INSTRUMENTATION AND AUTOMATION LABORATORIES OF THE SCHOOL OF ELECTRICAL, ELECTRONIC AND TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING. *

AUTHOR: LUIS FELIPE AMAYA CAMARGO, ANGELA YULIETH RIVERA GÓMEZ **

KEY WORDS: AUTOMATION, CONTROL, MODULAR PRODUCTION SYSTEM, INSTRUMENTATION, SENSORS.

DESCRIPTION: A modular process simulation system is a strategy that divides a complex system or process into smaller, more manageable modules, facilitating modeling, simulation and collaboration between experts in different disciplines. This technique is valuable for understanding and analyzing complex systems prior to implementation and for improving efficiency in the development of simulation models.

In order to have a closer experience to what is found in the industry, and to apply concepts of industrial instrumentation, automation and control, it is proposed to design a test bench based on a modular simulation system of a scaled production process. Where the student will be able to observe, simulate and measure in real time a process of mixing, filtering and packaging of a liquid by programming a PLC. The selection of the instrumentation and actuators will be made taking into account characteristics such as cost, accuracy, calibration requirements and availability in the Colombian market.

A feasibility analysis was performed on the construction of this design and the benefits it can provide to the School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Additionally, a user and assembly manual was developed to provide a detailed and understandable guide on how to assemble the designed modular production system.

*Degree work

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Ingeniería Electrónica. Director: Jeison Arley Castillo Bohórquez. Ingeniero Electrónico. Codirector: Jaime Guillermo Barrero Perez. Magister en potencia eléctrica. Edwar Fabian Anturi Oñate. Ingeniero Electrónico

INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología y la llegada de la industria 4.0 despertó la necesidad en las Instituciones de educación superior de adaptar sus programas y planes de formación para mantenerse a la vanguardia y formar egresados competitivos en el mercado laboral con habilidades para el manejo de la tecnología apropiada y de punta. Las IES se han visto obligadas a adaptarse sin considerar las precariedades y las subjetividades de cada institución. Acerca de esto, el SUE (Sistema Universitario Estatal) menciona en su recopilación sobre la desfinanciación de la educación superior en Colombia: “las Universidades fueron creciendo sus presupuestos en términos reales, aunque nunca de manera relevante. De esta forma y no sin dificultades, las Universidades fueron sorteando los costos crecientes por la expansión de su matrícula, pero, sobre todo, los costos laborales que empezaron a crecer mucho más allá de la inflación por decisiones legales, imperativas para las Universidades, incluida la remuneración de los docentes que tiene un crecimiento intrínseco por la vía de la producción intelectual de los mismos”¹.

Por este precedente es que en muchas universidades las asignaturas teórico-prácticas (específicamente en el área de automatización para el caso abordado), los laboratorios no les permiten a los estudiantes obtener una experiencia práctica e integral que complementa las bases adquiridas en la teoría vista en clase. Esto afecta en gran medida las habilidades y competencias de los egresados del programa académico, pues al no obtener una oportunidad de realizar prácticas de entrenamiento corren el riesgo de perder oportunidades de trabajo dignas. Algunas universidades en Colombia en su interés de proporcionar a los estudiantes aulas actualizadas compran productos y servicios de multinacionales como FESTO o BOSCH para la adecuación de laboratorios de alta calidad pero sus productos tienen un elevado costo e imposibilita a las universidades con bajo presupuesto poder adquirirlos; adicionalmente muchas de estas opciones requieren

¹ MINISTERIO DE EDUCACIÓN. Desfinanciamiento de la educación superior en Colombia. Bogotá, 2012.

de programas de capacitación para su manejo que es difícil de asumir para las universidades cuya planta docente tiene un alto índice de rotación.

Impulsar a los estudiantes de programas en ingeniería a generar proyectos de grado que mejoren los ambientes de aprendizaje prácticos, es quizás, una alternativa pragmática, ya que el estudiante aplica lo visto en todo su proceso de aprendizaje directamente en solucionar una problemática puntual de su entorno de formación. Está el caso de los laboratorios de automatización del programa de ingeniería electrónica de la Universidad Industrial de Santander, quienes hace más de 10 años no han presentado una adecuación y renovación total de sus espacios ², pero si ha contado con oportunidades de mejora por medio de estudiantes y docentes que han logrado recrear con los materiales disponibles sistemas de control y automatización útiles para el aprendizaje.

En busca de una experiencia más cercana a lo encontrado en la industria y aplicar conceptos de instrumentación industrial, automatización y control, se realiza el diseño de un prototipo de un banco de pruebas basado en un sistema modular de simulación de un proceso de producción a escala. Donde el estudiante podrá observar, simular y medir en tiempo real un proceso de mezclado, filtrado, calentado y envasado de un líquido por medio de la programación de un PLC. La selección de la instrumentación y los actuadores se realiza teniendo en cuenta características como el menor costo, precisión, requerimientos de calibración y disponibilidad en el mercado colombiano; con todo esto, se busca disminuir la brecha entre la teoría y la praxis de la asignatura de automatización industrial y que con esto se permita al estudiante realizar prácticas integrales que le permitan complementar lo aprendido de forma teórica.

² E3T. [Sitio web]. Reseña Histórica. [Consulta: 27 de septiembre]. Disponible en: <http://e3t.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp>

1.JUSTIFICACIÓN

Un ingeniero le debe ofrecer al mercado una combinación de habilidades técnicas conocimientos especializados que resuelvan las necesidades de la industria y de la sociedad. Para la formación profesional de los estudiantes, la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones posee los laboratorios, uno de ellos es el de Automatización de procesos e instrumentación, el cual no ha sido actualizados desde el 2008³ y que uno de los criterios fundamentales de la acreditación ABET es la dotación de laboratorios⁴ se propone a través de este proyecto que los estudiantes de ingeniería electrónica tengan una experiencia más cercana con lo encontrado en la industria actual a través de la aplicación de conceptos teóricos de instrumentación, automatización y control, este sistema modular de simulación de un proceso de producción le brindara la oportunidad de obtener experiencia con programación, control, instalación y conexión de diferentes equipos e instrumentos donde podrá desarrollar habilidades relevantes en el campo e interiorizar los principios y teorías estudiados en dichas áreas con el fin de enriquecer su formación profesional.

³ E3T. [Sitio web]. Reseña Histórica. [Consulta: 27 de septiembre]. Disponible en: <http://e3t.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp>

⁴ ABET. [Sitio web]. Criteria for Accrediting Engineering Programs, 2023 – 2024 [Consulta: 27 de septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2023-2024/>

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema modular de simulación de un proceso de producción a escala con instrumentación para el apoyo a los laboratorios de las asignaturas de control, instrumentación y automatización de procesos, de la escuela de ingeniería eléctrica y electrónica de la Universidad Industrial de Santander.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los instrumentos de medida actuadores y materiales para la construcción de un sistema de producción a escala, mediante criterios técnicos, económicos y de accesibilidad a través de una matriz de indicadores.
- Diseñar la estructura física y electrónica del sistema modular de simulación en un proceso de producción a escala
- Modelar en 3D la estructura física, el plano eléctrico y electrónico del proyecto
- Elaborar la documentación técnica del sistema modular de simulación de un proceso de producción a escala, que sirva como manual de operación para los futuros estudiantes.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR

Un sistema de producción modular es una estrategia de organización y operación que se enfoca en la eficiencia y la flexibilidad en la fabricación de productos. Su enfoque central radica en la subdivisión de un proceso de producción en distintos módulos o etapas interconectadas, con el objetivo de optimizar la producción y garantizar la estandarización de cada tarea específica.

La esencia de este enfoque es tomar un proceso general, a menudo complejo, y descomponerlo en una serie de tareas más pequeñas y manejables, cada una de las cuales es llevada a cabo por un módulo independiente. Estos módulos se diseñan de manera que sean capaces de ejecutar su tarea particular de manera eficiente y precisa. Además, se planifican y estructuran de manera que puedan integrarse sin problemas con la etapa siguiente del proceso de producción.

Este enfoque modular permite una serie de ventajas significativas en la fabricación. En primer lugar, al dividir el proceso en módulos, se logra una mayor estandarización y repetibilidad de cada tarea específica. Esto conduce a una mejora en la calidad del producto final, ya que cada módulo puede ser optimizado y ajustado para desempeñar su función de manera consistente y confiable.

Además, la naturaleza modular del sistema facilita la escalabilidad y la adaptabilidad de la producción. Si se requiere aumentar la capacidad de producción, simplemente se agrega o se replican módulos existentes, lo que permite una expansión más sencilla en comparación con una reestructuración completa del proceso. Del mismo modo, si se necesita cambiar o actualizar una parte del proceso, es más fácil reemplazar o modificar un módulo específico en lugar de modificar todo el sistema de producción.

La coordinación y el flujo continuo son aspectos fundamentales en este enfoque modular. Los módulos están diseñados de manera que puedan trabajar de manera coordinada y eficiente, asegurando que la producción fluya sin interrupciones desde la manufactura

inicial hasta el empaque final. Esta sincronización de tareas y procesos contribuye a reducir los tiempos de ciclo y a maximizar la eficiencia de la producción.

3.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

El dispositivo electrónico al que nos referimos, conocido como PLC (Controlador Lógico Programable), es un avance tecnológico que irrumpió en la industria en la década de 1960 con el propósito de revolucionar el control de procesos y eliminar los costosos sistemas basados en relés y contactores. Desde entonces, el PLC ha evolucionado significativamente y se ha convertido en una piedra angular en una amplia gama de aplicaciones industriales.

En su forma moderna, un PLC es un dispositivo versátil que utiliza su memoria programable para almacenar internamente una serie de instrucciones específicas. Estas instrucciones pueden incluir lógica, secuenciación, temporización y muchas otras funciones, dependiendo de la aplicación específica. Lo que hace que un PLC sea tan poderoso es que las tareas de programación y configuración se realizan de manera tal que el usuario puede relacionar las señales de entrada con las condiciones necesarias para activar las salidas correspondientes.

Esta característica fundamental del PLC, la programación personalizada, brinda a los ingenieros y técnicos de control un alto grado de flexibilidad y adaptabilidad en sus aplicaciones industriales. Pueden crear programas específicos para controlar procesos complejos y secuenciales de acuerdo con las necesidades de producción y las demandas del sistema.

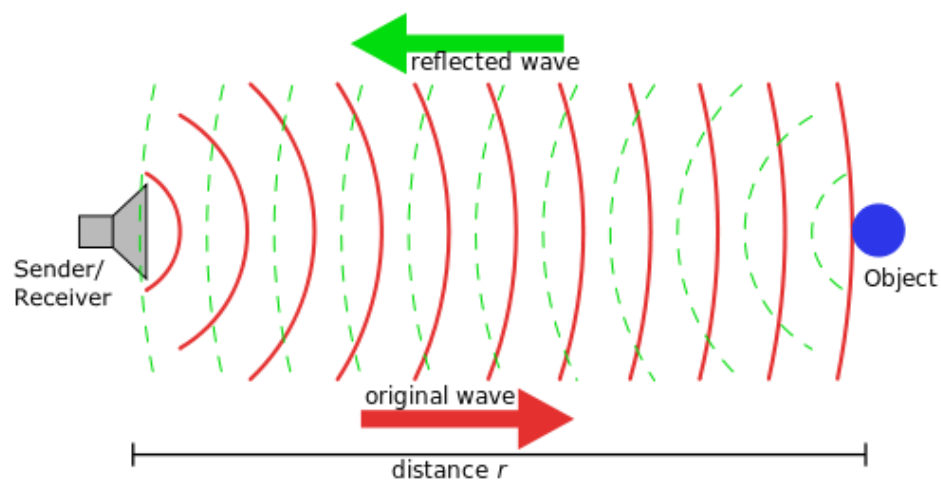
3.3 SENSOR ULTRASÓNICO.

Tecnología que aprovecha ondas ultrasónicas de alta frecuencia para realizar tareas de detección de objetos y medición de distancias de manera precisa y eficiente. Este tipo de sensor ha encontrado una amplia gama de aplicaciones en diversos campos, destacando

especialmente en la automatización industrial, la seguridad vehicular y el control de nivel de líquidos en tanques.

La característica fundamental de un sensor ultrasónico es su capacidad para generar y emitir pulsos de sonido ultrasónico a una frecuencia extremadamente alta, fuera del rango auditivo humano. Estos pulsos de sonido viajan en el aire a través del espacio y, cuando encuentran un objeto o superficie, se reflejan de vuelta hacia el sensor. El sensor mide el tiempo que transcurre entre la emisión del pulso y la recepción de su eco reflejado. Utilizando esta información, el sensor calcula la distancia entre sí y el objeto detectado con una precisión impresionante.

Figura 1. Esquema del funcionamiento de un sensor ultrasónico.



Fuente: 330OHMS. Tutorial micro:bit #9: ¿cómo uso un sensor ultrasónico? [Fecha de consulta: 1 de octubre de 2023]. <https://blog.330ohms.com/2019/08/30/tutorial-microbit-9-como-uso-un-sensor-ultrasonico/>.

3.4 SENSOR CAPACITIVO.

Los sensores de capacitivos son dispositivos que aprovechan cambios en la capacitancia de un condensador para detectar la presencia, la posición o el movimiento de objetos

cercanos. Esta tecnología es valiosa en una amplia gama de aplicaciones donde se requiere precisión y sensibilidad en la detección de objetos, y su principio de funcionamiento basado en la medición de la capacitancia permite una detección eficaz y no invasiva en una variedad de entornos y situaciones.

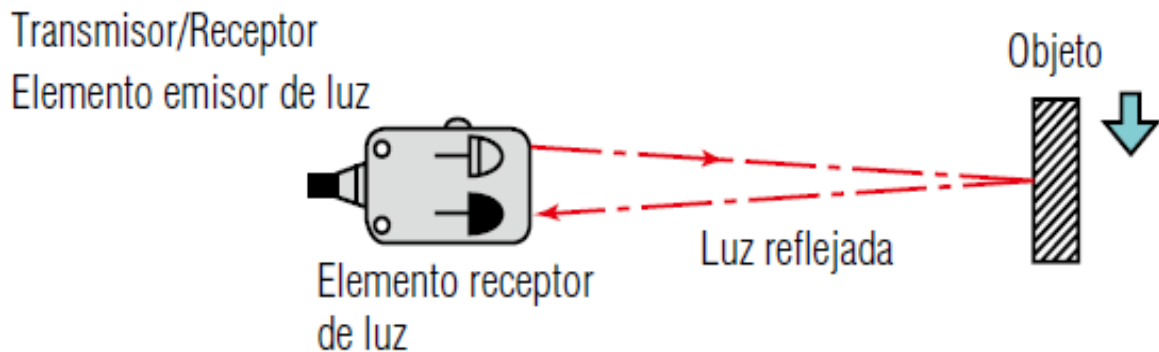
La detección de cambios en la capacitancia es una técnica sensible y precisa que se utiliza en una variedad de aplicaciones. El sensor de capacitancia consta de dos placas conductoras separadas por un material dieléctrico, que es un aislante eléctrico. Cuando no hay ningún objeto cerca del sensor, la capacitancia es constante y la señal eléctrica generada es estable.

Sin embargo, cuando un objeto se acerca al sensor, su presencia altera el campo eléctrico entre las placas conductoras. Esto provoca un cambio en la capacitancia, ya que la cantidad de carga eléctrica que puede almacenarse en el condensador se ve afectada por la proximidad del objeto. La variación en la capacitancia se traduce en una señal eléctrica detectable, que puede ser utilizada para indicar la presencia, la posición o el movimiento del objeto.

3.5 SENSOR ÓPTICO.

El sensor fotoeléctrico emite una fuente de luz, generalmente en forma de un haz de luz láser o infrarroja, hacia la zona en la que se desea detectar la presencia de un objeto. Cuando un objeto se encuentra en el camino de este haz de luz, parte de la luz se refleja o se transmite desde la superficie del objeto. El receptor del sensor es sensible a esta luz reflejada o transmitida, y su función es detectar y medir la intensidad de la luz incidente. El receptor convierte la luz incidente en una señal eléctrica que puede variar en función de la cantidad de luz detectada. Esta señal eléctrica se utiliza para determinar la presencia o la ausencia del objeto, así como para medir su distancia o posición si el sensor es capaz de operar en modos más avanzados.

Figura 2. Esquema de funcionamiento de un sensor fotoeléctrico.



Fuente: KEYENCE. ¿Qué es un sensor fotoeléctrico? [Fecha de consulta: 6 de octubre de 2023].
<https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/photoelectric/info>.

3.6 SENSOR DE TEMPERATURA

Los sensores RTD se basan en un principio resistivo para medir la temperatura. Utilizan una película delgada de platino enrollada en forma de espiral como elemento resistivo. Lo que hace que el platino sea un material ideal para este propósito es su estabilidad y su relación consistente con la temperatura. A medida que la temperatura cambia, la resistencia eléctrica del platino también cambia de manera predecible y proporcional. Esto significa que, a medida que el platino se calienta o se enfría, su resistencia eléctrica aumenta o disminuye de manera coherente y lineal.

La principal ventaja de los sensores RTD es su alta precisión. Debido a la relación lineal y constante entre la resistencia eléctrica y la temperatura del platino, estos sensores pueden ofrecer mediciones extremadamente precisas, especialmente en un rango de temperaturas más amplio en comparación con otros tipos de sensores de temperatura.

3.7 MOTOR PASO A PASO

El motor paso a paso es un tipo especial de motor eléctrico que desempeña un papel fundamental en una amplia gama de aplicaciones que requieren un control preciso del movimiento angular. Su principal característica distintiva es su capacidad para convertir una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares controlados y precisos. Esto significa que el motor paso a paso puede girar una cierta cantidad de grados o pasos con una alta exactitud y sin necesidad de un freno mecánico para mantener una posición específica, lo que lo hace altamente viable en aplicaciones de posicionamiento y control. La capacidad de detenerse en posiciones específicas sin requerir un freno mecánico es una característica clave de los motores paso a paso. Esto es posible porque cuando no se aplican pulsos eléctricos a las bobinas, el motor mantiene su posición y no se desplaza debido a la retención de sus dientes y el sistema de dientes del rotor. Esta característica es esencial en aplicaciones de posicionamiento, como máquinas CNC, impresoras 3D, cámaras de enfoque automático, sistemas de control de movimiento y más, donde la precisión y la repetibilidad son fundamentales.

Figura 3. Motor paso a paso.



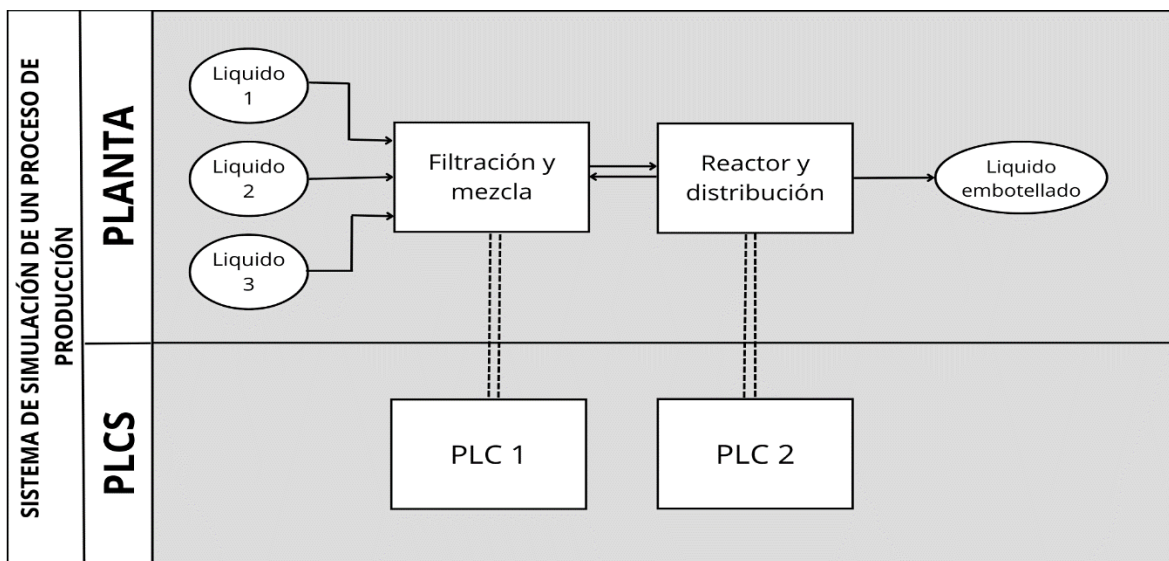
Fuente: AMAZON. Catálogo. [Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2023].
<https://www.amazon.com/-/es/motores-Torsi%C3%B3n-grande-mec%C3%A1nico-57HS7630A4D8/dp/B09MG69SHL>.

4. DISEÑO CONCEPTUAL

La producción y embotellado de líquidos es un proceso que le permite al estudiante trabajar con diferentes variables y es muy común en la industria, por lo general este proceso cuenta con el siguiente flujo de trabajo: Tratamiento de reactivos, filtración, suavizador, almacenamiento de agua tratada, lavado de botellas, llenado, tapado y etiquetado⁵ teniendo en cuenta este proceso se propone el prototipo de un sistema modular de simulación de un proceso de producción de preparación y embotellado de líquidos que cuente con dos etapas filtración-mezcla y reactor-distribución cada etapa será independiente pero en conjunto permitirán observar el proceso completo, el estudiante podrá programar y controlar cada una de las acciones que se deben realizar para llegar al producto final usando un PLC SIEMENS SIMANTIC S7-1500 a través del paquete de software TIA PORTAL.

A continuación, en la figura 4 se puede observar un esquema general del proceso propuesto:

Figura 4. Esquema general sistema modular de simulación de un proceso de producción



Fuente: Elaboración propia.

⁵ Abc-pack [sitio web]. Funcionamiento de una planta embotelladora. [Consulta 28 de septiembre 2023] Disponible en: <https://www.abc-pack.com/enciclopedia/funcionamiento-de-una-planta-embotelladora/>

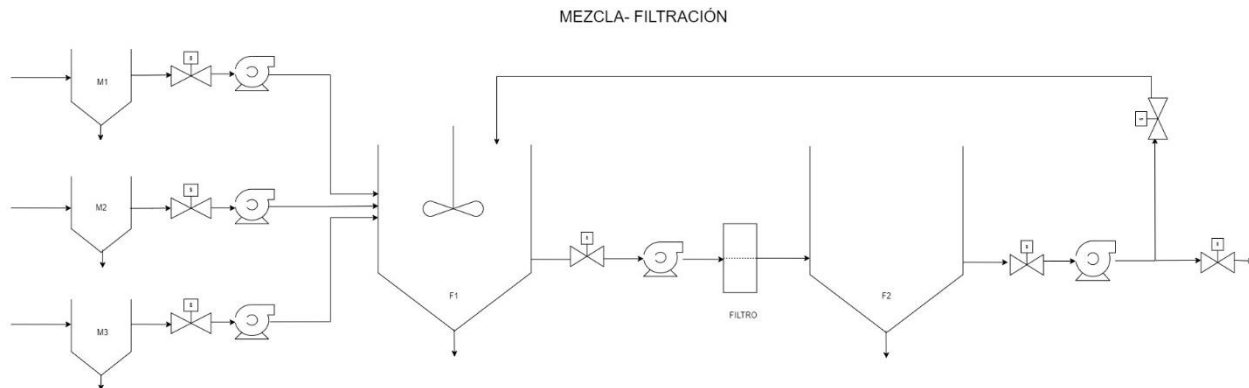
4.1 DISEÑO DEL PROCESO

4.1.1 Filtración y mezcla

Inicialmente se cuenta con 3 tanques M1, M2 y M3 que permitirán al estudiante preparar diferentes mezclas y simular un proceso industrial. Estos tanques deben ser llenados por el flujo de agua disponible en el laboratorio, cada tanque debe garantizar que no se sobrepase el nivel máximo de agua para que no se desperdicie, luego por medio de motobombas los líquidos serán movidos a través de tuberías y durante su trayecto se encontraran con un caudalímetro que solo permitirá que entre la cantidad deseada de cada liquido al tanque de mezcla F1, en dicho tanque por medio de un agitador se mezclara la receta preparada anteriormente, durante esta etapa se debe garantizar que el agitador no funcione si no se cuenta con el nivel de agua necesario, posteriormente con ayuda de una motobomba se enviara la receta preparada por la tubería y en su trayecto se encontrara con el filtro que tiene como función purificar la mezcla atrapando impurezas o partículas que se pueden presentar en la receta hasta llegar al tanque de almacenamiento F2 en el cual el estudiante puede tomar alguna de estas alternativas: devolver con la motobomba y por medio de las tuberías la receta preparada al tanque de mezcla o enviarla a la siguiente etapa.

A continuación, en la figura 5 se puede observar un esquema del proceso:

Figura 5. Esquema general de la etapa de mezcla y filtración.



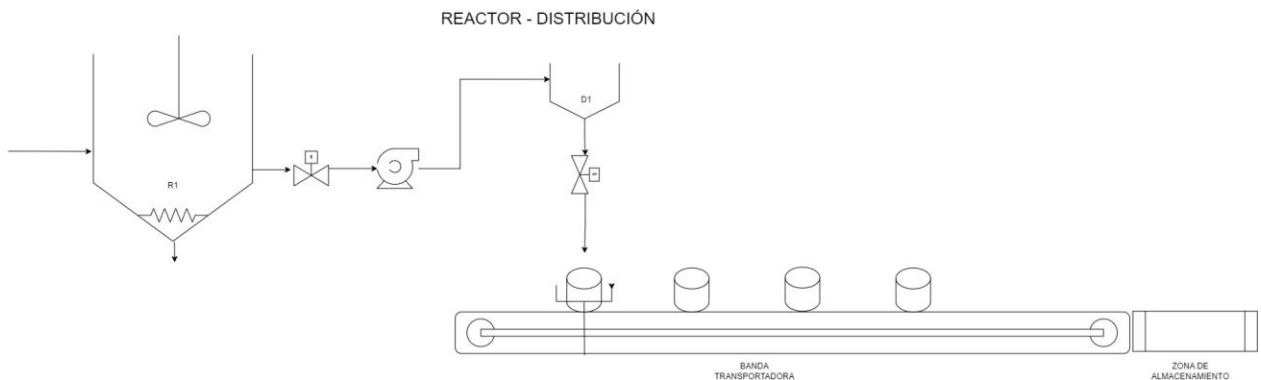
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Reactor y distribución:

Esta etapa inicia recibiendo la receta preparada en la estación anterior o llenando el tanque R1 manualmente, una vez la receta esté disponible se iniciara con la fase de reactor con un agitador y una resistencia calefactora, la idea es que se caliente la mezcla por medio de la resistencia y se agite simultáneamente durante un tiempo determinado, luego se ira transportando el agua por medio de la motobomba y la tubería hacia el tanque de distribución D1 garantizando que el agitador y la resistencia estén apagados si no hay el nivel de agua mínimo para su funcionamiento, cuando se complete la capacidad del tanque D1 se enviara una señal que encenderá la banda transportadora y con ella iniciara el abastecimiento de botellas a la línea de envasado, allí un actuador sostendrá la botella mientras se lleva a cabo el proceso de envasado, posteriormente la botella seguirá su camino hasta la sección de almacenamiento y se repetirá el proceso hasta que se termine la receta disponible.

A continuación, en la figura 6 se puede observar en el un esquema del proceso:

Figura 6. Esquema general de la etapa de reactor y distribución.



Fuente: Elaboración propia.

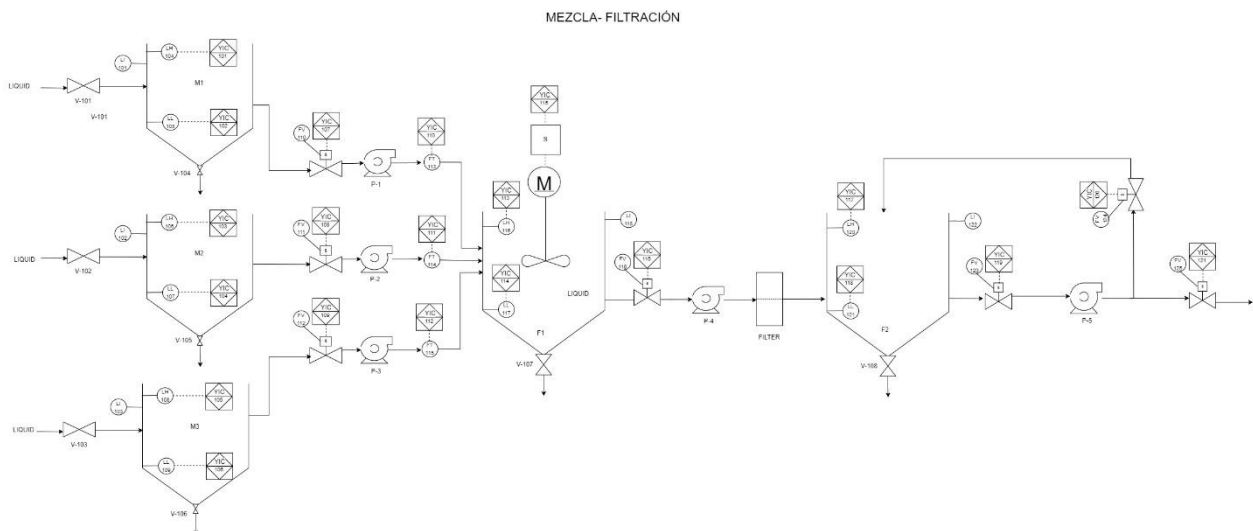
Adicionalmente en el proceso de diseño se definirán instrumentos y demás componentes necesarios para el proceso de manera que se le brinde a los estudiantes un acercamiento a los procesos industriales.

4.2 DISEÑO DEL BANCO

4.2.1 Filtración y mezcla. Inicialmente se cuenta con tres válvulas que deben ir conectadas al flujo de agua dispuesto para el banco, luego se encuentran tres tanques pequeños cada uno de ellos cuenta con sensores capacitivos de nivel de agua máximo para evitar desperdicios de agua y de nivel mínimo que evitan que la motobomba sea usada en seco, posteriormente por medio de las tuberías y la motobomba se moverá el agua al tanque de mezcla el cual también cuenta con sensor capacitivo de nivel máximo y mínimo, en este tanque se debe garantizar que el agitador solo funcione cuando se cuente con el nivel de agua requerido, luego de mezclar la receta a preparar se puede mover con una motobomba a través de las tuberías y en su camino encontrara el filtro el cual limpiara y purificara la mezcla atrapando impurezas hasta llegar al tanque de almacenamiento el cual también tiene sensores capacitivos de nivel máximo y mínimo, de igual forma se debe asegurar que la motobomba no arranque en seco y así finamente la receta puede ser enviada a través de la tubería a la siguiente etapa o devolverse al tanque de mezclado.

En la figura 7, se puede observar el esquema de la etapa 1:

Figura 7. Diagrama de tuberías e instrumentos etapa 1.



Todos los tanques del sistema cuentan con:

- Un flotador que apagara las motobombas si se llega a presentar algún derrame de agua imprevisto
- Válvulas en la parte inferior del tanque que funcionaran como desagüe para evitar la acumulación de residuos

4.3 SELECCION DE COMPONENTES

4.3.1 Requerimientos de los sensores y actuadores. Para el prototipo del sistema modular de simulación de un proceso de producción de preparación y embotellado de líquidos se requiere que los sensores y actuadores cumplan con las características adecuadas para adaptarse a PLC SIEMENS SIMANTIC S7-1500 ya que son los equipos disponibles para laboratorios de automatización y control en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Estos equipos disponen de un módulo de 16 entradas y salidas digitales de 24 [V] / 0.5 [A], por lo cual se define que es necesario que todos los instrumentos que se seleccionen trabajen a 24[V] de manera que no se tengan que realizar acoples adicionales.

Dado que se busca que durante las prácticas de laboratorio el estudiante obtenga experiencia con procesos e instrumentos usados en la industria se requieren instrumentos que tengan buena resolución, precisión y exactitud.

Adicionalmente para las tuberías se requiere usar tubería de ½" ya que es el tamaño adecuado para drenar el agua de los tanques en un tiempo corto y además es una medida comercial, por lo cual en el mercado se encuentran diversos accesorios para realizar acoples si es necesario.

4.3.2 Sensores. Se sugiere la incorporación de sensores tanto digitales como analógicos en el prototipo del sistema modular de simulación de un proceso de producción de producción y embotellado de líquidos con el fin de brindar a los estudiantes la oportunidad de llevar a cabo prácticas que aborden ambos tipos de sensores, permitiéndoles así experimentar y comprender las diferencias y particularidades entre ellos de manera más completa y enriquecedora.

Algunos de los tipos de sensores que se requieren para el diseño del prototipo del sistema de producción modular incluyen:

- Sensor de nivel Ultrasónico
- Flotador de agua
- Sensor de detección óptico
- Sensor de temperatura
- Caudalímetro
- Sensor capacitivo de proximidad

Estos sensores deben cumplir con los requerimientos indicados en la tabla 1:

Tabla 1. Requerimientos necesarios para los sensores.

ELEMENTO	REQUERIMIENTOS	JUSTIFICACIÓN
Sensor de nivel ultrasónico	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible para trabajar con agua 	Debe detectar la presencia de agua constantemente en el tanque de distribución.
Flotador de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible para trabajar con agua 	Debe detener la entrada de agua al llegar al nivel máximo de cada tanque

ELEMENTO	REQUERIMIENTOS	JUSTIFICACIÓN
Sensor de detección óptico	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de detectar botellas de vidrio • Distancia de detección mínima 10cm 	Debe detectar cuando la botella de agua pasa vacía por la banda transportadora.
Sensor de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Medir temperatura de 0 -75°C • Sumergible en agua 	El agua se va a mantener entre 0 y 75° C durante todo el proceso.
Caudalímetro	<ul style="list-style-type: none"> • Rosca ½" • Caudal cercano a 10 litros por minuto 	Es necesario saber que tanto liquido va a entrar de cada tanque para la preparación de la receta.
Sensor capacitivo de proximidad	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible para trabajar con agua • Resistente a temperatura de 0- 90° 	Debe detectar la presencia de agua en nivel máximo o mínimo en los tanques.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Actuadores. Los actuadores son componentes esenciales en el diseño de un sistema de producción modular, ya que desempeñan un papel fundamental en la conversión de señales eléctricas o mecánicas en movimientos físicos o acciones específicas.

A continuación, se describen algunos de los tipos de actuadores necesarios para el planteamiento del prototipo del diseño de dicho sistema:

- Electroválvula
- Resistencia calefactora
- Motobomba
- Motor paso a paso
- Agitador

Estos actuadores deben cumplir con los requerimientos indicados en la tabla 2:

Tabla 2. Requerimientos necesarios para los actuadores

ELEMENTO	REQUERIMIENTOS	JUSTIFICACIÓN
Electroválvula	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible para trabajar con agua • Inoxidable 	Se usará agua como fluido de trabajo
Resistencia calefactora	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento sumergido en agua • Consumo eléctrico no mayor a 5A 	<p>Aplicación</p> <p>Protección a la fuente de poder.</p>
Motobomba	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible para trabajar con agua • Capacidad de elevar el agua 2m y moverla horizontalmente 2m aproximadamente 	Capacidad de mover el agua de un tanque a otro según sea necesario.
Motor paso a paso	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de mover un brazo de forma precisa 	Debe extender y mover con precisión un brazo que detenga las botellas cuando son

	para detener las botellas sin romperlas.	detectadas por el sensor y durante el llenado.
Agitador	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para trabajar con agua 	Debe revolver la receta preparada

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Selección de los sensores y actuadores. Para seleccionar los sensores y actuadores se establecieron los siguientes 3 criterios:

- Eficiencia: Especificaciones técnicas que permitan tomar medidas reales de los procesos
- Eficacia: Garantizar la operatividad de los distintos componentes del proyecto
- Costo: Asegurar la viabilidad económica del proyecto.

Y estos criterios se dividieron en los siguientes subcriterios y se les asignó un porcentaje según los requerimientos anteriormente mencionados:

- Eficiencia (50%)
 - Resolución (10%)
 - Precisión (20%)
 - Exactitud (20%)
- Eficacia (40%)
 - Adaptabilidad
- Costo (10%)

Con base en estos requerimientos y criterios se realizó y aplicó la matriz de indicadores al catálogo que se encuentra en el Anexo A en este se cuenta con varias opciones de

cada uno de los instrumentos, para realizar la selección se les asigno un valor de 1 a 3 donde:

- ✓ 1 = No cumple requerimientos
- ✓ 2 = Cumple Parcialmente los requerimientos
- ✓ 3 = Cumple todos los requerimientos

A continuación, en las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 se puede observar la aplicación de la matriz de indicadores al catálogo de los sensores:

Tabla 3. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de sensores ultrasónicos.

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
Sensor ultrasónico (JSN-SR20-Y1)	Medir la presencia de agua a una altura determinada del tanque de distribución	Resolución	3	Eficiencia	30%	40%
		Precisión	3			
		Exactitud	1			
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	3	Costo	10%	
Sensor ultrasónico (3rg6013-3ad00)	Medir la presencia de agua a una altura determinada del tanque de distribución	Resolución	3	Eficiencia	50%	90%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	1	Costo	0%	
Sensor ultrasónico (UE3003 4-20mA)	Medir la presencia de agua a una altura determinada del tanque de distribución	Resolución	2	Eficiencia	25%	65%
		Precisión	2			
		Exactitud	2			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	1	Costo	0%	
Sensor ultrasónico (DYP-A06LYU-V1.1)	Medir la presencia de agua a una altura determinada del tanque de distribución	Resolución	2	Eficiencia	25%	45%
		Precisión	2			
		Exactitud	2			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	20%	
		Costo	1	Costo	0%	
Sensor ultrasónico (Jsn-sr04)	Medir la presencia de agua a una altura determinada	Resolución	3	Eficiencia	40%	50%
		Precisión	2			
		Exactitud	3			

	del tanque de distribución	Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	3	Costo	10%	
Sensor ultrasónico (DYP-A02-V2.0)	Medir la presencia de agua a una altura determinada del tanque de distribución	Resolución	3	Eficiencia	50%	55%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	2	Costo	5%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de flotadores.

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
Flotador	Medir la presencia de agua a la altura máxima del tanque para evitar fugas.	Resolución	3	Eficiencia	50%	80%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	20%	
		Costo	3	Costo	10%	
Flotador	Medir la presencia de agua a la altura máxima del tanque para evitar fugas.	Resolución	3	Eficiencia	50%	90%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	1	Costo	0%	
Flotador	Medir la presencia de agua a la altura máxima del tanque para evitar fugas.	Resolución	3	Eficiencia	50%	80%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	20%	
		Costo	3	Costo	10%	
Flotador	Medir la presencia de agua a la altura máxima del tanque para evitar fugas.	Resolución	3	Eficiencia	50%	80%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	20%	
		Costo	3	Costo	10%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de sensores ópticos.

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
Sensor Óptico (E3JK-DP11 2M OMI)	Detectar el recipiente para el llenado en distribución	Resolución	3	Eficiencia	50%	90%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	1	Costo	0%	
Sensor Óptico (E18-d80nk)	Detectar el recipiente para el llenado en distribución	Resolución	3	Eficiencia	50%	60%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	3	Costo	10%	
Sensor Óptico (XUK2AKSNL2)	Detectar el recipiente para el llenado en distribución	Resolución	3	Eficiencia	50%	90%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	1	Costo	0%	
Sensor Óptico (XUK2AKSNL2)	Detectar el recipiente para el llenado en distribución	Resolución	3	Eficiencia	50%	100%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	3	Costo	10%	
Sensor Óptico (XUK2AKSNL2)	Detectar el recipiente para el llenado en distribución	Resolución	3	Eficiencia	50%	95%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	2	Costo	5%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de sensores de temperatura.

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
		Resolución	3	Eficiencia	50%	90%

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
Sensor Temperatura (RTD con cabezal de protección de aluminio)	Medir las variaciones de temperatura del Tanque de Reactor	Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	1	Costo	0%	
Sensor Temperatura (Sonda PT100)	Medir las variaciones de temperatura del Tanque de Reactor	Resolución	2	Eficiencia	35%	60%
		Precisión	2			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	20%	
		Costo	2	Costo	5%	
Sensor Temperatura (Transmisor para RTD PT100)	Medir las variaciones de temperatura del Tanque de Reactor	Resolución	2	Eficiencia	35%	60%
		Precisión	2			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	20%	
		Costo	2	Costo	5%	
Sensor Temperatura Sumergible (DS18B20)	Medir las variaciones de temperatura del Tanque de Reactor	Resolución	3	Eficiencia	40%	50%
		Precisión	2			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	3	Costo	10%	
Sensor Temperatura (Rtd Pt100 Sonda 5x30mm)	Medir las variaciones de temperatura del Tanque de Reactor	Resolución	3	Eficiencia	50%	80%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	20%	
		Costo	3	Costo	10%	
Sensor Temperatura (OEM Rtd Pt100)	Medir las variaciones de temperatura del Tanque de Reactor	Resolución	3	Eficiencia	50%	95%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	2	Costo	5%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de caudalímetros.

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
Caudalímetro		Resolución	3	Eficiencia	40%	90%

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
	Medir las variaciones del flujo de agua al interior de la tubería.	Precisión	2			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	3	Costo	10%	
Sensor de flujo de 3/4" Caudalímetro	Medir las variaciones del flujo de agua al interior de la tubería.	Resolución	3	Eficiencia	50%	55%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	2	Costo	5%	
Caudalímetro (YF-S401)	Medir las variaciones del flujo de agua al interior de la tubería.	Resolución	3	Eficiencia	50%	50%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	1	Costo	0%	
Caudalímetro (YF-S201)	Medir las variaciones del flujo de agua al interior de la tubería.	Resolución	3	Eficiencia	50%	60%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	3	Costo	10%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de sensores capacitivos

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
Sensor Capacitivo (CR30-15DP)	Medir una altura determinada en los tanques de agua (Bajo-Alto)	Resolución	3	Eficiencia	50%	70%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	20%	
		Costo	1	Costo	0%	
Sensor Capacitivo (XKC-Y25-PNP/XKC-Y25-V/XKC-Y25-NPN)	Medir una altura determinada en los tanques de agua (Bajo-Alto)	Resolución	3	Eficiencia	40%	90%
		Precisión	2			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	3	Costo	10%	

Sensor Capacitivo (XKC-Y25-V PNP)	Medir una altura determinada en los tanques de agua (Bajo-Alto)	Resolución	3	Eficiencia	40%	80%
		Precisión	2			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	1	Costo	0%	
Sensor Capacitivo (Ljc18a3 B Z B)	Medir una altura determinada en los tanques de agua (Bajo-Alto)	Resolución	3	Eficiencia	50%	75%
		Precisión	3			
		Exactitud	3			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	20%	
		Costo	2	Costo	5%	

Fuente: Elaboración propia

Ahora para la selección de actuadores los criterios definidos se dividieron en los siguientes subcriterios y se les asignó su respectivo valor:

- Eficiencia (50%)
 - Material (10%)
 - Potencia (20%)
 - Corriente (20%)
- Eficacia (40%)
 - Adaptabilidad
- Costo (10%)

A continuación, en las tablas 9, 10, 11 y 12 se puede observar la aplicación de la matriz de indicadores al catálogo de los actuadores:

Tabla 9. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de electroválvulas.

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
Electroválvula	Permitir o detener el flujo de agua	Material	1	Eficiencia	30%	40%
		Potencia	3			
		Corriente	2			
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	3	Costo	10%	
Electroválvula		Material	1	Eficiencia	40%	90%

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
	Permitir o detener el flujo de agua	Potencia	3			
		Corriente	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	3	Costo	10%	
Electroválvula	Permitir o detener el flujo de agua	Material	1	Eficiencia	40%	50%
		Potencia	3			
		Corriente	3			
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	3	Costo	10%	
Electroválvula	Permitir o detener el flujo de agua	Material	3	Eficiencia	50%	100%
		Potencia	3			
		Corriente	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%	
		Costo	3	Costo	10%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de motobombas.

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio
Motobomba	Trasladar liquido de un lugar a otro	Material	2	Eficiencia	45%
		Potencia	3		
		Corriente	3		
		Adaptabilidad	3	Eficacia	40%
		Costo	1	Costo	0%
Motobomba	Trasladar liquido de un lugar a otro	Material	2	Eficiencia	45%
		Potencia	3		
		Corriente	3		
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%
		Costo	1	Costo	0%
Motobomba	Trasladar liquido de un lugar a otro	Material	2	Eficiencia	45%
		Potencia	3		
		Corriente	3		
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%
		Costo	3	Costo	10%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de motores paso a paso.

Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
Motor Nema	Convierten una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares	Material	2	Eficiencia	5%	10%
		Potencia	1			
		Corriente	1			
		Adaptabilidad	1	Eficacia	0%	
		Costo	2	Costo	5%	
Motor Nema	Convierten una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares	Material	2	Eficiencia	45%	85%
		Potencia	3			
		Corriente	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	20%	
		Costo	3	Costo	20%	

Fuente: Elaboración propia.






Tabla 12. Matriz de indicadores aplicada al catálogo de resistencias.


Propuesta	Objetivo	Indicadores	Valor Indicador	Criterio	Valor Criterio	Total
Resistencia calefactora	Calentar el agua del reactor	Material	3	Eficiencia	60%	100%
		Potencia	3			
		Corriente	3			
		Adaptabilidad	3	Eficacia	20%	
		Costo	3	Costo	20%	
Resistencia calefactora	Calentar el agua del reactor	Material	2	Eficiencia	5%	30%
		Potencia	1			
		Corriente	1			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	5%	
		Costo	3	Costo	20%	
Resistencia calefactora	Calentar el agua del reactor	Material	2	Eficiencia	5%	30%
		Potencia	1			
		Corriente	1			
		Adaptabilidad	2	Eficacia	5%	
		Costo	3	Costo	20%	

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados anteriores en la tabla 13 se pueden observar los sensores seleccionados:

Tabla 13. Sensores seleccionados.



SENSOR SELECCIONADO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Sensor ultrasónico (3rg6013-3ad00)	Alcance: 0,2-1,3m Tensión de alimentación: 12-30V CC Clase de impermeabilidad: IP65 Material de carcasa: latón Corriente de trabajo máx.: 300mA	
Flotador	Contacto: NC Normalmente cerrado. Material: acero inoxidable Longitud del cable: 33 cm Carga máxima: 50 W Max Voltaje De Conmutación: 220 V DC Corriente máxima de Conmutación: 0.5 A Presión máxima: 10 kg/cm2 Temperatura de trabajo: -30 a + 80 C	
Sensor Óptico (E3JK-DS30M1)	Voltaje de alimentación: 12 - 24 VDC Distancia de detección: 30 cm Temperatura de trabajo: -25° C a 55°C Modo de actuación: Reflectivo	
Sensor Temperatura (OEM Rtd Pt100)	Material: acero inoxidable 201. Rango de temperatura de la imagen: 200 ~ 420 grados centígrados Diámetro del tubo: 8 mm Tipo de rosca: PT1/2"	
Caudalímetro	Tasa de flujo: 1~25 L/min Pulso de flujo $F = 11 * Q \pm 5\%$, $Q=L/min$ Voltaje de trabajo: DC 3V - 24V Corriente de trabajo: 15mA Presión de succión Max: 1.5Mpa Temperatura de trabajo - 40°C - 80 °C,	

SENSOR SELECCIONADO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Sensor Capacitivo (XKC-Y25-PNP/XKC-Y25-V/XKC-Y25-NPN)	Tensión de Alimentación: 5 a 24 VDC Corriente de Consumo: 5 mA Tensión de Salida en Alto: VCC Tensión de Salida en Bajo: 0 V Corriente de Salida Máxima: 50 mA Tiempo de Respuesta: 500 ms Temperatura de Funcionamiento: 0 a 105 °C Distancia de detección Máxima: 13 mm	

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados anteriores en la tabla 14 se pueden observar los actuadores seleccionados:

Tabla 14. Actuadores seleccionados.

ACTUADOR SELECCIONADO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Electroválvula	Cuerpo de la válvula: latón Tamaño de la rosca: G1/2 pulgadas Voltaje nominal: DC 24 V Corriente nominal: 220 mA Líquido: agua flujo de agua de 0.02 a 0.8MPa	
Motobomba	Voltaje (DC) 8 v a 24V Corriente (A) 1.4A/1.1A Potencia (W) 26,4 Cabezal máximo de agua (M) 7 Caudal máximo (L/H) 700/800 Temperatura media de uso 20 grados a 100 grados	

ACTUADOR SELECCIONADO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
	Medio de uso: agua, alcohol, Diesel. Vida útil 30000H	
Motor Nema	Motor paso a paso de 1.8 NM: está hecho de aluminio fundido a presión y acero inoxidable, que no se corroe ni se oxida fácilmente, y se puede utilizar durante mucho tiempo. El motor paso a paso 57 tiene un voltaje nominal de 24 V, soporta CC y CA, y tiene una gran practicidad.	
Resistencia calefactora	Tensión nominal 110v Frecuencia nominal 60hz Potencia 480 w Sumergible Calienta 1 litro de agua en 8 minutos aproximadamente.	
Agitador	Voltaje: 24VDC RPM: 80 Torque: 70Kg/cm Relación: 1:90 Corriente: 60mA Diámetro: 25mm Longitud del eje: 20.5mm Diámetro del eje: 6mm Peso neto: 93g	

Fuente: Elaboración propia

La elección de la fuente de alimentación externa del sistema es una decisión fundamental que puede influir significativamente en el rendimiento y la confiabilidad de todo el sistema. En este caso, la selección de la fuente se basó en una serie de consideraciones técnicas

y operativas específicas que se centran en la corriente y la capacidad de manejar los picos de corriente. Los aspectos fundamentales de esta elección son:

- Corriente Requerida: Cada componente en el sistema tiene un requisito de corriente específico para funcionar correctamente. La elección de una fuente de alimentación que sea capaz de suministrar la corriente necesaria es esencial para garantizar que todos los elementos del sistema funcionen sin problemas. Esto asegura que los componentes no experimenten caídas de voltaje que puedan afectar su rendimiento.
- Diversificación de la Carga: En el sistema que se plantea, es común que no todos los elementos funcionen al mismo tiempo. Esto lleva a una diversificación de la carga, esto quiere decir que la demanda de corriente varía a medida que diferentes componentes se activan o desactivan en momentos distintos

Por ello se eligió una fuente de corriente que cumpliera con los requerimientos mínimos del prototipo:

- Voltaje de entrada 110V
- Voltaje de salida 24V
- Una fuente que soporte los picos de corriente que se pueden presentar
- Se eligió que tuviera 20A de corriente aproximadamente el doble de la corriente total de cada etapa.

A continuación, se detallan algunos de los elementos adicionales necesarios para completar el proceso de producción modular, junto con sus respectivas características, como se muestra en la tabla 15:

Tabla 15. Elementos adicionales

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<p>Filtro</p>	<p>Filtro de carbón activado granular reduce el cloro, sabor y olor, mal sabor y olor, sedimentos y bacteriostáticos</p> <p>Cartucho de filtro de vida de hasta 250-gallons</p>	
<p>Banda transportadora</p>	<p>Material: acero inoxidable, Voltaje: 24V Ancho de la correa: 85mm, Ancho de la superficie de rodamiento: 100mm, Agujero de montaje ancho Distancia central: 110mm, Motor estándar: 30 rpm, Velocidad de la correa: 50mm/s, Carga: 3,5-5K</p>	
<p>Fuente de tensión</p>	<p>Voltaje de entrada: 110 V/220 V +/- 15% Potencia: 480W Salida: 24V - 20a</p>	

Fuente: Elaboración propia.

4.4 DISEÑO DEL MONTAJE

4.4.1 Requerimientos físicos y ergonómicos para el sistema de producción modular

Teniendo en cuenta la estructura de los bancos de laboratorio en el Centro Industrial de Mantenimiento Integral – SENA ubicado en Girón – Santander y en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones se determinó que el banco debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- La elección del tamaño y la altura de la mesa de trabajo se basa en consideraciones ergonómicas y de comodidad para los estudiantes. La propuesta de una superficie de 200 cm de largo x 100 cm de ancho y una altura de 85-110 cm, tiene como objetivo principal garantizar que los estudiantes puedan trabajar de manera eficiente y cómoda, evitando posturas que puedan causar molestias o problemas de salud a largo plazo. Esta atención a la ergonomía y la salud contribuye a un entorno de aprendizaje más efectivo y seguro
- La disposición adecuada de los instrumentos en el laboratorio, de manera que los estudiantes tengan acceso fácil y seguro para comprobar su funcionamiento, es esencial para promover un entorno de aprendizaje efectivo y seguro
- La adaptabilidad en el entorno de observación y programación de procesos es esencial para brindar una experiencia de aprendizaje efectiva y personalizada. Facilita la observación detallada, la programación precisa, la eficiencia y la creatividad, lo que a su vez contribuye al desarrollo de habilidades y competencias técnicas en estudiantes
- Ubicación estratégica de los instrumentos con el objetivo de evitar la necesidad de desmontar todo el sistema durante el mantenimiento es una estrategia de diseño que ahorra tiempo, reduce costos y mejora la eficiencia operativa. Además, se promueve una mayor confiabilidad operativa, ya que los problemas o defectos pueden abordarse de manera oportuna y eficaz.
- La seguridad de los estudiantes en el laboratorio es un aspecto crítico en cualquier institución educativa. Para lograr un entorno seguro de aprendizaje, es esencial que el diseño del laboratorio considere la estabilidad, los contornos suaves y la ausencia de aristas afiladas son fundamentales. Estas medidas ayudan a crear un

ambiente de trabajo seguro y cómodo para los estudiantes, reduciendo los riesgos de accidentes y lesiones

4.4.2 Materiales de construcción

Para construir el sistema se proponen tres materiales principales teniendo en cuenta que es fundamental asegurar calidad, durabilidad y seguridad de la estructura, los materiales son:

✓ Acrílico

Se propone la utilización de acrílico 100% transparente como material principal en la construcción de los siete tanques requeridos para este proyecto. Esta elección se basa en una serie de consideraciones clave que respaldan la superioridad del acrílico en comparación con el vidrio, así como su adecuación para los propósitos específicos de estos tanques.

En primer lugar, el acrílico se distingue por su resistencia. Es capaz de soportar tensiones y cargas significativas sin romperse ni astillarse, lo que es particularmente valioso en situaciones en las que los tanques pueden estar expuestos a situaciones de impacto. Esto es especialmente importante en el contexto de un laboratorio, donde la integridad estructural es fundamental para evitar fugas o daños.

Además de su resistencia, el acrílico también es notable por ser un material liviano en comparación con el vidrio. La construcción de tanques que serán instalados o manipulados en un entorno de laboratorio se beneficia enormemente de la ligereza del acrílico ya que también reduce la tensión en la estructura de soporte y las bases de los tanques. La maleabilidad del acrílico es otra ventaja clave. Este material puede ser moldeado en una variedad de formas y tamaños para adaptarse a las necesidades específicas de los tanques.

Un aspecto crucial que considerar es la seguridad. En situaciones en las que los tanques pueden estar expuestos a impactos o manipulaciones bruscas, el acrílico ofrece una ventaja significativa sobre el vidrio. En caso de ruptura, el vidrio puede fragmentarse en

piezas afiladas, lo que representa un riesgo potencial de lesiones para el personal o estudiantes que trabajan cerca de los tanques. El acrílico, en cambio, tiene menos probabilidades de romperse en fragmentos afilados, lo que mejora la seguridad general en el entorno de prácticas.

✓ Aluminio

La base del sistema se ha concebido cuidadosamente y se propone construirla utilizando perfiles de aluminio. Esta elección se basa en una serie de ventajas que este material ofrece para el propósito específico del proyecto. Los perfiles de aluminio son altamente adaptables entre sí, lo que facilita enormemente el proceso de montaje y desmontaje de los componentes. Esta versatilidad es fundamental, ya que permitirá la configuración y reconfiguración del sistema de manera sencilla, rápida y eficiente según sea necesario. Un aspecto clave en la elección del aluminio para la construcción de la base es su peso relativamente bajo en comparación con otros materiales como el acero.

Otra ventaja significativa del aluminio es su excelente durabilidad en condiciones ambientales variadas. A diferencia del acero, que puede corroerse y oxidarse con el tiempo, el aluminio es naturalmente resistente a la corrosión. Esta propiedad es esencial en situaciones donde el sistema puede estar expuesto a la humedad que podría dañar o deteriorar la estructura de la base.

Figura 9. Perfiles de aluminio estructurales.



Fuente: SISTEMAS ESTRUCTURALES. Perfil de aluminio estructural. [Fecha de consulta: 1 de octubre de 2023]. <https://perfilaluminioestructural.com/>.

✓ CPVC

La elección que se propone es la utilización de tuberías de CPVC (cloruro de polivinilo clorado), una elección respaldada por varias consideraciones clave que se alinean con los requisitos específicos de este proyecto.

Uno de los factores más influyentes en esta elección es la naturaleza del líquido con el que se trabajará en la etapa del reactor, el cual se encuentra a una temperatura elevada. El CPVC es conocido por su capacidad para resistir altas temperaturas sin deformarse, lo que lo hace especialmente adecuado para aplicaciones donde se manejarán líquidos calientes.

Además de su resistencia térmica, el CPVC se destaca por su disponibilidad en el mercado y la variedad de accesorios que ofrece. La facilidad de acceso a diferentes tipos de accesorios, como codos, ensambles y uniones tipo T, es esencial para la construcción eficiente y efectiva del sistema de tuberías.

4.4.3 Planos eléctricos y electrónicos.

Diseñar los planos eléctricos y electrónicos del sistema es una etapa crítica en el desarrollo de cualquier proyecto de automatización y control, como el sistema de producción modular que estamos abordando. Estos planos representan una hoja de ruta visual que guía la interconexión de todos los componentes, desde sensores y actuadores hasta el PLC y la fuente de alimentación.

Los planos eléctricos y electrónicos se crean con base en los requerimientos específicos del proyecto. Estos documentos aseguran que todos los componentes se conecten de acuerdo con las necesidades y especificaciones técnicas previamente definidas.

Una parte crucial de estos planos es la inclusión de protecciones eléctricas. Estas medidas se implementan para salvaguardar tanto el PLC como los componentes del sistema ante condiciones adversas, como sobrecargas eléctricas o cortocircuitos. La

seguridad es una prioridad para evitar daños a los equipos y posibles riesgos para las personas que operan el sistema.

Estos planos brindan orientación visual, respaldo técnico y una herramienta esencial para la implementación, y el mantenimiento del sistema. Estos se encuentran disponibles en el Anexo D.

5. MODELADO CAD

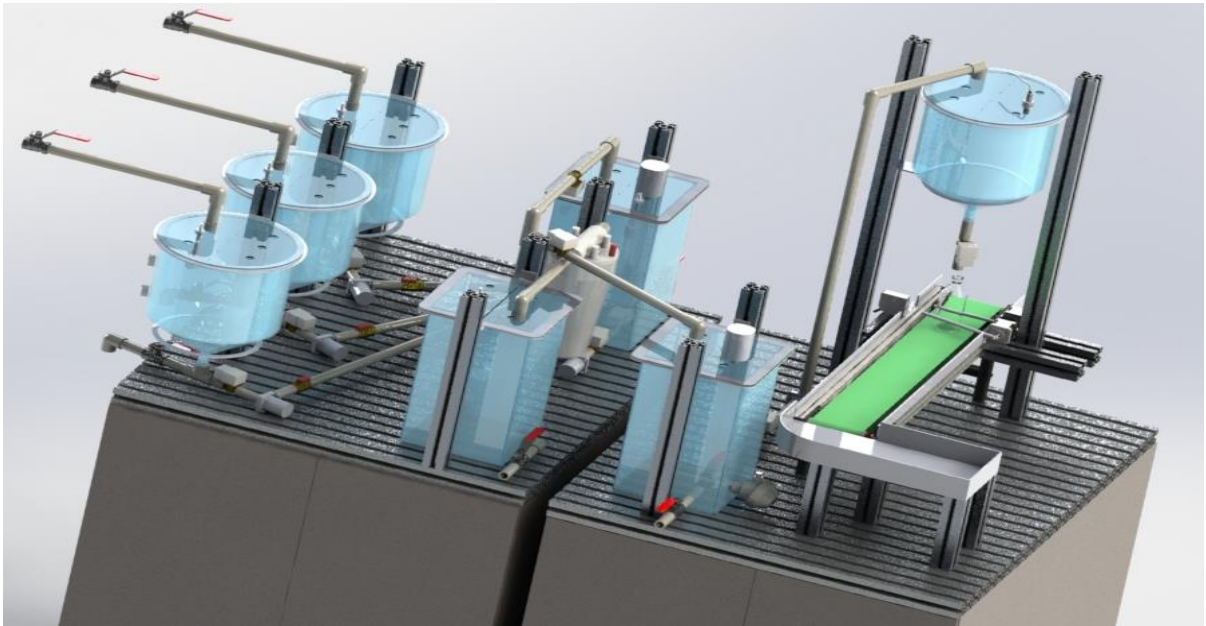
Una vez definidos todos los elementos clave del sistema, como los sensores, actuadores, componentes adicionales y la estructura física, se procedió a abordar la fase de diseño, teniendo en cuenta meticulosamente cada uno de los requerimientos previamente establecidos y los materiales seleccionados para asegurar que el diseño resultara lo más realista y funcional posible.

El diseño se llevó a cabo en un proceso organizado y estructurado que constó de dos etapas principales: la primera etapa se centró en la filtración y la mezcla, mientras que la segunda etapa se enfocó en el reactor y la distribución.

Para la realización del diseño, se optó por utilizar el software CAD SOLIDWORKS, una herramienta ampliamente reconocida y utilizada en ingeniería y diseño industrial. La obtención de la licencia de SOLIDWORKS a través de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander proporcionó acceso a una plataforma de diseño de alta calidad y precisión, lo que facilitó la creación de modelos detallados y realistas del sistema.

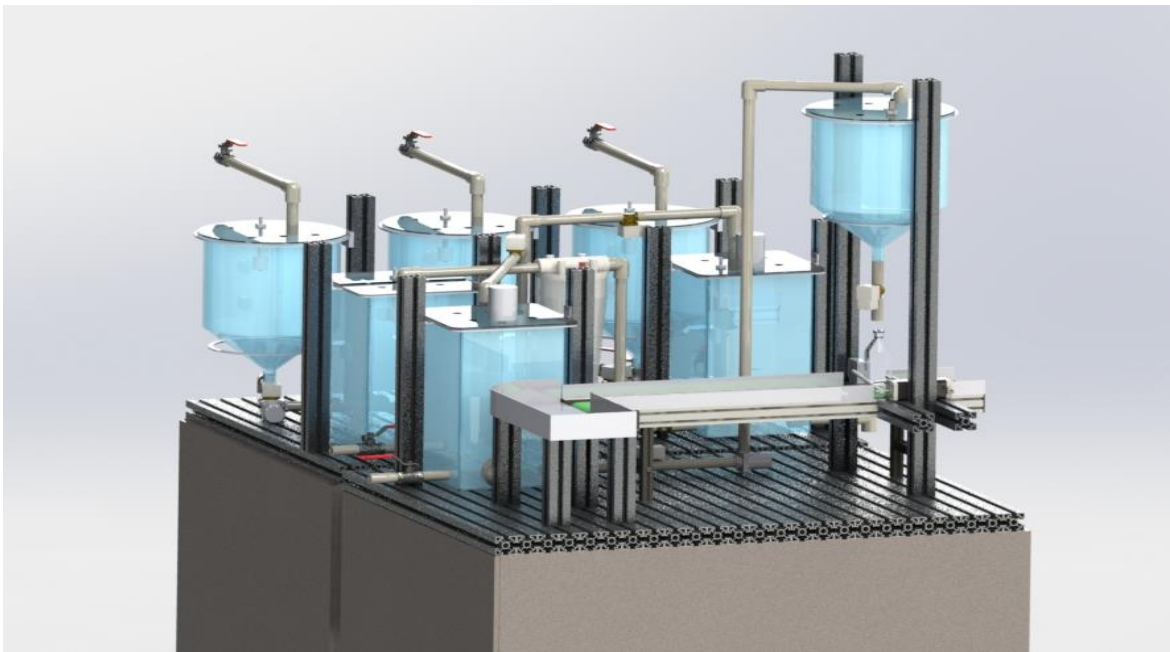
Las figuras 10, 11, 12 y 13 que se presentan a continuación, ofrecen una visión general del sistema desde diferentes perspectivas, lo que permite una comprensión visual más completa de cómo se estructura y cómo interactúan sus componentes.

Figura 10. Vista superior del diseño general estructura física.



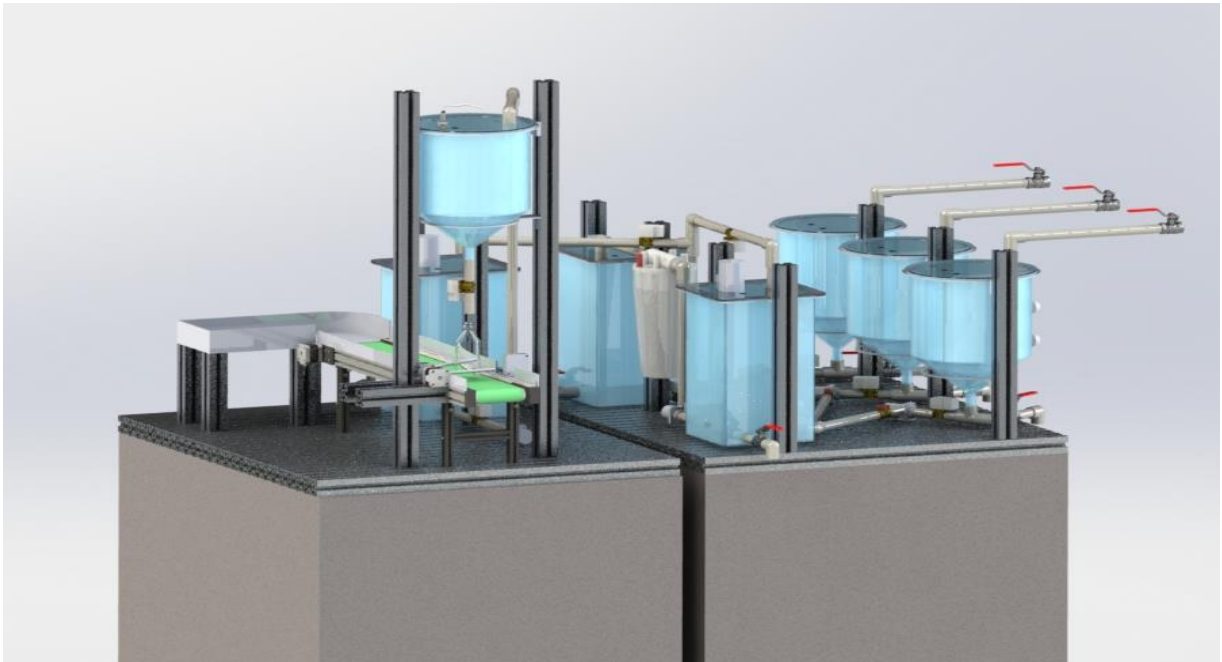
Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Vista lateral 1 del diseño general estructura física.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Vista posterior del diseño general estructura física.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Vista lateral 2 del diseño general estructura física.

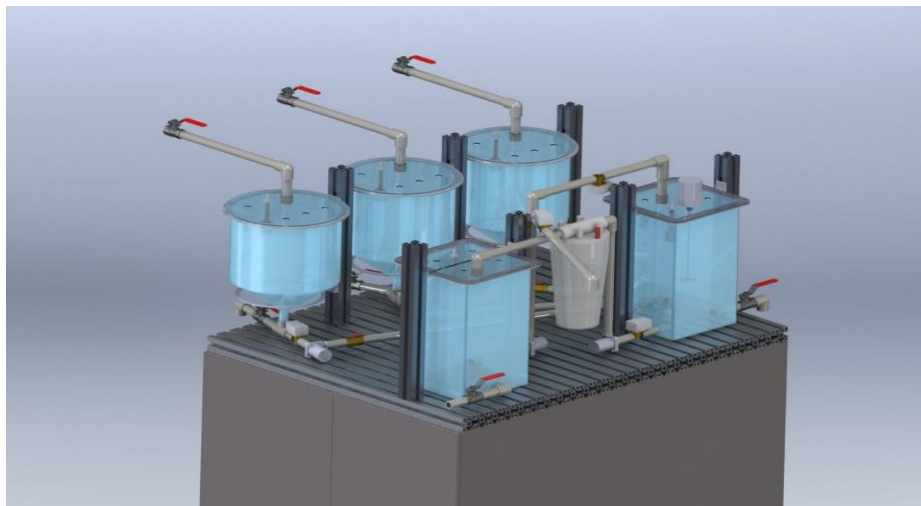


Fuente: Elaboración propia.

5.1 ETAPA 1: FILTRO-MEZCLA

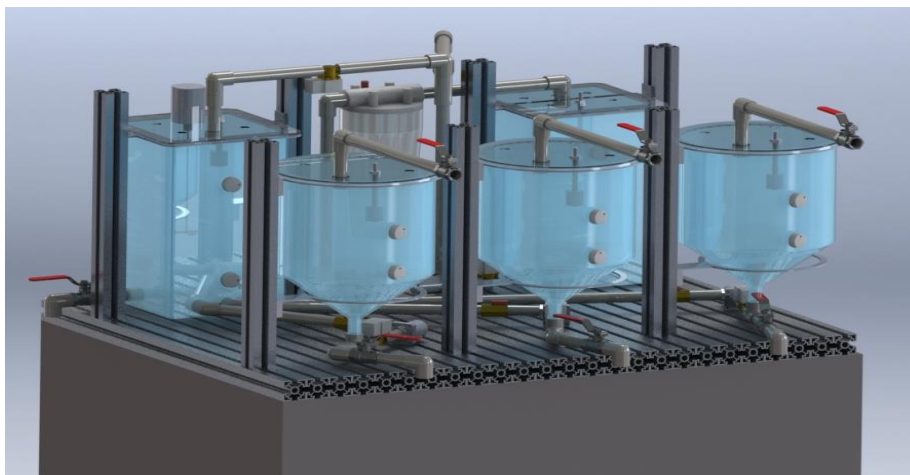
En las figuras 13 y 14, se presenta de forma detallada y visual del diseño de la etapa 1 del sistema en cuestión. Esta etapa, que se ha dividido y abordado de manera específica, es un componente clave en la secuencia de producción general del proceso de preparación y embotellado de líquidos.

Figura 14. Vista isométrica etapa 1: Filtración y mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Vista posterior etapa 1: Filtración y mezcla.

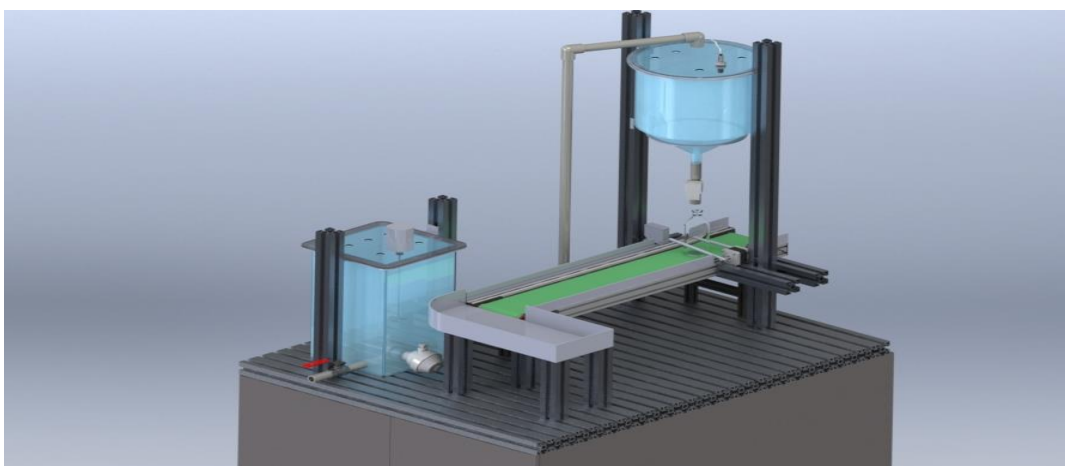


Fuente: Elaboración propia.

5.2 ETAPA 2: REACTOR-DISTRIBUCIÓN

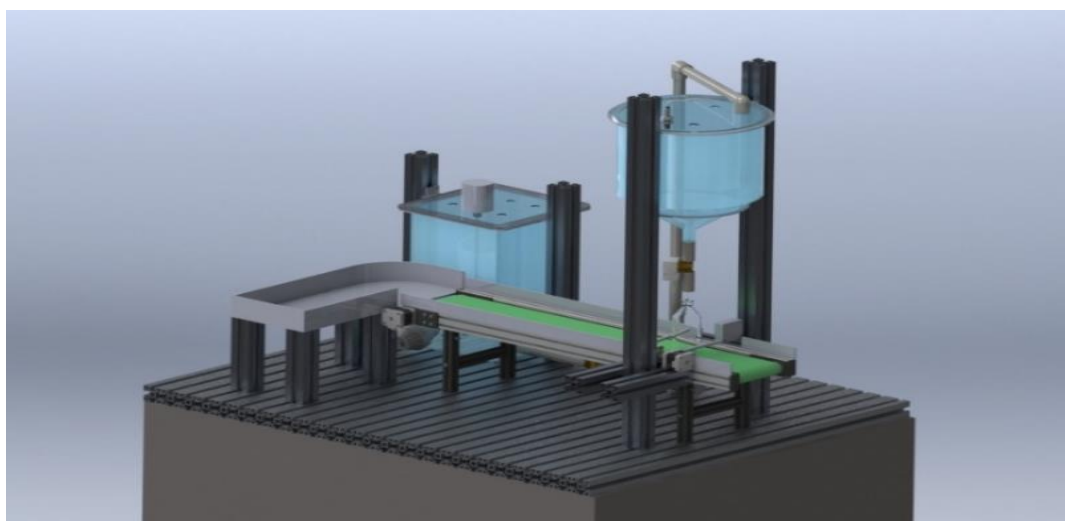
En las figuras 15 y 16, se presenta de forma detallada y visual del diseño de la etapa 2 del sistema en cuestión. Esta etapa, que se ha dividido y abordado de manera específica, es un componente clave en la secuencia de producción general del proceso de preparación y embotellado de líquidos.

Figura 16. Vista isométrica etapa 2: Reactor y distribución.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Vista posterior etapa 2: Reactor y distribución.



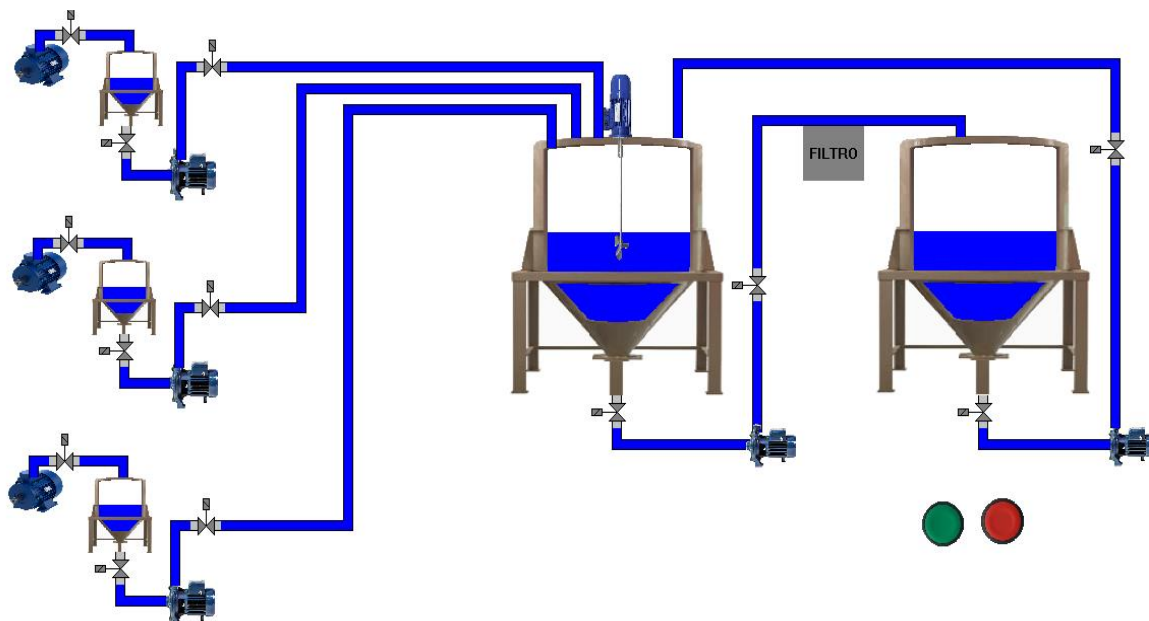
Fuente: Elaboración propia.

6.SIMULACIÓN

El proceso propuesto se simuló en los softwares libres PC-SIMU y CADE-SIMU pero estos software cuentan con diferentes limitaciones de diseño por ello el flujo del proceso tuvo algunas modificaciones con respecto al diseño realizado, pero en esencia el proceso propuesto es el mismo, a continuación en la figura 17 se puede observar el esquema de simulación la etapa 1 que corresponde a filtración mezcla y en la figura 18 se pueden observar el esquema de simulación de la etapa 2 que es reactor y distribución, adicionalmente en el Anexo C se encuentra un video en el cual se puede observar la simulación del funcionamiento de las etapas realizadas.

6.1 ETAPA 1: FILTRO-MEZCLA

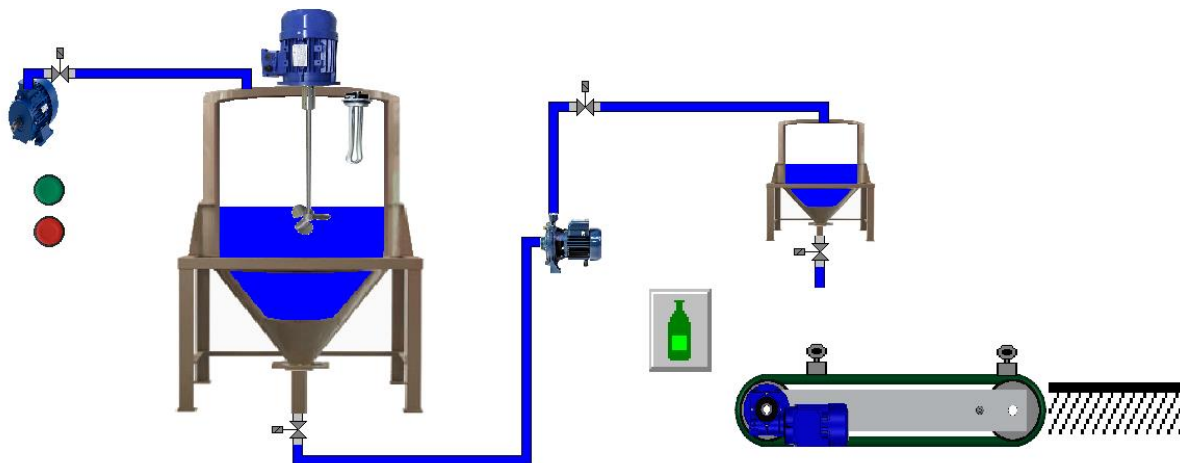
Figura 18. Esquema general para la simulación de la etapa de mezcla y filtración.



Fuente: Elaboración propia.

6.2 ETAPA 2: RECTOR-DISTRIBUCIÓN

Figura 19. Esquema general para la simulación de la etapa de mezcla y filtración.



Fuente: Elaboración propia

7.FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONOMICA

La construcción de la primera etapa del prototipo del sistema es un proceso crucial que implica la selección y adquisición de una serie de elementos y componentes específicos. Estos elementos son esenciales para garantizar el funcionamiento adecuado de la etapa de filtración y mezcla, que desempeña un papel fundamental en el proceso global de producción. A continuación, se detallan los elementos requeridos, tal como se especifica en la tabla 16:

Tabla 16. Elementos requeridos para la construcción de la etapa 1

Elementos	Cantidad	Costo
Mueble banco	1	850.000
Válvula esfera	8	160.000
Tanques y tapas pequeñas	3	300.000
Tanques y tapas grandes	2	550.000

Soportes tanques pequeños	3	100.000
Soportes tanques grandes	2	200.000
Flotador	3	120.000
Caudalímetro	3	190.000
Motobomba	5	815.000
Electroválvulas	7	480.000
Agitador	1	150.000
Sensor capacitivo de nivel	10	425.000
Filtro	1	303.900
Perfil de aluminio	30 m	650.000
Codo CPVC	4	7.600
T CPVC	4	10.400
Socket CPVC	4	12.000
Tubería CPVC	5 m	51.600
Fuente de 24V	1	230.000
TOTAL		5.620.000

Fuente: Elaboración propia

La tabla 17 proporciona un listado detallado de los elementos necesarios para la construcción de la segunda etapa del sistema. Esta etapa es igualmente fundamental y desempeña un papel crucial en el proceso de producción modular. La elaboración de esta lista de elementos es un paso esencial en la planificación y ejecución del proyecto, ya que proporciona una guía clara sobre los componentes requeridos y sus características específicas.

Tabla 17. Elementos requeridos para la construcción de la etapa 2.

Elementos	Cantidad	Costo
Mueble de banco	1	850.000
Perfil de aluminio	30 m	650.000

Banda transportadora	1	260.000
Tanque pequeño y tapa	1	100.000
Tanque grande y tapa	1	270.000
Sensor ultrasónico	1	942.000
Sensor óptico	2	53.0000
Sensores capacitivos	2	85.000
Motor paso a paso	2	143.000
Agitador	1	150.000
Resistencia	1	30.000
Electroválvulas	2	160.000
Motobomba	1	163.000
Flotador	2	80.000
Válvulas esfera	3	60.000
Codos CPVC	2	3800
Tubería CPVC	4m	43.000
Sockets CPVC	4	12.000
Fuente de 24V	1	230.000
TOTAL		4.293.000

Fuente: Elaboración propia

La información proporcionada en las tablas 16 y 17 es de gran relevancia, ya que no solo detalla los elementos necesarios para la construcción cada una de las etapas del sistema, sino que también ofrece una visión clara de los costos asociados a cada uno de estos elementos y el precio total estimado. Esta evaluación económica es un aspecto fundamental por considerar en cualquier proyecto de ingeniería y tiene un impacto significativo en la viabilidad y factibilidad del proyecto en su conjunto.

En primer lugar, la observación de que el costo total es bastante económico es un hallazgo positivo que presenta varias ventajas importantes. Estas ventajas son dignas de resaltar:

- **Accesibilidad Financiera:** Al ser un proyecto con un costo total económico, se vuelve más accesible para instituciones educativas, laboratorios de investigación o empresas que deseen implementar este sistema de producción modular. Esto significa que un mayor número de personas o entidades pueden considerar la inversión en este proyecto sin comprometer significativamente sus recursos financieros.
- **Facilita la Implementación:** Un costo total económico facilita la toma de decisiones para la implementación del proyecto. Esto puede acelerar el proceso de obtención de los fondos necesarios y la ejecución del proyecto en sí, lo que es especialmente relevante en entornos educativos o de investigación donde se busca optimizar los recursos disponibles.
- **Amplio Potencial de Uso:** La economía en la construcción del sistema abre la puerta a su implementación en una variedad de contextos y aplicaciones. Puede ser utilizado en entornos educativos para la formación de estudiantes, en la investigación y desarrollo de procesos, o incluso en la capacitación y entrenamiento de profesionales en la industria.

Es importante destacar que la asequibilidad no debe interpretarse como una reducción en la calidad o el rendimiento del sistema. Por el contrario, la optimización de costos debe lograrse sin comprometer la funcionalidad, la seguridad y la efectividad del sistema por lo cual el prototipo propuesto puede estar sujeto a cambios lo cual podría elevar su costo de construcción.

8. CONCLUSIONES

Se diseñó un prototipo de un sistema de producción modular de embotellado y distribución de líquidos para el cual se seleccionaron sensores y actuadores por medio de una matriz de indicadores la cual permitió identificar los componentes más adecuados para el sistema en función de criterios fundamentales como precisión, costo, confiabilidad y eficiencia.

Se desarrolló una simulación que muestra de forma general el proceso a realizar en cada una de las etapas, teniendo en cuenta que este sistema es diseñado para un laboratorio se deben programar y controlar las tareas dentro del sistema. Esto significa que los estudiantes tienen la flexibilidad de diseñar y ajustar el proceso de acuerdo con sus objetivos específicos, siempre y cuando cumplan con ciertos requisitos básicos.

Se realizó un manual de uso y ensamble del sistema que proporciona una guía detallada y comprensible sobre cómo ensamblar el sistema de producción modular diseñado. Además, se diseñaron los planos eléctricos que son una guía detallada sobre cómo conectar cada componente del sistema. Esto es esencial para garantizar que las conexiones se realicen de manera precisa y segura.

Se realizó un análisis comparativo donde se obtuvo que la fabricación de este sistema de producción modular de embotellado y de líquidos ofrecen grandes beneficios económicos, esto lo hace más accesible y rentable para los laboratorios de automatización de procesos, instrumentación y control de la Escuela de Ingeniería eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, pero es importante tener en cuenta que esta es la primera versión del prototipo por lo cual puede estar sujeto a cambios a la hora de su implementación.

Este proyecto nos permitió aplicar y profundizar en los conocimientos teóricos que hemos adquirido durante nuestra formación académica. Hemos tenido que enfrentarnos a

desafíos técnicos y resolver problemas complejos, lo que nos ha obligado a poner en práctica conceptos y principios que habíamos estudiado en el aula. Esta aplicación práctica de la teoría ha fortalecido nuestra comprensión de los fundamentos de la ingeniería electrónica y nos ha dado una mayor confianza en nuestra capacidad para abordar problemas del mundo real.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de limitadores de corriente en motobombas y agitadores ya que como es un entorno educativo, la seguridad de los estudiantes y la eficacia de la enseñanza son esenciales al trabajar con equipos industriales. La incorporación de limitadores de corriente ofrece protección al equipo, garantiza la seguridad de los estudiantes y permite una enseñanza más efectiva. Se recomienda su uso (reemplazando los fusibles) para cumplir con las normativas de seguridad, reducir costos de mantenimiento y preparar a los estudiantes para futuras prácticas.
- Para mejorar la eficiencia y adaptabilidad en la estación de reactor-distribución, se recomienda la implementación de válvulas proporcionales en el proceso de llenado de botellas. Estas válvulas ofrecen beneficios clave, como precisión en el llenado, adaptabilidad a diferentes tipos de botellas, reducción de desperdicio, control de calidad mejorado y ahorro energético. Esta estrategia mejoraría la calidad del producto y la eficiencia operativa, lo que resulta en beneficios medibles tanto en términos de calidad como de costos a largo plazo.
- Se recomienda la utilización de manómetros para medir la diferencia de presión en el filtro de la estación “mezcla-filtración”. Esto proporciona ventajas clave, como la capacidad de determinar cuándo es necesario reemplazar o limpiar el filtro,

optimizar el rendimiento del sistema de filtración, ahorrar costos a largo plazo y facilitar el mantenimiento preventivo. Esta práctica garantiza una gestión efectiva de los filtros, mejora la calidad del proceso y reduce los gastos operativos en el tiempo.

- Se recomienda la integración de etapas complementarias al proceso de sistemas de manufactura flexible. Esto proporciona a los estudiantes una experiencia más realista y completa de los procesos industriales, amplía su conocimiento, desarrolla habilidades multidisciplinarias, los prepara para desafíos del mundo real y les brinda una comprensión integral del ciclo de vida del producto. Esta práctica mejora la preparación de los estudiantes de ingeniería electrónica en la industria y la gestión de sistemas, enriqueciendo su experiencia de aprendizaje. Por lo tanto, se recomiendan estaciones que realicen labores faltantes como almacenamiento, etiquetado, tapadora, entre otras.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN NATIONAL STANDARD. Instrumentation Symbols and Identification, ANSI/ISA-5.1-2009. [en línea]. USA, Standards Department 2009.

ACRILICO Y POLICARBONATO. [Sitio Web]. Propiedades del acrílico.[Consulta 12 agosto 2023]. Disponible en: <http://www.acrilico-y-policarbonato.com/acrilico-propiedades.html>.

CAMACHO, Daniel. Instalación y puesta en marcha de un sensor de flujo industrial SIEMENS en el laboratorio de control e instrumentación de la E3T-UIS. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, 2019. [Consultado el 25 de mayo de 2022].

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 30. (28, diciembre, 1992). Por lo cual se organiza el servicio público de la educación superior. En: Min ciencias. Diciembre, 1992.

CORZAN. [Sitio web]. México. ¿Qué es el policloruro de vinilo clorado? (CPVC). [Consulta 10 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.corzan.com/es-mx/que-es-el-policloruro-de-vinilo-clorado>.

CRUZ, Jessy. Propuesta de implementación de un sistema de producción modular a una empresa de confección de prensas para lograr su optimización de procesos. Trabajo de grado. Universidad Católica de Santa María. 2016 [Consultado 10 de mayo 2023]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/198127369.pdf>.

SISTEMA UNIVERSITARIO ESTATAL. Desfinanciamiento de la educación superior en Colombia. Pereira, 2012. [Consulta: 18 de agosto 2022]. Disponible en: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-341914_arc.

ELECTROEQUIPOS SOLUCIONES TECNOLOGICAS. [Sitio web]. Bogotá. Casos de éxito- Universidad Militar Nueva Granada. [Consulta 18 de Julio 2022]. Disponible en: <https://electroequipos.com/casos-de-exito-universidad-militar-nueva-granada/>.

E3T. [Sitio Web]. Bucaramanga. Reseña Histórica, 2018. [Consulta 18 de junio de 2022]. Disponible en: <http://e3t.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp?IdServicio=S86>.

ICONTEC. Código eléctrico colombiano, NTC 2020, [en línea]. Bogotá D.C. :Carvajal 2020.

INGENIERIA MECAFENIX. [Sitio web]. ¿Qué es un sensor ultrasónico y cómo funciona? [Consulta 10 de abril 2023]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/ultrasonico/>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de trabajos académicos. NTC 1486. Bogotá D.C. El Instituto, 2022. 84p.

KEYENCE. [Sitio web]. ¿Qué es un sensor fotoeléctrico? [Consulta 10 de abril 2023]. Disponible en: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/photoelectric/info/>.

MECATRONICA LATAM. [Sitio web]. Motor paso a paso. 2021. [Consulta 7 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de-corriente-continua/motor-paso-a-paso/>.

MORENO, Sergio y PINILLA, Sergio. Adecuación y caracterización experimental para un prototipo de laboratorio que realiza control de velocidad en una máquina de inducción. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, 2019. [Consulta 25 de mayo de 2022]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/>.

MUÑOZ, Sergio; GUARIN, Diego y SARMIENTO, George. Instrumentación y control de velocidad para un motor de corriente alterna en el laboratorio de control e instrumentación de la E3T-UIS. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, 2013. [Consulta 25 de mayo de 2023].

OFIPRIX. [Sitio web]. La mejor ergonomía en puesto de trabajo de pie. [Consultad 20 de julio 2023]. Disponible en: <https://www.ofiprix.com/blog/ergonomia-en-el-puesto-de-trabajo-de-pie/#:~:text=Lo%20ideal%20cuando%20se%20trabaja,un%20aspecto%20vital%20e%20importante.>

RECHNER SENSORS. [Sitio web]. Sensor capacitivo: Controles de presencia y mediciones de distancia en espacios reducidos. 2023. [Consulta el 20 de mayo 2023]. Disponible en: <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/sensor-capacitivo>.

REYES GONZÁLEZ, Oscar. Un Sistema de producción modular basado en conceptos de manufactura de clase mundial. Trabajo de grado. Universidad de Sonora. [Consultado 7 junio 2023]. Disponible en: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=8827>.

SERRANO, Camila y GOMEZ, Jhon. Diseño e implementación de 5 prácticas de laboratorio en la asignatura de automatización de procesos por medio del sistema de simulación de fábrica de Fischertechnik. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, 2017. [Consultado el 25 de mayo de 2022].

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN PARA LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN COLOMBIA. [Sitio Web]. Bogotá. Consulta de instituciones [Consulta 12 de junio 2022]. Disponible en: <https://hecaa.mineducacion.gov.co/consultaspublicas/ies>.

SOLER ORTEGA, A. Proyecto de automatización de una planta embotelladora con autómata Schneider M241. Trabajo de grado. Universidad Politécnica de Valencia. 2019 [Consultado 3 agosto 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/123526>.

VALLEJO, Horacio. PLC Los controladores lógicos programables. [en línea]. [Consulta 15 julio 2023]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/http://todopic.com.ar/utiles/plc.pdf>.

ANEXOS

Los anexos están adjuntos y puede visualizarlos en la carpeta asignada por medio del código QR.

Anexo A. Catálogo

Anexo B. Modelado CAD

Anexo C. Simulación

Anexo D. Planos eléctricos

Anexo E. Manual de uso y ensamble



ENLACE ANEXOS.