



Mejora del Sistema Eléctrico y de Control del Banco
de Pruebas de la Planta de Presión de la Corporación
Universitaria Autónoma del Cauca

Autor

Angie Tatiana Meneses Nupán
Keilly Tatiana Vidal Narváez

Titulo a optar:

Ingeniera Electrónica

Universidad Autónoma del Cauca
Facultad De Ingeniería
Ingeniería Electrónica
Popayán, Cauca, Colombia
Mayo del 2026



Mejora del Sistema Eléctrico y de Control del Banco de Pruebas de la Planta de Presión de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Autor

Angie Tatiana Meneses Nupán

Keilly Tatiana Vidal Narváez

Titulo a optar:

Ingeniera Electrónica

Tutor

Juan Pablo Arango Dorado

Ingeniero en Automática industrial

Universidad Autónoma del Cauca

Facultad De Ingeniería

Ingeniería Electrónica

Popayán, Cauca, Colombia

Mayo del 2026

Dedicatorias

Dedico este trabajo principalmente a mi madre, Dora Neyi Nupan, quien es mi mayor inspiración y la razón que me impulsa a seguir adelante. Todo lo que he logrado hasta hoy tiene su esencia, porque en cada paso ha estado presente con su ejemplo, su fortaleza y su forma de enseñarme a nunca rendirme. Este logro no es solo mío, sino el reflejo de todo lo que ella ha sembrado en mí a lo largo de los años.

A mi tío, Duván Andrés Meneses, a quien también quiero enorgullecer con este logro. Más que un apoyo, ha sido una persona importante en mi proceso, y con este trabajo quiero demostrarle lo mucho que valoro todo lo que representa para mí.

A mi hermano, Edwin Santiago Meneses, quien es una de mis mayores razones para seguir creciendo. En él encuentro una motivación diaria para ser mejor y demostrarle, con hechos, que el esfuerzo vale la pena y que los sueños sí se pueden cumplir cuando uno no se rinde.

A mi padre, Ulver Manrique Meneses, quien hoy no está conmigo, pero vive en cada paso que doy. Sé que, donde esté, se sentiría orgulloso de este logro y de la persona en la que me he convertido. Su recuerdo ha sido una guía constante en mi vida, y los valores que me inculcó desde niña, siguen marcando mi camino. Aunque su ausencia se siente, su presencia permanece en mí, acompañándome en cada meta alcanzada.

Angie Tatiana Meneses Nupán.

Dedicatorias

Dedico este trabajo, a mis padres, quienes me han dado su apoyo incondicional durante todo este proceso, quienes siempre me han guiado y han deseado lo mejor para mi y quienes han hecho hasta lo imposible para ver este sueño cumplirse.

A mi hermano, quien siempre ha estado a mi lado, apoyándome desde el inicio hasta el final de mi carrera, y quien siempre ha estado al pendiente de mi. Mi pilar y mi máximo apoyo en todo momento. Finalmente se logró.

Keilly Tatiana Vidal Narváez.

Agradecimientos

A Dios por estar presente en mi vida, por darme la fuerza y la sabiduría necesarias para seguir adelante en este proceso. Por sostenerme en los momentos más difíciles y darme claridad cuando sentía que estaba a punto de rendirme, permitiéndome continuar hasta alcanzar este logro.

A mi madre, Dora Neyi Nupan, por su cariño y respeto, por todo el esfuerzo y la dedicación que ha puesto por sacarme adelante. Sé que no ha sido fácil y que le ha tocado enfrentar muchas cosas, pero aun así siempre ha estado a mi lado, acompañándome en los momentos difíciles y dándome fuerzas para no rendirme. Su apoyo fue clave para que pudiera continuar y culminar mis estudios, y valoro profundamente todo lo que ha hecho por mí.

A mi tío, Duván Andrés Meneses, por sus palabras de motivación y el cariño que siempre me ha brindado. Por confiar en mí y acompañarme, especialmente en uno de los momentos más difíciles de mi vida. Su apoyo y su forma de estar presente significaron mucho para mí, llegando a convertirse en un respaldo tan importante como el de un padre.

A mi director de grado, Juan Pablo Arango, por el tiempo que nos dedicó a lo largo de este proceso y por la paciencia con la que supo guiarnos en cada etapa. Sus enseñanzas no solo aportaron al desarrollo de este trabajo, sino que también dejaron un aprendizaje valioso que llevaremos más allá de lo académico. Su forma de orientar y compartir sus conocimientos hizo de este camino una experiencia significativa.

A mi compañera de grado, Keilly Tatiana Vidal, por la dedicación y el compromiso con los que asumió este proyecto, los cuales fueron fundamentales para llevar a cabo su desarrollo. Más allá de lo académico, valoró su respeto, su apoyo y el cariño que siempre me brindó durante este proceso. Con el tiempo, se ha convertido en una persona muy especial en mi vida, y me llevó no solo este logro, sino también su amistad.

Por último a la Universidad Autónoma del Cauca, por brindarme los conocimientos y las herramientas necesarias para mi formación profesional.

Angie Tatiana Meneses Nupán.

Agradecimientos

Mis mayores agradecimientos a mis padres, quienes siempre estuvieron ahí, acompañándome hasta el final de manera incondicional y patrocinando cada uno de mis proyectos. A quienes disfruté mostrarles cada trabajo con orgullo, les agradezco su tiempo, su enseñanza, su paciencia y todo su esfuerzo.

Agradezco a mi hermano y a mi prima Daniela, quienes siempre me apoyaron, me hicieron reír en mis momentos más desesperados y nunca dejaron de confiar en mí.

Con su apoyo, todo se volvía menos agobiante y mucho más llevadero.

A mis compañeros de clase, a quienes aprecio como hermanos, por todas las risas, trasnochos, trabajos y frustraciones compartidas, haberlos conocido y habernos formado como ingenieros juntos fue el mejor regalo y la mejor experiencia. Mis mayores deseos para cada uno de ellos en su futuro.

A todos los profesores que estuvieron en nuestro camino, a aquellos que ya no ejercen en la universidad y aquellos que aún están con nosotros a través de los años, les agradezco por sus enseñanzas, por su paciencia y por su exigencia, quienes formaron ingenieros con cada trabajo y proyecto dejado.

Especial agradecimiento a nuestro director de trabajo de grado, el profesor Juan Pablo Arango Dorado, quien nos ha compartido de su tiempo y conocimiento a través de este trabajo, quien nos colaboró en todo momento y siempre estuvo disponible para cualquier duda o pregunta, una persona muy especial que llegó justo en el momento más necesitado.

Finalmente, pero no menos importante, todo mi agradecimiento y aprecio a mi compañera de estudio, Angie Tatiana Meneses Nupán, quien estuvo conmigo desde el principio de la carrera y con quien orgullosamente termino este proceso, le agradezco por toda su paciencia y su nobleza. Ella quien siempre me daba la mano y me impulsaba a seguir adelante, a quien agradezco haber conocido y a quien admiro mucho. Gracias.

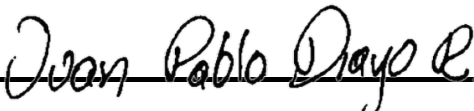
Keilly Tatiana Vidal Narváez.

Nota de aceptación

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca para optar al título de Ingeniera Electrónica.



Juan Pablo Arango Dorado
Director



Juan Pablo Diago Rodríguez
Jurado 1



Iván Daniel Ortiz Velasco
Jurado 2

Popayán, Junio 2026

Índice

	Página
Resumen	1
Abstract	1
Introducción	3
1. Capítulo 1 Planteamiento del Problema	5
1.1. Planteamiento del Problema	5
1.2. Problemática Identificada	5
1.3. Justificación	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	6
1.4.2. <i>Objetivo Específicos</i>	7
1.5. Enfoque Metodológico	7
2. Capítulo 2 Estado del arte	10
3. Capítulo 3 Marco Teórico	14
3.1. Automatización	14
3.2. Control de procesos	27
3.3. Normativa RETIE	28
3.4. Normativa ISA-95	29
3.5. Elementos de automatización de la planta	29
3.5.1. <i>Materiales existentes:</i>	29
3.5.2. <i>Materiales adicionados:</i>	32
4. Capítulo 4 Implementación de la solución	36
4.1. Levantamiento de información	36
4.2. Actividades realizadas	43
4.2.1. <i>Modernización del Tablero</i>	43
4.2.2. <i>Implementación del Etiquetado</i>	45
4.2.3. <i>Implementación de los Materiales Nuevos</i>	51
4.2.4. <i>Implementación de Soportes 3D</i>	57
4.3. Pruebas y funcionamiento	60
4.3.1. <i>Verificación de Alimentación Eléctrica</i>	61
4.3.2. <i>Activación del Modo Manual y Automático</i>	63
4.3.3. <i>Integración del PLC y Conexiones</i>	68
4.3.4. <i>Respuesta del Sistema</i>	75

5. Capitulo 5 Resultados	80
5.1. Distribución final del tablero	80
5.2. Distribución final de la planta	83
5.3. Distribución eléctrica final de la planta	86
6. Capitulo 6 Conclusiones y Trabajos Futuros	89
6.1. Conclusiones	89
6.2. Trabajos Futuros	90
Referencias	97
A. Manejo de Anexos	98
A.1. Anexo A - Plano eléctrico	99
A.2. Anexo B - Diagrama P&ID	100
A.3. Anexo C - Diagrama PFD	101
A.4. Anexo D - Código de programación para PLC	102
A.5. Anexo D - Código de programación para PLC	103
A.6. Anexo D - Código de programación para PLC	104
A.7. Anexo E - Variables del código de programación para PLC	105

Índice de figuras

1.	Metodología en cascada. Fuente: Propia.	7
2.	Fases del proyecto. Fuente: Propia.	8
3.	Cronograma de tiempo de las fases. Fuente: Propia.	9
4.	Fuente de voltaje 24V DC. Fuente: Propia.	16
5.	Breaker termomagnético. Fuente: Propia.	17
6.	Compresor de aire de la planta de presión. Fuente: Propia.	18
7.	Tanque de compresión de aire. Fuente: Propia.	18
8.	Filtro regulador de aire con trampilla de agua. Fuente: Propia.	19
9.	Manómetro. Fuente: Propia.	20
10.	Sensor de presión Hyxc-pex. Fuente: Propia.	21
11.	Regulador electroneumático SMC ITV1050-31N4 1000 Tamaño EP. Fuente: Propia.	22
12.	Contactor. Fuente: Propia.	23
13.	Electroválvula. Fuente: Propia.	24
14.	Válvula manual. Fuente: Propia.	24
15.	Piloto LED luminoso verde. Fuente: Propia.	25
16.	Pulsador metálico rojo. Fuente: Propia.	26
17.	Selector de estados metálico. Fuente: Propia.	26
18.	Botón de parada de emergencia tipo hongo. Fuente: Propia.	27
19.	PLC modicon process M340. Fuente: Propia.	28
20.	Regleta plástica. Fuente: Propia.	37
21.	Cableado expuesto en la canaleta. Fuente: Propia.	37
22.	Cableado expuesto en la canaleta. Fuente: Propia.	38
23.	Cableado enmarañado y expuesto. Fuente: Propia.	38
24.	Controlador lógico programable (PLC). Fuente: Propia.	39
25.	Sensor de presión Hyxc-pex. Fuente: Propia.	39
26.	Tablero de mando superior. Fuente: Propia.	40
27.	Tablero de mando inferior. Fuente: Propia.	41
28.	Tablero de mando inferior parte trasera. Fuente: Propia.	41
29.	Tableros completos. Fuente: Propia.	42
30.	Planta de presión antigua. Fuente: Propia.	43
31.	Tablero de acrílico nuevo. Fuente: Propia.	44
32.	Cableado nuevo. Fuente: Propia.	45
33.	Etiquetado Anterior. Fuente: Propia.	46
34.	Etiquetado Anterior. Fuente: Propia.	46
35.	Etiquetado Nuevo. Fuente: Propia.	47
36.	Etiquetado Nuevo. Fuente: Propia.	47
37.	Etiquetado nuevo. Fuente: Propia.	48
38.	Anteriores etiquetas del banco de pruebas. Fuente: Propia.	49
39.	Medidas de las nuevas etiquetas del banco de pruebas. Fuente: Propia.	49
40.	Diseño de las nuevas etiquetas del banco de pruebas. Fuente: Propia.	50

41.	Resultado final de las etiquetas. Fuente: Propia.	50
42.	Resultado final de las etiquetas. Fuente: Propia.	51
43.	Punto de observación resistencia shunt. Fuente: Propia.	52
44.	Canaletas nuevas. Fuente: Propia.	52
45.	Borneras. Fuente: Propia.	53
46.	Tablero de acrílico nuevo parte superior. Fuente: Propia.	54
47.	Contactador 110V 60Hz. Fuente: Propia.	55
48.	Minibreaker monofásico 20AMP. Fuente: Propia.	56
49.	Instalación de materiales. Fuente: Propia.	57
50.	Instalación de materiales. Fuente: Propia.	57
51.	Soporte metálico anterior. Fuente: Propia.	58
52.	Diseño del nuevo soporte 3D. Fuente: Propia.	58
53.	Nuevo soporte 3D montado en el manómetro. Fuente: Propia.	59
54.	Soporte 3D para las válvulas. Fuente: Propia.	59
55.	Soporte 3D para válvulas impreso. Fuente: Propia.	60
56.	Soporte 3D montado en las válvulas. Fuente: Propia.	60
57.	Alimentacion 110V AC.Fuente: Propia.	61
58.	Alimentacion 24V DC.Fuente: Propia.	62
59.	Activación de dispositivos. Fuente: Propia.	63
60.	Activación del modo manual. Fuente: Propia.	64
61.	Activación de la electroválvula CV 001. Fuente: Propia.	65
62.	Activación de la electroválvula CV 002. Fuente: Propia.	66
63.	Activación del modo automático. Fuente: Propia.	67
64.	Activación del sistema en modo automático. Fuente: Propia.	68
65.	Conexión para la activación del contactor. Fuente: Propia.	69
66.	Conexión para la válvula CV02. Fuente: Propia.	70
67.	Conexión para la válvula CV01. Fuente: Propia.	70
68.	Activación del sistema completo. Fuente: Propia.	71
69.	Conexión del contactor con el PLC. Fuente: Propia.	72
70.	Conexión de las válvulas con el PLC. Fuente: Propia.	73
71.	Conexión de la válvula servo y transmisor con el PLC. Fuente: Propia.	74
72.	Conexión real entradas a las borneras. Fuente: Propia.	74
73.	Conexión completa de la planta al PLC. Fuente: Propia.	75
74.	Sistema conectado funcionando en testeos. Fuente: Propia.	76
75.	Sistema conectado funcionando en testeos. Fuente: Propia.	76
76.	Gráfica de llenado del tanque. Fuente: Propia.	77
77.	Gráfica de vaciado de control por máximo valor. Fuente: Propia.	77
78.	Gráfica de respuesta al disturbio. Fuente: Propia.	78
79.	Gráfica de respuesta de la válvula servo. Fuente: Propia.	78
80.	Gráfica de respuesta de la válvula servo. Fuente: Propia.	79
81.	Tablero superior inicial de la planta. Fuente: Propia.	80
82.	Nuevo tablero superior de la planta. Fuente: Propia.	81
83.	Tablero inferior inicial de la planta. Fuente: Propia.	82

84.	Nuevo tablero inferior de la planta. Fuente: Propia.	83
85.	Planta de presión antes. Fuente: Propia.	84
86.	Planta de presión después. Fuente: Propia.	84
87.	Diagrama de flujo de materia prima. Fuente: Propia.	85
88.	Diagrama de tuberías e ingeniería (P&ID). Fuente: Propia.	86
89.	Diagrama de conexiones eléctricas. Fuente: Propia.	88

Resumen

El presente trabajo se enfoca en la recuperación y mejora del banco de pruebas de la planta de presión ubicada en los laboratorios de ingeniería de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, el cual se encontraba fuera de operación debido al deterioro de su sistema eléctrico, la falta de organización en el cableado y el mal funcionamiento que presentaban varios de sus componentes, era una situación que limitaba su uso en las prácticas académicas y reducía las oportunidades de trabajo para los estudiantes; a partir de una revisión inicial se identificaron problemas tales como conexiones inadecuadas, cables sin identificar, dispositivos que no cumplían su función y ausencia de una distribución clara en los tableros, que además dificulta cualquier intento de mantenimiento o intervención.

Basándose en lo anterior se planteó una adecuación del sistema orientada a recuperar su operatividad, aprovechando los elementos que aún eran funcionales e incorporando mejoras que permitieran un manejo más claro y seguro; dentro del proceso realizado se hizo la reorganización del cableado, la implementación de borneras para ordenar las conexiones, la instalación de nuevos elementos de protección y control, se rediseñó un nuevo tablero para la planta, además de ajustes necesarios en la parte neumática para garantizar un comportamiento adecuado del sistema.

Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento que permitieron verificar la respuesta de la planta en modo manual y en modo automático. Se realizaron pruebas mediante el uso de un PLC para al modo automático, confirmando que el sistema podrá ser utilizado nuevamente en condiciones adecuadas; como resultado, se logró recuperar un equipo que estaba en desuso, el cual queda en condiciones que facilitan su utilización en actividades académicas, siendo así un aporte para que estudiantes cuenten con más recursos para el desarrollo de prácticas relacionadas con el control y la automatización, permitiendo tener una mayor interacción con este tipo de sistemas durante su formación.

Abstract

The present work focuses on the recovery and improvement of the pressure plant test bench located in the engineering laboratories of the Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, which was out of operation due to the deterioration of its electrical system, the lack of organization in the wiring, and the malfunction presented by several of its components, a situation that limited its use in academic practices and reduced working opportunities for students. From an initial review, problems were identified such as inadequate connections, unidentified cables, devices that were not fulfilling their function, and the absence of a clear distribution in the panels, which also hindered any attempt at maintenance or intervention.

Based on the above, an adaptation of the system was proposed, aimed at restoring its operability by making use of the elements that were still functional and incorporating improvements that would allow for clearer and safer handling. Within the process carried out, the wiring was reorganized, terminal blocks were implemented to organize the connections, new protection and control elements were installed, a new panel for the plant was redesigned, and necessary adjustments were made to the pneumatic section to ensure adequate system behavior.

Subsequently, functional tests were carried out to verify the response of the plant in manual mode and in automatic mode. Tests were performed using a PLC for automatic mode, confirming that the system can be used again under appropriate conditions. As a result, a piece of equipment that was in disuse was successfully recovered, and it is now in conditions that facilitate its use in academic activities, thus representing a contribution so that students have more resources for the development of practices related to control and automation, allowing for greater interaction with this type of system during their training.

Palabras Clave

Control de procesos, automatización industrial, controladores lógicos programables, sistemas neumáticos, instrumentación, presión, actuadores, sensores, instalaciones eléctricas, mantenimiento de equipos.

Introducción

En los laboratorios de ingenierías de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, se dispone de aulas de desarrollo donde los estudiantes de diversas ingenierías afianzan sus conocimientos acerca de distintos conceptos importantes para el desarrollo de un ingeniero. Carreras como ingeniería electrónica, cuentan con aulas especializadas llenas de maquinaria industrial donde se pueden desarrollar diversas actividades de automatización industrial, tales como sistemas de control, monitoreo de sistemas, codificación de controladores programables entre otras actividades que ponen a prueba la capacidad y habilidades de cada estudiante con el propósito de formar ingenieros capacitados para diversas situaciones en las que se necesite una solución.

Siendo así, el salón de automatización industrial cuenta con distintos dispositivos de pruebas, llamados plantas de control. Existen diferentes sistemas que simulan entornos reales que se encuentran en la industria tales como sistemas para el control hidráulico, control térmico o control neumático. Estas plantas ayudan al estudiante a asimilar conocimientos de asignaturas como Instrumentación industrial, PLC, SCADA, o Control de procesos y permiten familiarizarse con este tipo de entornos industriales, donde es necesario realizar distintos tipos de control, ya sea para controlar el nivel de un tanque o controlar la temperatura de un sistema. Por estas razones es necesario que estos dispositivos estén en su total capacidad de funcionamiento, para ofrecer al estudiante un rango más amplio de áreas en las que pueda desempeñarse.

Sin embargo, una de las plantas encontradas en el laboratorio, no estaba en funcionamiento y esta se trata del banco de pruebas de la planta de presión, un sistema neumático que ha terminado deteriorándose con el tiempo debido al desuso. El uso del sistema dependía únicamente de operaciones manuales, además de fuentes de alimentación externas que dificultaban su uso, el mismo sistema de configuración de la planta hacían que fuera poco versátil y compatible con otros dispositivos o controladores PLC. Actualmente el sistema eléctrico de la planta se ha desgastado a tal punto que había dejado de estar operativo desde hace varios años, la falta de etiquetado u organización sobre el mismo conlleva a que los mantenimientos de la misma fueran una tarea dispendiosa y contribuyera a su estado actual, lo cual, limita el aprovechamiento del equipo disponible.

Por estos motivos la planta de presión dejó de ser utilizada, a pesar de contar con elementos que aún pueden ser aprovechados mediante intervención técnica adecuada. Esto termina afectando de manera directa a los estudiantes, puesto que a pesar de contar con otros sistemas de control, en algunas clases cuando se intenta trabajar con grupos numerosos de trabajo, mayores a 20 estudiantes requiriendo usar la misma planta, la disponibilidad de esta se ve reducida, afectando el tiempo que tiene el estudiante para realizar sus practicas en las asignaturas previamente mencionadas como HMI, PLC o SCADA, materias que utilizan este tipo de equipos de manera simultanea pa-

ra el aprendizaje y a menudo dejan asignaturas de trabajo similares para los estudiantes.

Debido a esto, surge la necesidad de hacer uso de otro sistema eléctrico de control, y por tanto se busca reparar y actualizar el sistema previamente mencionado, con el propósito de recuperar su funcionalidad, facilitar su uso y mantenimiento para futuras actividades académicas de asignaturas como las anteriormente mencionadas. Esta intervención tiene el propósito de identificar los fallos actuales del sistema que dificultan su uso, así como rediseñar y actualizar el cableado, junto con los tableros de control y al final verificar que las nuevas actualizaciones funcionen adecuadamente.

Por tanto el objetivo de este trabajo de grado, es mejorar el sistema eléctrico del banco de pruebas de la planta de presión del laboratorio de automatización industrial de la Universidad Autónoma del Cauca. A través de este proyecto, se busca recuperar la funcionalidad del sistema y actualizarlo, esperando a que este pueda ser incluido en futuros proyectos de las diferentes materias dictadas en la carrera de ingeniería, donde los estudiantes tengan mayor disponibilidad de los equipos al momento de realizar sus debidas asignaturas, con el propósito de apoyar el proceso formativo de futuros ingenieros e ingenieras de la institución.

1. Capitulo 1 Planteamiento del Problema

1.1. Planteamiento del Problema

La Corporación Universitaria Autónoma del Cauca en su facultad de ingenierías cuenta con una sede de laboratorios, donde está ubicado un entorno de pruebas en control de procesos y automatización, en el que se encuentran cuatro procesos industriales: nivel, flujo, bomba centrífuga y presión. Específicamente, el objeto de este trabajo de grado es el banco de pruebas de la planta de presión, un instrumento usado por el plantel estudiantil, que les permite afianzar conocimientos adquiridos durante la carrera. Sin embargo, esta se ha visto afectada a través del tiempo por el desgaste y obsolescencia de sus equipos, algunos de los problemas que se pueden observar en esta planta, son el deterioro en la infraestructura e instalaciones eléctricas en mal estado, como cables viejos o sin etiquetado de señalización para cada elemento, además de la obsolescencia que presentan algunos elementos actualmente funcionando en dicha planta.

1.2. Problemática Identificada

En el presente trabajo, se plantea realizar la actualización de una de las plantas de automatización ubicada en los laboratorios de la Universidad Autónoma del Cauca. La planta de presión a tratar durante este proceso, es un dispositivo de pruebas dispuesto para los estudiantes de ingeniería electrónica, con el propósito de mejorar y afianzar conocimientos adquiridos durante su proceso de aprendizaje como ingenieros. Sin embargo dicha planta presenta algunas falencias, tales como la falta de funcionamiento automático de la misma, esto quiere decir, que esta funciona con una fuente de voltaje externa a la suministrada por el PLC propio de la planta. En este orden de ideas, la planta actualmente está trabajando de forma manual cuando se suministra voltaje a esta, no por un control realizado desde el propio PLC para su funcionamiento. Otro de los inconvenientes observados en la planta se trata de las electroválvulas que están funcionando actualmente en la misma, estas no son las más idóneas cuando se trata de hacer un control o alguna clase de disturbio sobre el sistema, estas válvulas sueltan por completo el aire contenido a presión dentro del tanque, impidiendo que se realice algún control sobre el aire contenido en el mismo.

Junto a estas, y otras fallas más, aunque parezcan mínimas e irrelevantes, dificultan el aprendizaje en el uso de la planta por parte de los estudiantes, causando que por sus problemas, termine siendo abandonada o subutilizada por los docentes y discentes de la facultad de ingeniería. En este trabajo, se plantea una evaluación de dicha planta, se realiza una caracterización de los dispositivos actualmente funcionando en la planta, así también, se mencionan los problemas y retos a afrontar durante el desarrollo de este trabajo, tales como la automatización de la planta tal y como se explicó previamente, actualización de válvulas y mayor aprovechamiento del PLC y de las válvulas de con-

trol de flujo de aire y presión que se encuentran en ella, de las cuales, una de estas, se encuentra funcionando a media marcha debido a la falta de información acerca de la programación, conexión y manejo del dispositivo.

Estos problemas podrían desencadenar accidentes al plantel estudiantil y también al personal que requiera hacer prácticas en el banco de pruebas. Además, su funcionamiento actual podría acelerar el deterioro de los elementos electrónicos y de la infraestructura que tiene, por lo cual se busca caracterizar cada uno de los problemas a detalle y así buscar soluciones óptimas para los problemas anteriormente planteados, buscando también hacer uso de normativas estandarizadas que permitan garantizar la seguridad del personal utilizando la planta en el laboratorio, de este modo se podrá llevar a cabo una serie de pruebas de funcionamiento del sistema y de de sus componentes integrados, verificando así el óptimo desempeño del mismo.

1.3. Justificación

La planta de presión del laboratorio de la universidad, es un equipo importante en el desarrollo de habilidades esenciales en el campo de la ingeniería, este dispositivo le permite a los estudiantes afianzar conocimientos y poner a prueba sus capacidades en la solución de problemas. El mal funcionamiento de la misma provoca su subutilización y esto resulta en que los estudiantes en realidad no tengan ninguna aproximación a este tipo de equipamientos que se encuentran constantemente en la industria, el simple hecho de familiarizarse con el uso de estos equipos, ayuda a entender muchos conceptos enseñados durante las clases, tales como la comunicación entre dispositivos, programación de PLC e incluso conexión y chequeo de los mismos.

Con lo antes expuesto, se puede comprender que la inversión a realizar para mejorar la planta beneficia directamente los procesos de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes de electrónica y en un futuro los de ingeniería energética. Quienes podrán enriquecer su formación con prácticas en esta planta estudiantes de los cursos de: Control de procesos, Electiva V, Instrumentación industrial, PLC, SCADA, Sistemas de Control 1, Sistemas de Control 2, Software para aplicaciones industriales, en estas asignaturas una población que se ve limitada en sus posibilidades de prácticas a otros entornos menos relacionados con la realidad en ambientes laborales.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo General*

Mejorar el sistema eléctrico y de control del banco de pruebas de la planta de presión de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

1.4.2. *Objetivo Específicos*

- Realizar un diagnóstico inicial de la planta verificando su estado.
- Diseñar el sistema eléctrico y de control de la planta de presión.
- Validar y verificar el funcionamiento de la planta, todos sus componentes.

1.5. Enfoque Metodológico

Para el desarrollo de este proyecto se adoptó la metodología en cascada, propuesta en 1970 por Winston W. Royce, cuyo principio fundamental consiste en ejecutar cada etapa de manera secuencial, de modo que una fase no puede iniciarse hasta que la anterior haya concluido de forma satisfactoria. Este modelo resulta especialmente adecuado cuando los requerimientos del proyecto están bien definidos desde el inicio, como ocurre en intervenciones técnicas sobre sistemas existentes donde el diagnóstico previo delimita con claridad el alcance de las actividades. Su estructura ordenada facilita el seguimiento del avance y permite identificar con precisión en qué etapa se encuentran los desarrollos, lo cual es especialmente útil en proyectos académicos de carácter técnico. En la figura 1 se puede observar la representación del modelo en cascada con cada una de sus etapas secuenciales.

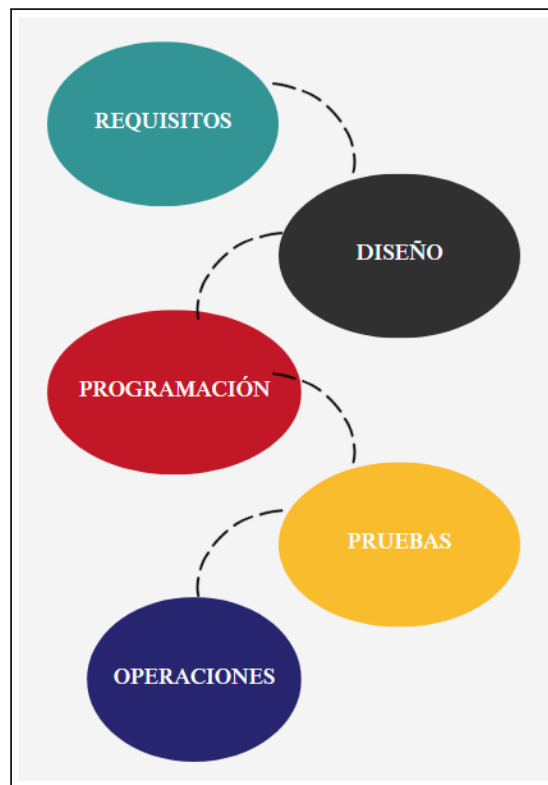


Figura 1: Metodología en cascada. Fuente: Propia.

Bajo este enfoque, el proyecto se organizó en cinco fases que guardan correspondencia directa con las etapas del modelo: estudio de la planta, chequeo de componentes, diseño e infraestructura, esquema de pruebas y puesta en operación del sistema mejorado, tal como se ilustra en la figura 2.

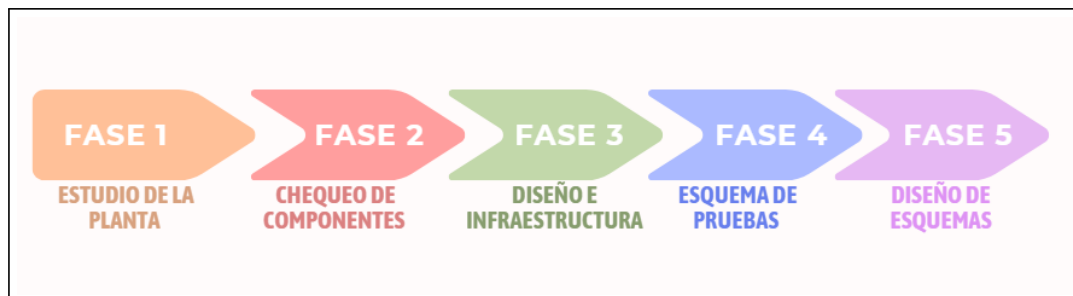


Figura 2: Fases del proyecto. Fuente: Propia.

La fase inicial correspondió al **estudio de la planta**, donde se identificaron y documentaron los problemas principales que presentaba el banco de pruebas. A partir de ese diagnóstico, se realizó la fase de **chequeo de componentes**, verificando el estado de cada dispositivo y la condición del cableado e infraestructura eléctrica. Con la información recolectada, se procedió a la fase de **diseño e infraestructura**, en la que se elaboraron los planos y sistemas bajo las normativas técnicas vigentes RETIE e ISA-95, junto con el reacondicionamiento físico del banco. Posteriormente, se ejecutó el **esquema de pruebas**, donde mediante testeos integrales se validó el funcionamiento de cada componente tras las modificaciones realizadas. Finalmente, la fase de **diseño de esquemas** consolidó los resultados en los diagramas de ingeniería PFD, diagrama de tuberías y el diagrama unifilar eléctrico, cerrando el ciclo del proyecto con el sistema completamente operativo y documentado.

En la figura 3 se presenta el cronograma de tiempo correspondiente a las diferentes fases desarrolladas durante la ejecución del proyecto. En este se puede observar de manera organizada la duración estimada de cada actividad y su distribución a lo largo de los meses de trabajo, permitiendo visualizar la secuencia de las etapas, el tiempo destinado a cada una y la planificación general seguida para el desarrollo del proyecto.

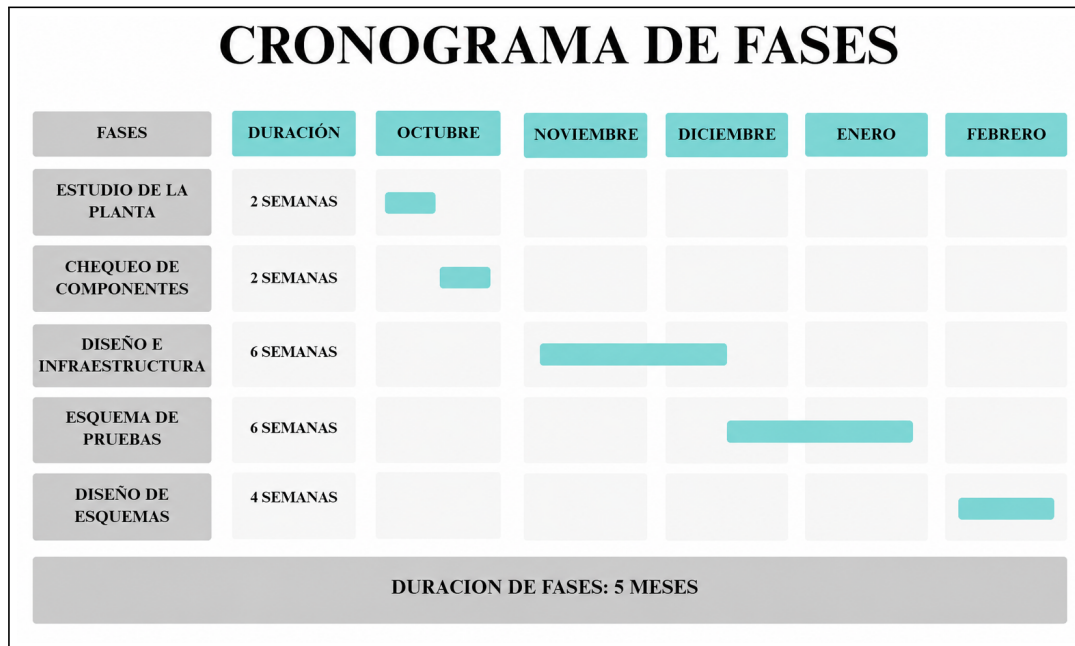


Figura 3: Cronograma de tiempo de las fases. Fuente: Propia.

2. Capítulo 2 Estado del arte

La recuperación y modernización de bancos de pruebas utilizados con fines educativos es más común de lo que parece, y ha sido abordada en diferentes instituciones como una alternativa para fortalecer la formación práctica de conocimientos para los estudiantes, sin recurrir al reemplazo completo de los equipos existentes. En múltiples casos, los sistemas empleados como método de enseñanza terminan siendo inutilizados generalmente por fallos ocasionados por el deterioro de su infraestructura eléctrica, o por la obsolescencia de sus equipos integrados, más no por daños irreversibles en el propio sistema que impidan hacer uso del material útil aún disponible, tal y como lo muestran diversos estudios que plantean este mismo tipo de problemática.

Uno de los artículos investigados donde se revela esta misma problemática, En [1] uno de los autores, describe la transformación de máquinas sincrónicas de un laboratorio en una estación de trabajo moderna. El artículo menciona que, de igual manera, se añadieron nuevos instrumentos y dispositivos que son utilizados normalmente en la industria, esto acerca las prácticas del estudiante a un entorno con condiciones que se encuentran en los procesos industriales. En este artículo también se implementan sistemas de observación y registro de variables eléctricas y mecánicas, además se rediseñan las estaciones de trabajo, aparte de la organización de los sistemas, lo cual hace el uso más cómodo para el estudiante al momento de manipular la maquinaria.

Así mismo, en este artículo [1] también se menciona la habilitación de comunicación e integración de otros sistemas, acción que vuelve al sistema general en uno mucho más versátil para distintos escenarios de experimentación. Este trabajo resalta la importancia de adaptar equipos existentes a tecnologías actuales, esto demuestra que la adecuada actualización de maquinarias de aprendizaje puede transformar significativamente la experiencia de aprendizaje, aumentar la participación estudiantil y dar nueva vida a equipos previamente infrautilizados.

Del mismo modo, en [2] mencionan que se desarrolló un banco de pruebas para motores eléctricos con operación remota, en el cual, se integran componentes avanzados de hardware y software que permitió a los estudiantes realizar ensayos prácticos desde ubicaciones remotas. El artículo evidencia que poder hacer uso a sistemas de manera remota y accesible demuestra ser parte fundamental en el aprendizaje y adecuada comprensión de las diferentes asignaturas en la ingeniería. Lo anteriormente expuesto se logró mediante la actualización adecuada de los instrumentos dispuestos para el aprendizaje y pedagogía, además de la modernización de dispositivos para recuperar su utilidad académica.

En el artículo [3] se menciona la modernización y automatización de un banco de ensayos de motor de combustión interna de 70 años, el cual ha sido adaptado para uso docente. El objetivo de este proyecto se trata de mejorar la calidad de las prácticas del

laboratorio al automatizar por completo el sistema reduciendo la intervención manual. Entre sus mejoras principales está la instalación de nuevos dispositivos, la reorganización de cableado para mayor orden y fiabilidad, además de la calibración de ciertos sensores para aumentar la precisión de las medidas.

Con la intervención y modernización del banco de pruebas se logró pasar de hacer uso de una plataforma completamente manual a una plataforma automatizada y didáctica, con fuerte valor docente que permitió un mayor aprovechamiento del sistema y la realización de experimentos de gran complejidad. Esto demuestra que muchos de los problemas encontrados en este tipo de sistemas pedagógicos, están relacionados a deficiencias en su infraestructura u obsolescencia de dispositivos, más que con fallas estructurales de sus componentes [3].

En [4], se menciona la modernización de un equipo de control automático de presión en el laboratorio de Neumática e Hidráulica de POLBAN, con el fin de recuperar su funcionamiento y permitir su uso nuevamente en prácticas de control automático. Su objetivo principal fue actualizar el sistema como herramienta didáctica para enseñar instrumentación y control automático, donde se mantuvo parte del sistema mecánico que seguía en operación así como varios sensores y actuadores que aún se encontraban en buenas condiciones, mientras que se sustituyó el equipo original del regulador de presión que se encontraba obsoleto, además del sistema de control que había quedado sin soporte técnico y ya no podía ser utilizado en la docencia.

Entre sus nuevas mejoras, se distingue el uso de un controlador PLC, donde se implementó un control PID para obtener mejores características de control. Además de la actualización del sistema humano-máquina al añadir una HMI para realizar el ajuste de parámetros; este sistema renovado, permite el uso del banco de prácticas para que los estudiantes comprendan el funcionamiento de sistemas de control PID reales además de la sintonización de sus variables [4].

Un aspecto importante a tener en cuenta es mencionado en el artículo sobre el diseño de un banco de pruebas universal para sistemas neumáticos [5], desarrollaron un banco de pruebas universal para válvulas, cilindros y compresores neumáticos, con el propósito de realizar la verificación del funcionamiento de distintos componentes tras su reparación o rehabilitación. Los autores mencionan que, los bancos de pruebas universales son importantes para la reintegración de componentes reparados a otro tipo de sistemas, donde el testeo de estos componentes es fundamental para el correcto funcionamiento de sistemas más grandes.

En el artículo [5] se concluye que los componentes deben ser verificados antes de ser introducidos nuevamente al sistema, para asegurar el desempeño adecuado y la confiabilidad de sistemas rehabilitados. El testeo previo del desempeño de dispositivos ayuda a prevenir fallas posteriores además de reducir tiempo de mantenimiento al evitar reti-

rar frecuentemente los equipos debido a fallas repetitivas, esto en un entorno educativo es equivalente a menos interrupciones en medio de las prácticas de laboratorio, mayor aprovechamiento del tiempo de aula de clase y un desarrollo más continuo.

En la industria se ha visto reflejada la necesidad de formar estudiantes que posean el conocimiento específico para manipular maquinaria utilizada en distintos procesos que se encuentran en la vida real, como muestra el artículo [6] donde se evidencia la dificultad real que tienen las empresas de saneamiento público de encontrar profesionales con la formación práctica y el conocimiento que necesitan para gestionar redes de abastecimiento. En la investigación del artículo, se encontró que existe un enfoque dominante en la enseñanza de conceptos complejos y experimentación directa y diseño, dejando de lado aspectos igualmente fundamentales como la construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento.

Este artículo [6], propone la necesidad urgente de trasladar al ámbito de la formación técnica las prácticas con plantas piloto ya consolidadas en la universidad, adaptándolas al perfil del técnico que la industria demanda. Estas instalaciones deberían integrar instrumentación, electricidad, programación y control, permitiendo al estudiante interactuar directamente con sistemas que simulan procesos industriales reales. Esta interacción práctica y progresiva con equipos reales facilita la asimilación de conceptos complejos y tiene un efecto positivo demostrado en el proceso de aprendizaje.

El uso de laboratorios modulares como solución para enseñar métodos de automatización e ingeniería en la educación es propuesto por [7]. En este artículo se plantea hacer uso de laboratorios modulares de PLCs de bajo costo con el propósito de poder atender grupos numerosos simultáneamente haciendo uso de kits de simulación que permiten al estudiante enfrentarse a escenarios industriales reales. La idea general de este proyecto es lograr que los grupos de estudiantes cuenten con sus respectivos equipos de trabajo, esto permite tener un aprendizaje personalizado pues es el mismo estudiante quien se enfrenta a este tipo de sistemas, consiguiendo experiencia de campo en entornos simulados donde puede ampliar los conocimientos adquiridos durante las clases.

Este artículo demuestra que es posible implementar sistemas de enseñanza práctica en automatización con un 27 % del costo de un laboratorio tradicional equivalente [7]. Esto refuerza la idea de que optimizar recursos existentes puede ser igualmente valioso como la adquisición de nuevo equipamiento, por esta razón la reparación y puesta en marcha de la planta de presión mencionada al inicio de este documento, la cual se encuentra disponible en el laboratorio de ingenierías de la Universidad Autónoma del Cauca, representa una alternativa coherente con este enfoque: aprovechar un banco de pruebas ya existente amplía la capacidad de enseñanza práctica sin la necesidad de comprar nueva maquinaria, lo cual maximiza los recursos disponibles para la formación de estudiantes.

Un tema recurrente en los artículos, se centra en la deficiencia de algunas de las instalaciones universitarias de países latinoamericanos para garantizar la seguridad eléctrica de los estudiantes al momento de su manipulación. Como lo expone el artículo [8], mencionan el caso de una universidad de Ecuador, donde se han presentado varias deficiencias comunes como la ausencia de señalización en los dispositivos, áreas de carga eléctrica que exponen al docente o al estudiante a riesgos considerables, además de la manipulación de equipos sin el conocimiento técnico adecuado que puede resultar riesgoso en algunos casos o puede terminar en el daño del material de estudio. Estas deficiencias terminan ocasionando accidentes de descargas eléctricas que pueden ocasionar caídas o lesiones ante el contacto inicial con la corriente.

Este artículo [8], expone la necesidad de seguir una normativa clara, que permita mayor seguridad al momento de manipular cualquier tipo de dispositivos o maquinaria eléctrica. Para ello se propone hacer implementación de una señalización clara con protocolos de emergencia visibles, uso de materiales certificados además de la capacitación adecuada de docentes y estudiantes que hagan uso continuo de este tipo de sistemas. En Colombia, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETI) [9] establece las normativas necesarias para garantizar la protección del personal y de los equipos implementados, cualquier intervención en un banco de pruebas debe contemplar esta normativa como un requisito fundamental para garantizar seguridad y protección.

A partir de la revisión de los diferentes artículos mencionados en esta sección del trabajo, se denota que la necesidad de recuperar el banco de pruebas es acorde al estado del arte actual de la ingeniería, donde se demuestra la necesidad técnica y académica de aprovechar este tipo de sistemas como método de enseñanza fundamental en la formación de ingenieros.

La planta de presión del banco de pruebas de la Universidad Autónoma del Cauca presenta cableado expuesto que puede presentar un alto riesgo al momento de manipular el equipo, la planta carece de etiquetado y organización del sistema, posee dispositivos obsoletos o no funcionales que denotan el estado de abandono en el que se encuentra actualmente, limitando las oportunidades de aprendizaje de los estudiantes de la universidad en la facultad de ingenierías. Por estas razones el presente trabajo busca rediseñar el sistema eléctrico, mejorar el control de proceso y utilizar los materiales existentes que aún pueden ser aprovechados, con el propósito de devolver la funcionalidad al banco de pruebas, garantizando tanto a estudiantes como docentes un entorno seguro, para realizar prácticas de instrumentación, automatización y control de procesos.

3. Capítulo 3 Marco Teórico

A continuación, se presenta de manera precisa y detallada la fundamentación teórica relevante sobre los elementos mencionados en este proyecto.

- Automatización.
- Control de procesos.
- Normativa RETIE.
- Normativa de Automatización y control de proceso “ISA 95”.

3.1. Automatización

La automatización consiste en utilizar diversos dispositivos tecnológicos que permitan el control y el buen manejo de estos, para cumplir con ciertos parámetros y tareas repetitivas ya establecidas por una persona. Es común ver este tipo de acciones en el campo de la robótica, en fábricas de producción alimenticia, en la industria automotriz y en el mundo de la tecnología y los sistemas TI. [10]

Entre los distintos tipos de automatización podemos encontrar sistemas como: la automatización fija, la automatización programable, automatización flexible y automatización de sistema integrado. Los cuales se explicarán a mayor detalle a continuación.

Sistemas de automatización fija: Se usa un sistema de automatización fija para agilizar tareas específicas en las cuales no se puede modificar el producto, por eso es uno de los sistemas más usados en las industrias ya que los diseños son estables sostenibles durante un largo periodo de tiempo y con un menor costo. [11]

Sistema de automatización programable: Esta automatización se ejecuta para volúmenes bajos o para fabricación de productos por lotes, esto facilita el cambio de especificaciones permitiendo la configuración de máquinas y el software de acuerdo con la necesidad del programador. [11]

Sistema de automatización flexible: Es un tipo de automatización que permite realizar modificaciones y ajustes en los procesos de producción de manera más sencilla. Se utiliza en producciones de nivel medio y se caracteriza por su capacidad de adaptarse a diferentes necesidades sin requerir cambios completos en el sistema. [11]

Sistema integrado de automatización: Un Sistema Integrado de Automatización es un conjunto de máquinas, procesos y datos independientes, que trabajan de forma sincrónica bajo el mando de un único sistema de control para implementar un sistema de automatización en un proceso de producción. [12]

El sistema de automatización desarrollado en este proyecto, posee los siguientes sensores y herramientas explicados a continuación.

Alimentación y suministro: Se refiere a todo sistema que permita transmitir corriente de manera eficiente, segura y estable, para ser suministrada a cualquier dispositivo eléctrico que dependa de la misma. Entre los tipos de alimentación eléctrica se encuentran el sistema monofásico, que suministra corriente alterna (AC) la cual hace uso de una línea de fase y una línea de neutro, opera generalmente a 230V o 110V, en su mayoría usada en los hogares. También se encuentra el sistema trifásico, el cual también suministra corriente alterna, con un voltaje generalmente entre los 230V y los 400V, más común en sectores industriales o comerciales. [13] Del mismo modo, también se encuentran sistemas que permiten administrar energía a elementos electrónicos que requieren corriente continua, de manera que son alimentados de manera segura y evitando sobrecargas causadas por la corriente directa, usualmente operan en un rango internacional desde 12V hasta 48V.[14]

I) **Fuente de voltaje AC/DC**

Una fuente de alimentación es un dispositivo capaz de convertir el suministro de corriente alterna (AC) proveniente de la red eléctrica en una salida estable de corriente directa (DC). Para el caso de este proyecto, la fuente de voltaje utilizada recibe una entrada de 110V AC y proporciona una salida de 24V DC, la cual permite alimentar de manera segura los dispositivos empleados en el sistema. El uso de este tipo de elemento, garantiza la funcionalidad de dispositivos que únicamente trabajan bajo corriente directa y requieren una alimentación estable para garantizar su funcionamiento de manera continua y eficaz. [15]



Figura 4: Fuente de voltaje 24V DC. Fuente: Propia.

II) Breakers

Se refiere al dispositivo de protección utilizado para cortar el suministro eléctrico de la red al respecto del circuito en caso de que hayan fallos o sobrecargas que puedan comprometer la integridad del sistema. Estos dispositivos se apagan automáticamente en caso de que ocurra alguna sobre tensión. Para este trabajo se utilizó un breaker de montaje en riel, caracterizados por su corriente de cortocircuito media-baja, ideal para aplicaciones de carga intermedia. [16] [17]



Figura 5: Breaker termomagnético. Fuente: Propia.

Sistema Neumático: La neumática es la ciencia encargada de usar aire comprimido para realizar un trabajo. Un sistema neumático se refiere al aprovechamiento de aire presurizado que es capaz de mover distintos componentes, actuadores o cilindros que producen movimiento. Su éxito yace en la habilidad de poder convertir aire en energía potencial que energiza movimientos mecánicos. El aire comprimido procede directamente de la atmósfera, el cual más adelante es almacenado en un tanque de compresión y es liberado por medio de válvulas hacia el resto del sistema. [18]

I) Compresor de aire:

Estos equipos funcionan con un sistema que extrae el aire del ambiente, lo introduce en un cilindro y lo convierte en energía. Por ejemplo, para inflar la llanta de una bicicleta o carro, el aire debe alcanzar una presión adecuada, pasar por una válvula y liberar el aire al interior del neumático. El movimiento giratorio que produce el motor es transformado en uno rectilíneo, la válvula se abre por el vacío provocado en su interior debido a la presión atmosférica y así libera el aire. [19]



Figura 6: Compresor de aire de la planta de presión. Fuente: Propia.

II) Tanque de compresión:

La función de estos tanques es de almacenamiento de aire comprimido a alta presión para ser suministrado de forma constante y regulada al sistema de control sobre el cual estén instalados. Este tipo de tanques permite reducir la carga de trabajo al compresor, evitando que se sobrecaliente y sufra las paradas constantes del sistema que se desee controlar. De esta forma, cuando los dispositivos indican el momento de liberar el aire, es el tanque de compresión el cual libera el gas almacenado por medio de las válvulas de escape para volver a ser llenado de nuevo gracias al compresor.[20]



Figura 7: Tanque de compresión de aire. Fuente: Propia.

III) Filtro regulador de aire con trampilla de agua:

El filtro de aire para compresor es el equipo encargado de mantener la calidad de aire del sistema neumático, garantiza el flujo de aire limpio y constante y elimina todas las impurezas como agua además de otros contaminantes finos que contenga el gas y los deposita en la trampilla de agua, esto ayuda a evitar daños en los equipos del sistema y mejorar su rendimiento. [21]



Figura 8: Filtro regulador de aire con trampilla de agua. Fuente: Propia.

Sensores: Un sensor es un aparato capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas; en otras palabras, permite cambiar el dominio de una variable para hacerla útil dentro de un sistema de medición. Según la variable que se desee medir, se selecciona el tipo de sensor adecuado, por lo cual estos pueden ser de temperatura, presión, flujo, distancia, intensidad lumínica o aceleración. [22] [23]

I) Manómetro:

Los manómetros son instrumentos de medición que se emplean para cuantificar el nivel de presión que tienen los fluidos dentro de un recipiente cerrado. Por su parte, la presión se define como una magnitud que implica la fuerza que ejerce una sustancia o cuerpo en dirección perpendicular. [24]



Figura 9: Manómetro. Fuente: Propia.

II) Sensor de presión Hyxc-pex

Es un núcleo de presión encapsulado por un chip sensible a la presión de silicio difuso importado de alta precisión y una tecnología de fabricación madura. Es el componente principal para la fabricación de sensores y transmisores de presión. Como elemento sensible de alto rendimiento, puede amplificar fácilmente la señal e integrarse en un transmisor con salida de señal estándar. [22]



Figura 10: Sensor de presión Hyxc-pex. Fuente: Propia.

Actuadores: Los actuadores son una parte importante en la electrónica y la maquinaria industrial, estos dispositivos convierten la energía del sistema para ser utilizada de forma mecánica ejerciendo distintas acciones, ya sean de fuerza, velocidad, cambio de posición o estado. [23]

- I) **Regulador electroneumático SMC ITV1050-31N4 1000 Tamaño EP:**
Los reguladores de presión electrónicos controlan dinámicamente la presión del aire en proporción a las señales eléctricas. Esto le permitirá reducir la presión de entrada para su máquina o instalación de forma remota, para obtener una tasa de presión exacta y precisa. [25]



Figura 11: Regulador electroneumático SMC ITV1050-31N4 1000 Tamaño EP. Fuente: Propia.

II) **Contactor:**

Es el equipo encargado de abrir o cerrar circuitos eléctricos de potencia, es un tipo de relé electromagnético que es capaz de manejar corrientes elevadas, de forma segura al utilizar una señal de bajo voltaje. Su funcionamiento consta en ampliar una tensión de bajo voltaje a la bobina electromagnética en su interior, la cual genera un campo magnético al ser energizada, dicho campo luego atrae la armadura de metal móvil, la cual posee unos contactos eléctricos, que se conectan a los contactos fijos tras el movimiento, cerrando de esta forma el circuito principal y permitiendo el flujo de corriente al resto del sistema. Para apagar el contactor se interrumpe la carga de la bobina, la cual hace que desaparezca el campo electromagnético y se abran los contactos ante la separación de la armadura la cual vuelve a su posición inicial, esto provoca la interrupción del circuito. [26]



Figura 12: Contactor. Fuente: Propia.

III) **Electroválvula:**

Las electroválvulas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que circula a través del solenoide es posible abrir o cerrar la válvula controlando, de esta forma, el flujo de fluidos. Al circular corriente por el solenoide se genera un campo magnético que atrae el núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, por efecto de un resorte. [27]



Figura 13: Electroválvula. Fuente: Propia.

IV) Válvula manual

Las válvulas manuales son equipos que necesitan ser accionados por una persona o motor, sirven para la apertura y cierre de tuberías, permitiendo el paso de fluidos a través de ellas. En este trabajo se utilizan las válvulas de bola, las cuales se valen de una esfera perforada en la mitad de la misma. Su posición depende de la ubicación de la maneta sobre la misma, la cual cuando está cerrada, la perforación se encuentra perpendicular a la maneta y la salida de la válvula. Contrario a cuando está abierta, donde la perforación se alinea junto a la salida de la válvula permitiendo el flujo a través de la misma. [28]



Figura 14: Válvula manual. Fuente: Propia.

Elementos de mando y señalización: Se refiere a elementos físicos de control que permiten al operario la manipulación de un sistema mediante su accionamiento

manual. Se trata de dispositivos tales como luces piloto, pulsadores o selectores, entre otros, que se encuentran accesibles y cerca del operador de un sistema industrial. [29]

I) **Pilotos LED:**

Son utilizados para iluminar y señalar al operario de algún un sistema que necesite ser monitorizado, proporcionan información acerca del funcionamiento de un proceso. Se componen de la lámpara de señalización cubierta por una tapa de color y el cuerpo de plástico, donde se encuentra protegido el circuito interno, el cual termina en los terminales de conexión que le proporcionan el voltaje de alimentación al ser conectado. [30]



Figura 15: Piloto LED luminoso verde. Fuente: Propia.

II) **Pulsadores:**

Son actuadores eléctricos que pueden activar o apagar circuitos de forma momentánea al ser presionados y vuelven a su posición inicial al ser soltados. Pueden controlar el flujo de corriente al ser pulsados, dependiendo del tipo de pulsador que se trate, puede interactuar de formas distintas en el circuito. Entre los distintos tipos de pulsadores, se usaron con mayor frecuencia del tipo normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC). Los pulsadores (NA) funcionan como un circuito abierto, el cual se cierra y permite el paso de corriente apenas el botón es presionado. Por el contrario, el pulsador (NC) funciona como circuito cerrado permitiendo el paso de corriente en su estado inicial, el cual se abre apenas el botón es presionado. [31]

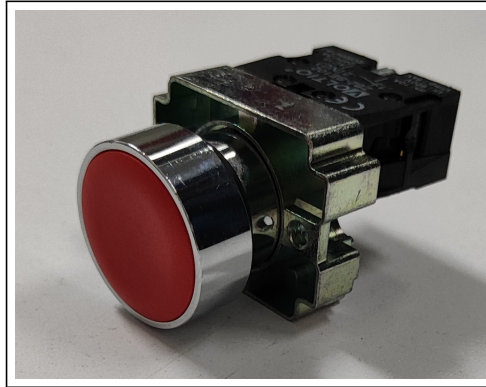


Figura 16: Pulsador metálico rojo. Fuente: Propia.

III) **Selector de estados:**

Se trata de dispositivos electromecánicos que funcionan como interruptores que pueden posicionarse en distintas configuraciones, esto hace que se permita o interrumpa el flujo de corriente en diferentes rutas eléctricas. De este modo, este selector puede usarse para cambiar entre distintas formas de operación para activar o desactivar diferentes circuitos a controlar en el sistema. La conmutación manual del cambio de circuitos le permiten al operador tener una mayor seguridad y control sobre el sistema que manipula, además permite un aislamiento manual de circuitos, lo cual reduce el riesgo de fallos eléctricos y facilita el mantenimiento de equipos. [32]

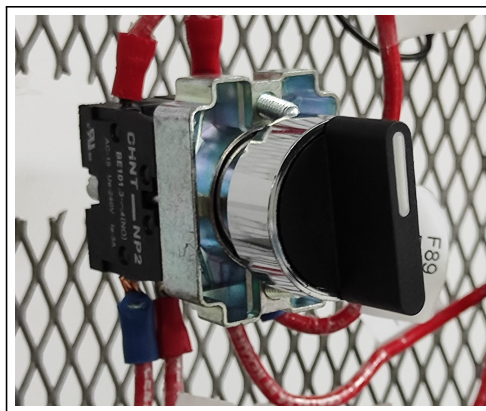


Figura 17: Selector de estados metálico. Fuente: Propia.

IV) **Botón de parada de emergencia:**

El botón de parada de emergencia es esencial para garantizar tanto la seguridad de los operarios como la seguridad de los equipos utilizados en caso de algún accidente o fallo que pueda atentar contra la seguridad de alguno de los anteriores. Este tipo de botones funciona de forma que al ser presionados quedan enclavados en su nueva posición, interrumpiendo de inmediato todo

el proceso que se estuviera realizando al impedir el flujo de corriente, para ser desactivado es necesario quitar primero la llave de seguridad que mantiene el dispositivo en su estado de apagado total, una vez retirada la llave el botón vuelve a permitir el paso de corriente al resto del sistema. Normalmente portan colores distintivos como el rojo para la cabeza del botón, el cual suele llevar forma de hongo y algunos poseen una base de color amarillo para ser atornillado a alguna superficie de fácil acceso. [33]



Figura 18: Botón de parada de emergencia tipo hongo. Fuente: Propia.

3.2. Control de procesos

El control de procesos toma como referencia la medición y el análisis de variables que determinan el funcionamiento de un proceso, la toma de decisiones y la ejecución de acciones de control para dicho proceso. Este tipo de control industrial sirve para tener procesos estandarizados y exactos, evitando mano de obra humana para acciones repetitivas o perjudiciales para la salud. La tendencia constante de la maquinaria industrial de tener incorporados algún tipo de microcontrolador, ayuda en gran medida la interconexión de dispositivos haciendo más fácil la automatización y control de un proceso. Este tipo de control no solo ayuda a agilizar procesos industriales, si no también ayuda con el mantenimiento mismo de la maquinaria usada, debido a que el sistema de control ayuda a recolectar información del rendimiento de la misma, haciendo que se puedan evitar daños futuros. Del mismo modo, estas tareas de mantenimiento también pueden ser automatizadas. [34]

I) Control lógico programable (PLC).

La automatización está asociada con los controladores lógicos programables. El control programado reemplazó a la utilidad de relés electromecánicos para la definición de lógica de una automatización, con lo cual se ha logrado reducir gastos en elementos físicos y cableado al ser reemplazados por líneas de código programadas. Permitiendo así, que en caso de que se requiera alguna modificación en el

sistema solo será necesario actualizar líneas de código sin generar mayores cambios físicos en las conexiones. La programación en PLC se hace de forma empírica por lo tanto diferentes programadores pueden generar códigos que realicen las mismas tareas con diferente estructura. [35]

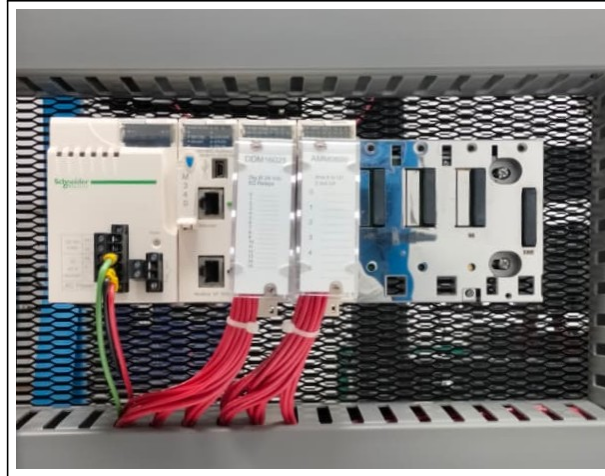


Figura 19: PLC modicon process M340. Fuente: Propia.

3.3. Normativa RETIE

El uso de energía eléctrica en ambientes donde el ser humano y demás están interactuando hace que se deban implementar una serie de normas y protocolos las cuales hacen que garantice la seguridad de todo individuo que esté cerca. De acuerdo con estas normas y protocolos que rigen el diseño y la construcción de las instalaciones eléctricas, estas instalaciones son reguladas en Colombia por el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), se hace un estudio detallado de ramales, acometida, puesta a tierra, alimentador, transformador, detectando si existe algún riesgo para poder verificar con la norma que todo esté en orden, así se pueden reducir los accidentes y los daños materiales o personales [9].

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) [36] establece que las uniones y conexiones entre conductores deben garantizar una continuidad eléctrica adecuada, evitando falsos contactos y la aparición de puntos calientes; para ello, se recomienda el uso de elementos de conexión como borneras o empalmes, que aseguren un contacto confiable, permitan una fijación firme de los conductores y faciliten la inspección y el mantenimiento. Además, el RETIE [37] indica que los contactores deben asegurar una conmutación correcta de la corriente a lo largo de su vida útil, garantizando un funcionamiento confiable dentro del sistema eléctrico, por lo que estos dispositivos deben cumplir normas técnicas reconocidas que validen su desempeño bajo condiciones de operación, permitiendo una maniobra segura de los circuitos de potencia.

En lo referente a la protección contra sobrecorriente, el RETIE [38] establece que los circuitos deben incluir elementos capaces de interrumpir el paso de corriente en situaciones anormales, como sobrecargas o cortocircuitos, y en este sentido, el uso de interruptores automáticos tipo breaker protege los equipos y asegura la operación segura del sistema eléctrico. Asimismo, el RETIE [39] señala que los conductores dentro de los tableros deben conectarse mediante terminales que garanticen una sujeción firme y un contacto eléctrico confiable; además, cada circuito debe contar con puntos de conexión definidos, y el cableado debe estar organizado e identificado, lo que facilita su manipulación y mantenimiento.

3.4. Normativa ISA-95

Esta normativa se refiere al estándar internacional encargado de facilitar la integración de todos los sistemas involucrados en un entorno de fabricación. Haciéndose cargo tanto de las funciones empresariales como de los sistemas de control de una planta. El uso de esta normativa reduce riesgos, costes y errores en proyectos donde varios sistemas conviven entre sí, aumenta la uniformidad además de reducir tiempos de respuesta. Debido a esta norma es posible que dispositivos diversos de distintas marcas y compañías con sistemas operativos y protocolos diferentes sean capaces de compartir información de forma automática. [40]

3.5. Elementos de automatización de la planta

Al realizar el estudio del banco de pruebas de la planta de presión, se identificaron diversos materiales que podían seguir siendo utilizados, así como elementos que fueron agregados posteriormente para mejorar el sistema. Estos materiales cumplen con las condiciones técnicas necesarias para el funcionamiento del banco de pruebas y se describen a continuación en dos grupos distintivos, considerando sus características, rangos de operación y función.

3.5.1. *Materiales existentes:*

A continuación se realizarán las descripciones técnicas de los materiales que ya estaban previamente en la planta y que no fueron reemplazados debido a que estos mismos continuaban siendo funcionales para el sistema.

I) **Tanque de almacenamiento (TK 001):**

Depósito de presión cilíndrico vertical metálico en color azul, con 31,5 cm de altura y 10 cm de diámetro, con volumen aproximado de 2,47 litros; la entrada de aire proviene de un regulador electroneumático SMC, el cual suministra y controla la presión que se almacena en el interior del tanque, el

depósito dispone de una salida constante hacia el sensor de presión HYXC-PEX para la medición de la presión interna y adicionalmente cuenta con una salida hacia las electroválvulas, la cual permanece cerrada hasta el momento donde se energiza ya que la valvula se abre permitiendo el vaciado de la presión almacenada en el tanque a través de dichas electroválvulas. [41]

II) **Manómetros (PI 001):**

El sistema dispone además de dos manómetros de presión analógicos tipo seco, con rango de medición de 0 – 100 PSI (0–7 kg/cm²), entrada inferior y conexión $\frac{1}{4}$ " (Un cuarto de pulgada) NPT (Rosca cónica estándar) en bronce. Están fabricados en acero, con carátula de 2 $\frac{1}{2}$ " (Dos pulgadas y media), esfera de 2 $\frac{1}{8}$ " (Dos pulgadas y un octavo) y ventana de policarbonato. Presentan lectura por aguja y una precisión de $\pm 2\%$ del rango, siendo adecuados para la medición de presión en sistemas de fluidos y gases en aplicaciones industriales, mecánicas y de presión constante. [42]

III) **Electroválvulas (CV 001):**

Para el control automático del paso del fluido, la planta cuenta con dos electroválvulas accionadas por solenoide, alimentadas a 110 V AC (50/60 Hz), de funcionamiento ON/OFF y tipo normalmente cerradas. Estas controlan el paso del fluido abriendo únicamente cuando la bobina recibe energía eléctrica. Tienen montaje en línea, conexión para manguera flexible, cuerpo en material plástico y sellos internos que evitan fugas. Son adecuadas para agua, aire y fluidos compatibles, y se utilizan en bancos de prueba y sistemas de control automático. [41]

IV) **Válvulas manuales (HV 001):**

De manera complementaria, el sistema incorpora dos válvulas manuales tipo bola, usadas para abrir o cerrar el paso del fluido de forma manual mediante una palanca. Funcionan con un giro de 90°, permitiendo o bloqueando el paso interno sin necesidad de energía eléctrica. Se instalan en línea, cuentan con conexiones roscadas y acople para manguera flexible, y permiten identificar fácilmente su estado de apertura o cierre. Se utilizan en bancos de prueba y tuberías de trabajo para controlar el paso de agua, aire u otros fluidos compatibles. [41]

V) **Sensor de presión Hyxc-pex (PIT 001):**

En cuanto a la instrumentación de medición continua, el sistema incluye un sensor de presión Hyxc-pex, diseñado para medir la presión de un proceso y convertirla en una señal eléctrica de 4–20 mA, apta para su lectura por PLC's o controladores industriales. Se utiliza en sistemas donde se requiere medición continua de presión, como líneas de aire comprimido, almacena-

miento de gas y aplicaciones neumáticas. Cuenta con conexión 1/2" (Media pulgada) NPT (Rosca cónica estándar) macho, membrana rasante en acero inoxidable SS316, cuerpo del mismo material y una precisión de $\pm 0.5\%$. Opera con alimentación de dos hilos hasta 35 VDC y un rango de temperatura de operación de -25 a $+85^{\circ}\text{C}$. [43]

VI) Regulador electroneumático SMC (PC 001):

El regulador electro-neumático SMC modelo ITV2030-34N2BL4 es un equipo utilizado para controlar la presión de aire de manera proporcional en sistemas neumáticos. Trabaja con una alimentación de 24 VDC y recibe una señal analógica de 0 a 10 VDC para regular la presión de salida. Su rango de regulación va desde 0,7 hasta 70 psi, y la lectura de presión se visualiza directamente en pantalla en unidades PSI. Tiene un caudal máximo de 4000 L/min, lo que lo hace adecuado para aplicaciones con un consumo considerable de aire. La conexión eléctrica se realiza mediante un conector M8 macho de 4 pines, permitiendo una integración sencilla en sistemas de automatización industrial.[44]

VII) Filtro regulador de presión de aire (AFR 001):

Se dispone también de un filtro regulador de presión de aire con trampilla de agua, el cual permite ajustar y mantener estable la presión del aire comprimido. Cuenta con trampa de agua, la cual retiene la humedad y evita el paso de líquidos al sistema. Incluye un vaso transparente para observar el agua acumulada y purgador inferior para su descarga. Dispone de manómetro para indicar la presión de salida en un rango de 0 a 140 psi y posee conexión roscada de 1/4" (Un cuarto de pulgada) BSP (Rosca paralela estándar). [21]

VIII) Fuente de voltaje 24 v:

La fuente de alimentación para la planta de presión se trata de una fuente de poder de 24V a 60W. Modelo DRP024V060W1AZ, referencia número D0116888, marca Delta Electronics. Su voltaje de entrada de 100-240V AC a 1.5A con una frecuencia de 50-60 Hz, el valor del voltaje de salida de 24V DC a 2.5A. Cuenta con protecciones contra sobrecarga, sobretensión y térmica, sirve para montaje en riel estándar TS35. Sobre sus condiciones ambientales de operación, funciona en temperaturas que circulen entre los -20°C a 75°C aproximadamente, humedad de operación menor al 95 % y vida útil esperada de 10 años. Este dispositivo tiene las certificaciones CE, UL, cULus y RoHS, además cumple con las normas de seguridad UL508, CSA C22.2 No.107.1-01, UL60950-1, la norma CSA C22.2 No.60950-1, IEC 60950-1 y la EN60950-1, EN50178, IEC 62103, IEC 60204-1. [45]

3.5.2. *Materiales adicionados:*

A continuación se realizarán las descripciones técnicas de los materiales que se han adicionado en la planta para garantizar su funcionamiento y mejora del sistema.

I) **Cable eléctrico ST 3×12 AWG1:**

El Cable eléctrico ST 3×12 AWG está compuesto por tres conductores internos: fase, neutro y tierra, cableados entre sí para alimentación en sistemas monofásicos. Cada conductor es de cobre flexible, lo que facilita su instalación y garantiza buena conductividad eléctrica, cuenta con aislamiento individual en PVC, apto para una temperatura máxima de operación de 90 °C en condiciones secas o húmedas, y una temperatura mínima de operación de -25 °C. Sobre el aislamiento incorpora una capa de nylon, que mejora la resistencia mecánica y al desgaste. Exteriormente posee una chaqueta en PVC retardante a la llama, diseñada para brindar protección mecánica y eléctrica. Su tensión nominal de operación es de 600 V.[46]

II) **Cable de cobre THHN No. 12:**

El cable tipo THHN 12 con conductor de cobre suave cableado en formación de 7 hilos, con aislamiento en PVC y cubierta exterior en poliamida (nylon). Presenta una tensión nominal de 600 V y temperatura máxima de operación de 90 °C en ambientes secos y húmedos. El espesor del aislamiento inicia en 0,38 mm y la chaqueta de nylon en 0,11 mm, dependiendo del calibre. La resistencia eléctrica del conductor está especificada en Ω/km a 20 °C, y tanto el diámetro exterior como la masa lineal varían de acuerdo con el calibre seleccionado.[47]

III) **Contactor Chint NC1-3210 110V 60Hz**

El contactor NC1 soporta una corriente nominal de hasta 32 A a 400 V AC, posee 3 contactos principales NA y un contacto auxiliar NA. Su estructura es de tamaño 4 (3P) y tiene una tensión nominal de aislamiento de 690 V CA. Categoría AC-3, AC-4, una vida eléctrica de hasta 800000 operaciones y vida mecánica de 10 millones de operaciones, lo cual garantiza una operatividad continua y prolongada. Tiene una bobina de control CA, con una tensión nominal de 110V, frecuencia a 60Hz, la bobina tiene una potencia de cierre de 110 VA, de retención de 14 VA y potencia de 3 a 4 W, este contactor soporta ciclos de trabajo ON/OFF frecuentes para pruebas experimentales.

Las condiciones de operación ambientales del contactor son de una altitud menor o igual a 2000 m y temperatura ambiental de -5°C +40°C y una inclinación de montaje de más o menos 5° máximo respecto al plano vertical. Cuenta con certificaciones CE, KEMA, VDE, EK, EAC, RCC, UL y cuenta

con la norma IEC/EN 60947-4-1. Este contactor permite tener versatilidad experimental al poder configurar circuitos de control manual o automático, ideal para el sistema implementado en la planta de presión. [48]

IV) **Mini Breaker monofásico 20AMP 6KA CILES**

El breaker termomagnético marca CILES para riel cuenta con una capacidad nominal de 20A y de cortocircuito de 6KA, con configuración monopolar (1 polo). Tiene una tensión nominal 120V AC, tensión de impulso de 4 KV y frecuencia de operación de 60 Hz AC. Su curva de disparo tipo C para cargas con corriente de arranque moderada. Sobre la protección térmica, posee un elemento bimetálico para protección contra sobrecargas sostenidas, con actuación gradual según curva tiempo-corriente. Respecto a la protección magnética, su mecanismo es de bobina con lámina de disipación de arco, cuya función es proteger el dispositivo contra cortocircuitos con una actuación instantánea. Este dispositivo cumple con el reglamento RETIE y la norma IEC 6089-1, debido a que cumple con los materiales termoplásticos certificados, ensayos de cortocircuitos, y curvas de disparo verificadas. [49]

V) **Borneras:**

Las borneras utilizadas para este proyecto, son de marca VOLTAH, se trata de borneras de paso para riel DIN estándar de 35 mm. Dimensiones de alto 40 mm y ancho de 40 mm, color gris, material de construcción PA6.6V2, con puente de cobre, tornillos y contactos de acero CK45. Soportan hasta una tensión nominal de 750 V a una corriente nominal de 57 A, sección nominal del conductor de 10 mm². Cuenta con certificación RoHS y normativa de fabricación IEC60947-7-1. [50]

VI) **Pulsador metálico 22 mm N/C:**

Se utilizaron pulsadores metálicos modelo NP2-BA42, normalmente cerrados (1NC), con diámetro de montura de 22 mm y cuerpo de aleaciones de zinc y aluminio, los contactos soportan una corriente térmica nominal de 10 A, con corriente nominal de funcionamiento bajo categoría AC-15 de 3A a 240V y 1.9A a 415V. La tensión nominal de funcionamiento es de hasta 380 V AC y 220V DC, una frecuencia de 50/60 Hz. Tienen una tensión de aislamiento de 415V y un impulso soportado de aproximadamente 6 KV. Cuentan con un grado de protección de IP40 y un ciclo de vida mecánico de al menos 500000 operaciones. El dispositivo cumple con la normativa IEC/EN 60947-5-1 y posee las certificaciones RoHS, CE, UL. Sobre sus parámetros de operación ambiental, funciona a una temperatura entre -5°C +40°C, con una humedad relativa menor o igual al 50 % a 40°C (hasta 90 % a 20°C) y altitud menor o igual a 2000 metros sobre el nivel del mar. [51] [52]

VII) Pilotos LED 22mm 220V:

Se hizo uso de pilotos LED luminosos modelo LD11S-22, tanto rojos como verdes para servir como indicadores de las funciones del sistema. Su diámetro de montaje es de 22mm y funcionan a un voltaje de 220V, con un modo de caída de presión capacitivo AC. Tiene una tensión de aislamiento (U_i) de 690 V, tensión de impulso soportado de (U_{imp}) de 6 kV, tensión de operación nominal de (U_e) de 220V-380V, corriente de trabajo nominal menor o igual a 20 mA y una vida útil de 30000 horas, con una frecuencia de operación de 50/60 Hz. Sobre sus condiciones ambientales, cuenta con un rango de operación de -25°C $+55^{\circ}\text{C}$, la temperatura promedio en 24 horas no debe superar $+35^{\circ}\text{C}$ durante operación. Cuenta con certificaciones CCC, estándar nacional GB/T14048.5 y RoHS. [53]

VIII) Pilotos LED 22mm 24V:

Del mismo modo también se emplearon pilotos LED Monoblock modelo QE22G-24 colores verde y rojo para parte de los indicadores del tablero. Estos pilotos funcionan a un voltaje AC/DC de 24V a 20 mA, tienen un diámetro de montaje de 22 mm, una altura de 29 mm y grado de protección de IP40. Cuenta con una frecuencia de aplicación de 50 60 Hz y una fluctuación de voltaje admisible de más o menos 20 %. Vida útil de 300000 horas de funcionamiento continuo. [54]

IX) Botón manual automático:

Para el selector de estados manual automático se utilizó el bloque de contactos metálico CHINT NP2-BE101, su tipo de contactos es normalmente abierto (NA), tiene una tensión nominal (U_i) de 415V, una corriente térmica convencional (I_{th}) de 10A, valores nominales eléctricos de 380 V AC y 220 V DC, con una frecuencia de 50/60 Hz. Tensión (U_e) de 240V, corriente (I_e) AC-15 de 3A, corriente (I_e) DC-13 de 0.27A. Sobre su durabilidad se especifica tener una vida eléctrica AC de 5×10^5 maniobras, DC 2×10^5 maniobras y una vida mecánica de hasta 1000000 maniobras. Funciona en temperatura ambiente desde -5°C $+40^{\circ}\text{C}$, una temperatura promedio de 24h no superior a los $+35^{\circ}\text{C}$, altitud menor o igual a 2000 m y humedad relativa de 40°C a un valor menor o igual a 50 %. Cuenta con la protección IP40 y normativa IEC/EN 60947-5-1. [52]

X) Botón de parada de emergencia:

Para el botón de parada de emergencia se utilizó el pulsador modelo ZB2-BE102C, del fabricante SONTUNE. Sobre sus características de funcionamiento se tiene que funciona con una corriente térmica nominal (I_{th}) de 10A, una tensión de aislamiento (U_i) 600V, una tensión de impulso soportado (U_{imp}) de 6 kV y una capacidad AC-15 de 240V 3A. Es un pulsador

con contacto tipo NC de acción de enclavamiento. La abertura de montaje es de 22mm y el botón es de tipo hongo con 40mm de diámetro. Cuenta con certificación IEC60947-5-1. [55]

4. Capítulo 4 Implementación de la solución

En las siguientes secciones se describen los hallazgos encontrados y actividades realizadas durante las fases de desarrollo del proyecto.

4.1. Levantamiento de información

La planta de presión de la universidad autónoma del Cauca, ubicada en los laboratorios de ingeniería electrónica, presentaba un funcionamiento inadecuado y nulo en algunos de sus componentes. Durante la inspección inicial se evidenciaron fugas en las tuberías, cableado expuesto, además de obsolescencia o mal funcionamiento de sus dispositivos instalados. Muchos de los dispositivos que usaba, no funcionaban en su totalidad como el sensor de presión ubicado sobre el tanque de compresión de aire, que funciona en un rango de valores diferentes al que debería funcionar, el PLC que tenía instalado era obsoleto, presentaba cables sin conectar, además de empalmes que estaban mal conectados distribuidos a través de las canaletas, y la ausencia de borneras que permitan una mejor organización de entradas y salidas en las conexiones de la planta.

Todos estos problemas influían al desuso del material disponible en el laboratorio para el estudiante, debido a esto, este proyecto se enfoca en la reparación y actualización de este sistema. Por lo anteriormente expuesto, se implementaron nuevos dispositivos electrónicos mencionados más adelante en este capítulo, esto con el propósito de volver a hacer funcional uno de los recursos del laboratorio y permitir a futuros estudiantes mayor aprendizaje al momento de trabajar con sistemas industriales.

En las figuras mostradas a continuación podemos observar muchos de los problemas descritos anteriormente. Como primera evidencia, tenemos la regleta de cables plástica que se muestra en la figura 20, donde se observa claramente que los cables se encuentran pobremente organizados. Además, no todos los cables poseen su debido etiquetado; el etiquetado que se muestra, es viejo y poco legible. Se puede agregar también que este tipo de conexión no respeta las normas de conectividad para este tipo de sistemas eléctricos, se evidencia que en algunos puntos existe más de un punto de salida correspondiente a una sola entrada de corriente.

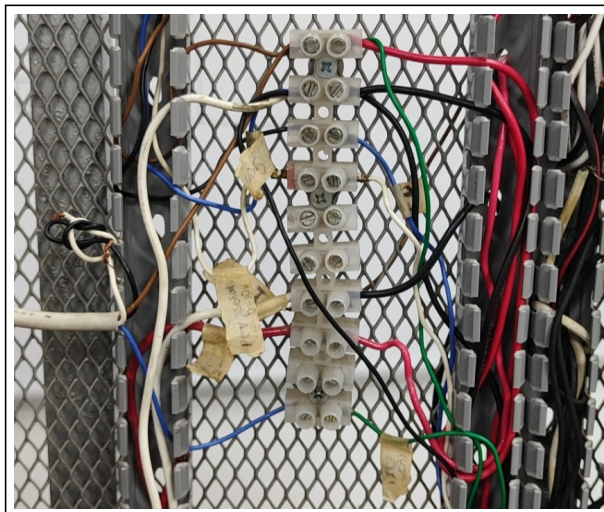


Figura 20: Regleta plástica. Fuente: Propia.

Del mismo modo, en diferentes puntos de conexión de la planta se hallaron cables sueltos, enmarañados o expuestos, susceptibles a realizar cortocircuito debido a la falta de aislamiento eléctrico. Este tipo de cables, no solo representa un riesgo de seguridad para el personal que manipula este tipo de maquinaria, sino también hace que el sistema encarezca de orden aparente, dificultando su reparación inmediata.



Figura 21: Cableado expuesto en la canaleta. Fuente: Propia.

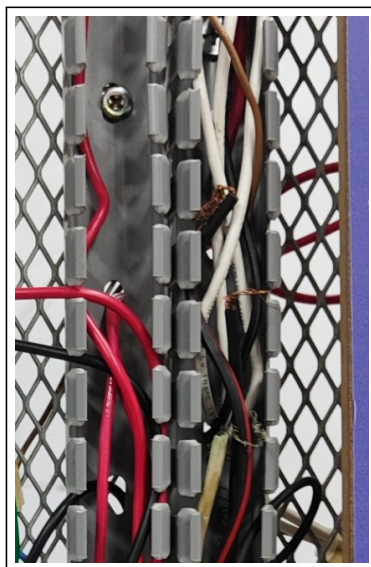


Figura 22: Cableado expuesto en la canaleta. Fuente: Propia.

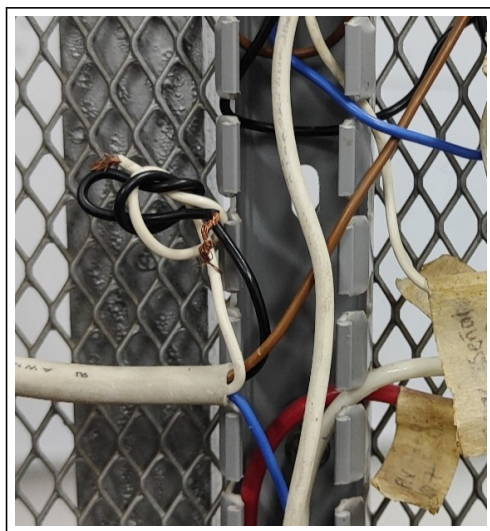


Figura 23: Cableado enmarañado y expuesto. Fuente: Propia.

Por otro lado, el PLC conectado conjunto a la planta, es un dispositivo poco reconocido en el mercado de la automatización, esto mismo dificulta su uso en entornos de aprendizaje, razón por la cual no se enseña entre las horas de pedagogía. Esto se debe a que presenta un soporte técnico reducido, menos certificaciones internacionales y un ecosistema reducido de integración con otros sistemas. Asimismo, este PLC cuenta con menor disponibilidad de repuestos en comparación a otras marcas, lo cual hace difícil conseguir partes perdidas del mismo, como el cable de programación del dispositivo. Respecto a sus especificaciones técnicas, este dispositivo cuenta con una capacidad limitada de 24 entradas/salidas integradas y menor robustez en comparación con los PLC

Modicon disponibles en el laboratorio. Además, es más favorable no tener un solo PLC conectado y disponible para la planta; hacer que el sistema reconozca varios controladores programables resulta más favorable al momento de la práctica y enseñanza.

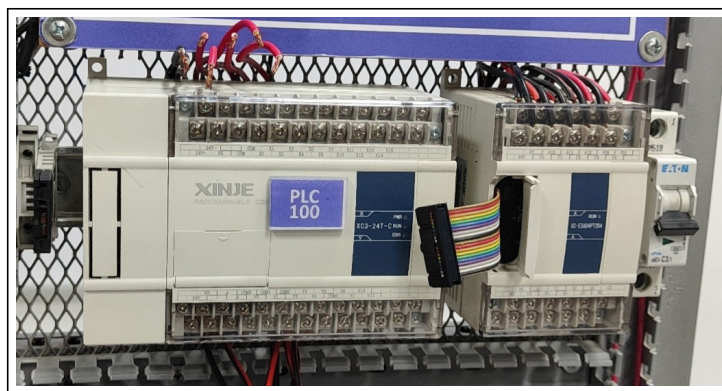


Figura 24: Controlador lógico programable (PLC). Fuente: Propia.

El sensor de presión Hyxc-pex, utilizado para monitorear y controlar la presión dentro del tanque de compresión de aire, no funcionaba correctamente al momento de iniciar este proyecto. No mostraba valores confiables, por lo tanto se realizó una inspección detallada del dispositivo. Así, se evidenció que los cables de alimentación y señal no estaban conectados a sus terminales correspondientes. Una vez corregida esta conexión, el sensor comenzó a funcionar correctamente, siendo posible su uso sin necesidad de reemplazo.



Figura 25: Sensor de presión Hyxc-pex. Fuente: Propia.

La planta contaba con dos tableros de control que no presentaban una distribución clara ni uniforme. Visualmente resultaban confusos, dado a que sus dimensiones eran disparejas y no concordaban entre sí, afectando notablemente la presentación general del banco de pruebas. En el tablero principal se encontraban únicamente dos pilotos, dos botones pulsadores, un interruptor tipo palanca (toggle) y un selector rotativo, los cuales no cumplían ninguna función dentro del sistema, pues no encendían ni controlaban ningún proceso de la planta.

Adicionalmente, estos dispositivos se encontraban etiquetados únicamente con la letra “S”, lo cual dificulta su identificación, puesto que no se podía determinar a qué correspondía cada elemento ni qué función debía cumplir. En este mismo tablero se encontraba instalado un controlador PID ATR243, el cual tampoco se encontraba en funcionamiento.



Figura 26: Tablero de mando superior. Fuente: Propia.

En el segundo tablero se hallaban las entradas correspondientes a las conexiones externas, los puntos del tablero resultaban confusos a primera vista, no presentaban jerarquía visual clara, así mismo, la mayoría de entradas y salidas estaban inutilizadas o resultaban redundantes. Ahora bien, el material de ambos tableros, en madera (MDF), es susceptible a la degradación del material y la absorción de humedad como se muestra en la figura 28; estos detalles dan como resultado en un aspecto deteriorado y manchado con el tiempo.

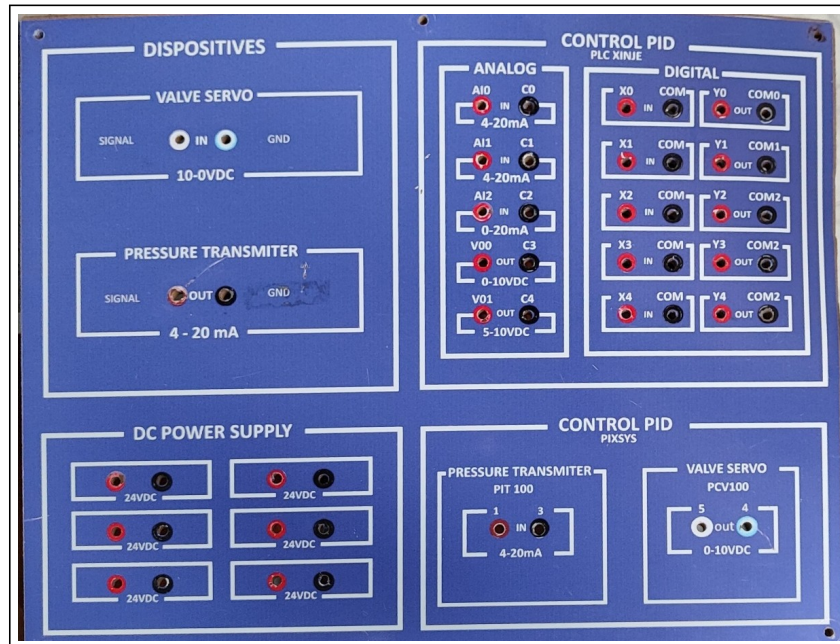


Figura 27: Tablero de mando inferior. Fuente: Propia.

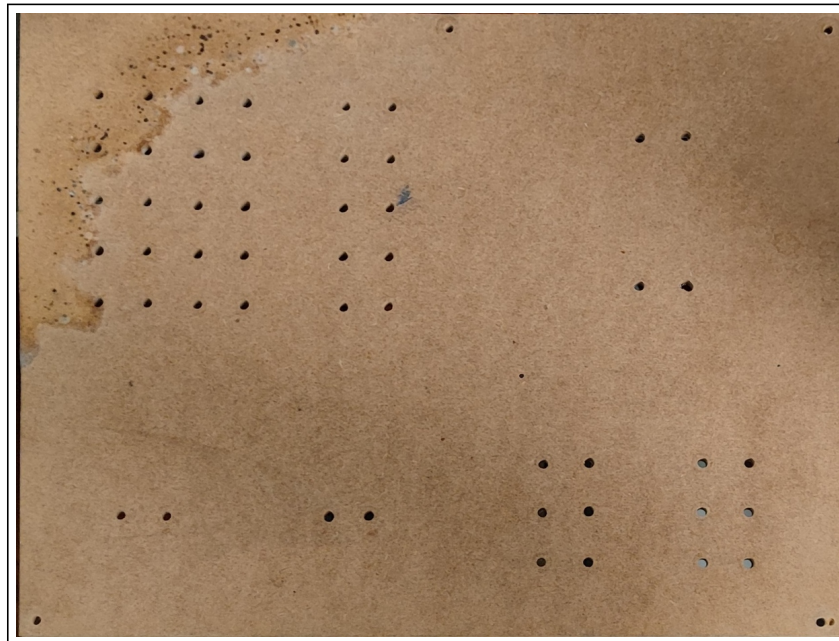


Figura 28: Tablero de mando inferior parte trasera. Fuente: Propia.



Figura 29: Tableros completos. Fuente: Propia.

Debido a las fugas presentadas en gran parte del sistema, los manómetros no indicaban ningún valor de medición, el aire del compresor se escapaba por las uniones de los componentes, causando que el regulador electroneumático SMC ITV1050-31N4 1000 tampoco se encontrará operativo, pues no era capaz de tomar los valores de medición debido al escape de presión acumulada en las tuberías.

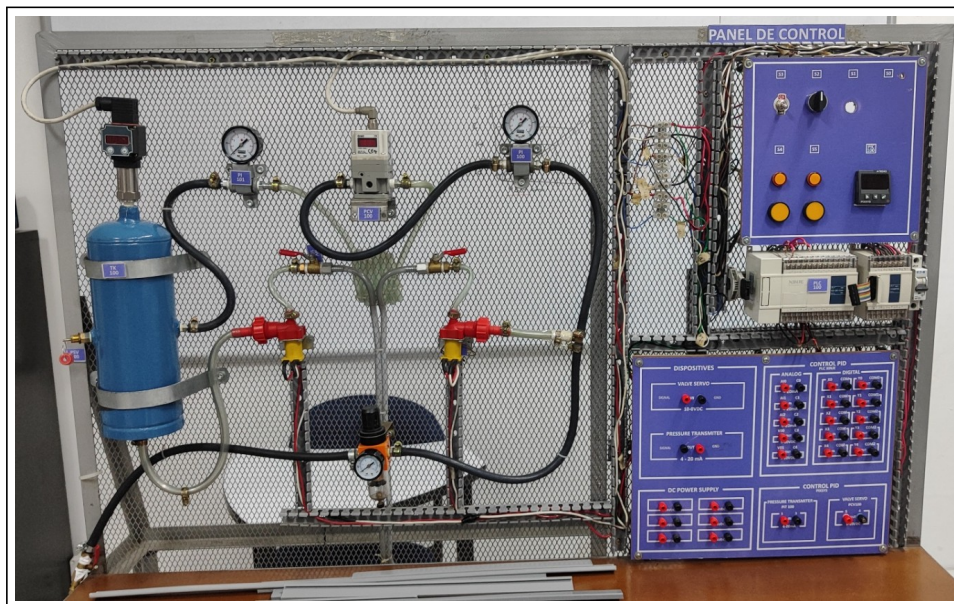


Figura 30: Planta de presión antigua. Fuente: Propia.

4.2. Actividades realizadas

El objetivo de este proyecto es mejorar y actualizar la planta de presión para conseguir un sistema funcional y útil para la comunidad estudiantil, para esto, se instalaron nuevos dispositivos e instrumentos, tales como borneras, pulsadores y switches que permiten una mejor manipulación de la planta, además de dispositivos nuevos como breakers, un contactor y cableado nuevo. Estas nuevas actualizaciones permiten que el sistema ahora funcione correctamente, las conexiones ahora son más limpias y entendibles. Se realizó un diagrama de cableado que permite visualizar las conexiones de cada dispositivo, además de un diagrama P&ID para mayor organización.

4.2.1. Modernización del Tablero

El tablero anterior, hecho de madera MDF, se encontraba en un estado de deterioro por el tiempo y la humedad del ambiente. Fue sustituido por un nuevo tablero hecho de acrílico de 5mm, un material resistente a la degradación con el tiempo, fácil de limpiar y mantener. Las láminas de acrílico cubren la mayor parte del panel de control, dejando acceso a los dispositivos importantes que requieren manipulación frecuente sin necesidad de desmontarlo. El diseño del nuevo tablero es más limpio e informativo, con un etiquetado mucho más intuitivo para el estudiante, esto hace que se facilite la manipulación de la planta. Por otro lado, la organización del nuevo tablero es efectiva al mantener los elementos más importantes a la vista, y proteger el cableado que no debe ser manipulado.



Figura 31: Tablero de acrílico nuevo. Fuente: Propia.

Se substituyó gran parte del cableado eléctrico de la planta de presión por un nuevo sistema de cableado, haciendo uso de cable de cobre calibre THHN No.12 rollo 7 hilos rojo y negro. Este cable permitió mantener un mayor orden en el sistema, además de poseer una resistencia superior a la del cable que se encontraba anteriormente, debido a esto es menos propenso a romperse y desgastarse con el tiempo, evitando accidentes, cortocircuito o mal funcionamiento de la planta. Del mismo modo, para cada uno de los componentes conectados en el sistema, se acoplaron empalmes en cada terminal de los cables para garantizar la conductividad eléctrica en la instalación y evitar interrupciones en el flujo de corriente.

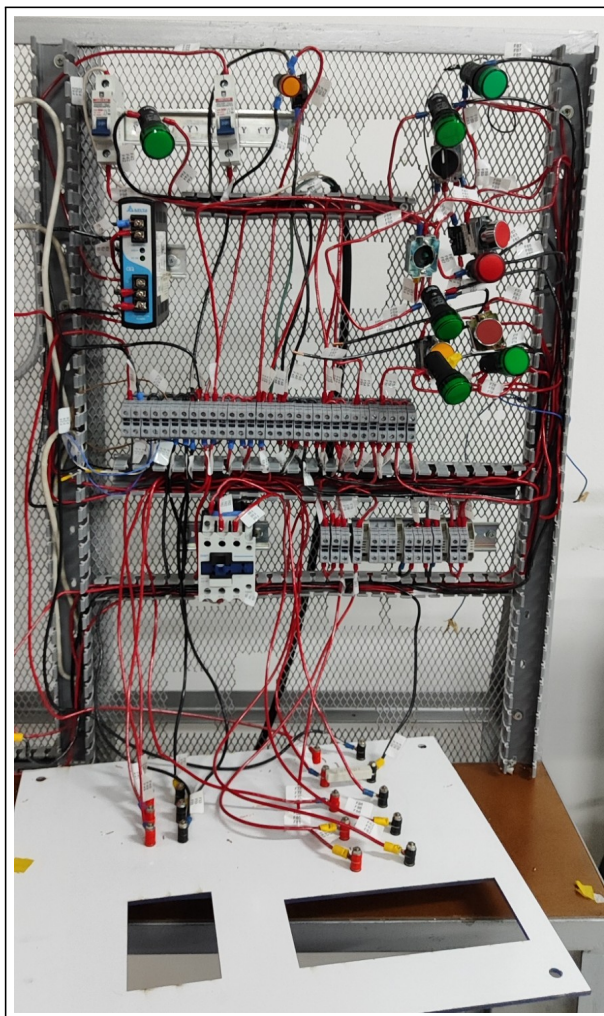


Figura 32: Cableado nuevo. Fuente: Propia.

4.2.2. *Implementación del Etiquetado*

Durante el proceso de mejoramiento de la planta de presión se realizó la actividad de etiquetado del cableado, debido a que las etiquetas anteriores se encontraban en mal estado, algunas estaban deterioradas, en otras no se alcanzaba a leer la información plasmada y en varios casos eran hechas con cinta de enmascarar y marcadas con lapicero, lo cual dificultaba su identificación y resultaba en que este se viera desordenado.

Además había conectores que no contaban con ningún tipo de identificación, como se muestra en la figura 33 y la figura 34, por tal motivo se implementó un nuevo etiquetado utilizando formas adhesivas con un rotulado claro y uniforme, organizadas mediante una numeración desde F20 hasta F101, donde los números pares se asignaron a las entradas de las borneras y los números impares a las salidas de las borneras, permitiendo así una mejor organización e identificación de cada conexión, como se puede observar en la

figura 35 Y y 36.

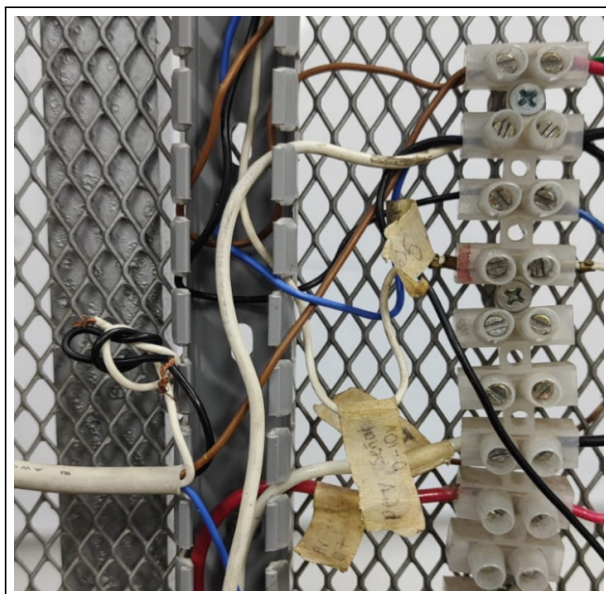


Figura 33: Etiquetado Anterior. Fuente: Propia.



Figura 34: Etiquetado Anterior. Fuente: Propia.

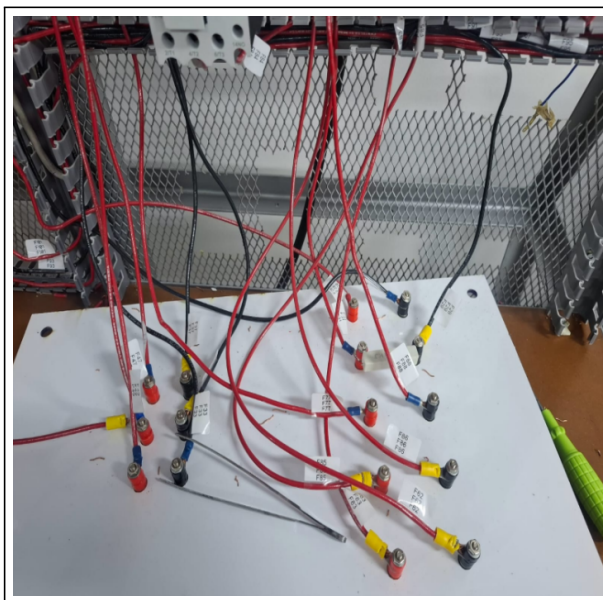


Figura 35: Etiquetado Nuevo. Fuente: Propia.

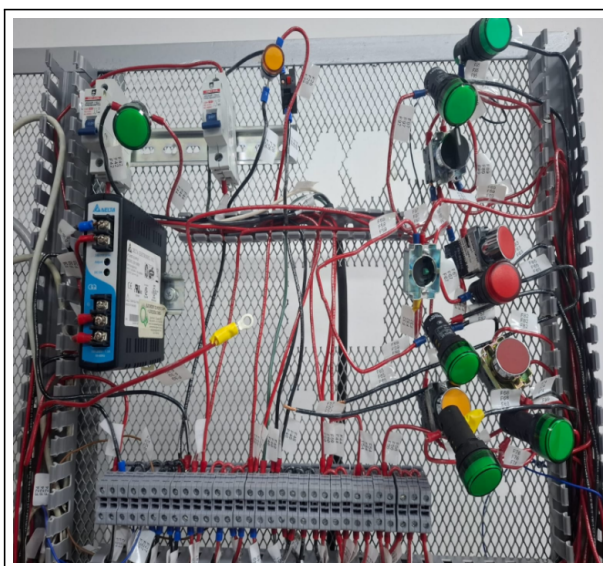


Figura 36: Etiquetado Nuevo. Fuente: Propia.

Adicionalmente cada cable fue marcado con la misma etiqueta tanto al inicio como al final del mismo, es decir, se colocaron dos etiquetas iguales por conductor, esto con el fin de mantener un orden más claro, haciendo las tareas de mantenimiento y de revisión del cableado más fáciles de comprender hacia dónde va cada conexión y cómo está organizado todo el sistema.

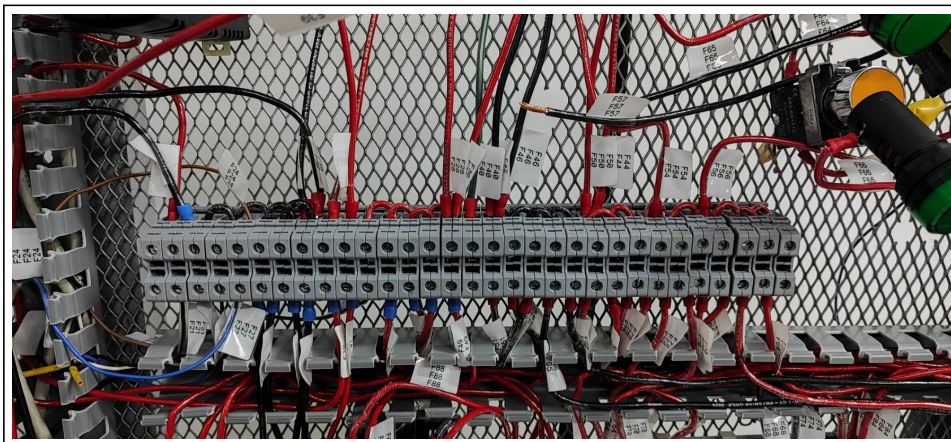


Figura 37: Etiquetado nuevo. Fuente: Propia.

Para tener una organización acorde a los planos de P&ID también se hicieron etiquetas de acrílico, las cuales igual que el diagrama mencionado, se rigen por la normativa ISA S5.1, la cual describe la nomenclatura adecuada para nombrar instrumentos en el campo de la ingeniería. Estas etiquetas permiten tener una referencia visual al momento de operar la planta, debido a que facilitan la relación de los planos de ingeniería con el sistema físico real.

Las etiquetas anteriores encontradas en el sistema eran pequeñas y el rotulado ya presentaba signos de deterioro dificultando la visualización de la misma, como lo muestra la figura 38, debido a esto se rediseñaron las nuevas etiquetas de un tamaño un poco más grande, similar al de las etiquetas de las plantas Amatrol encontradas en el laboratorio, esto con el fin de mejorar la visibilidad y asegurar que todos los elementos de la planta tuvieran su correspondiente identificación. Las dimensiones de las nuevas etiquetas se pueden observar en la figura 39 y en la figura 40, se muestra el diseño de las mismas, en las cuales se denotan una identificación más clara de cada componente de acuerdo a la normativa ISA S5.1. De esta manera, se facilita la comprensión del funcionamiento general del sistema y mejora su interpretación por parte de los estudiantes durante el uso de la planta. El resultado final de las etiquetas se muestra en las figuras 41 y 42 a continuación.



Figura 38: Anteriores etiquetas del banco de pruebas. Fuente: Propia.

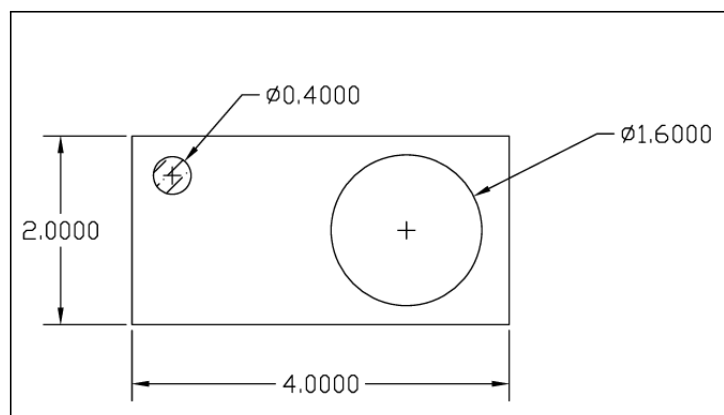


Figura 39: Medidas de las nuevas etiquetas del banco de pruebas. Fuente: Propia.

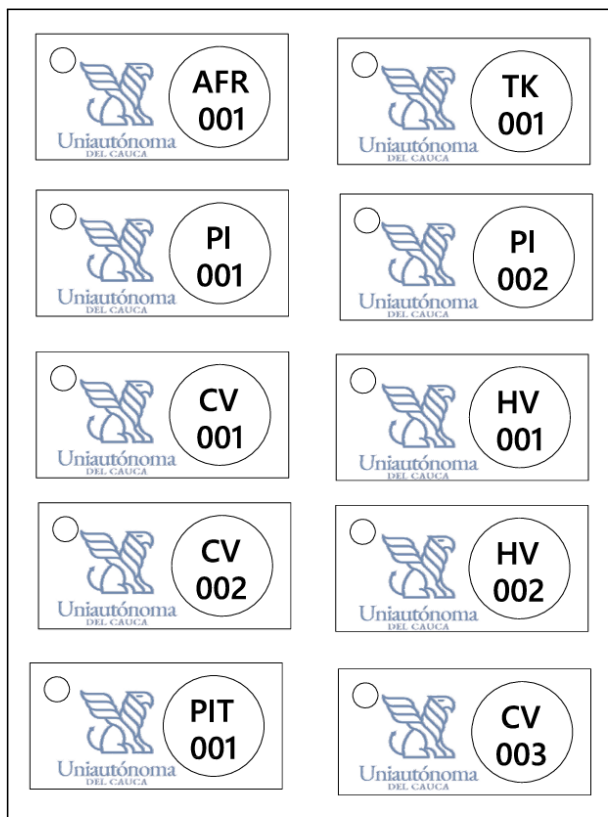


Figura 40: Diseño de las nuevas etiquetas del banco de pruebas. Fuente: Propia.

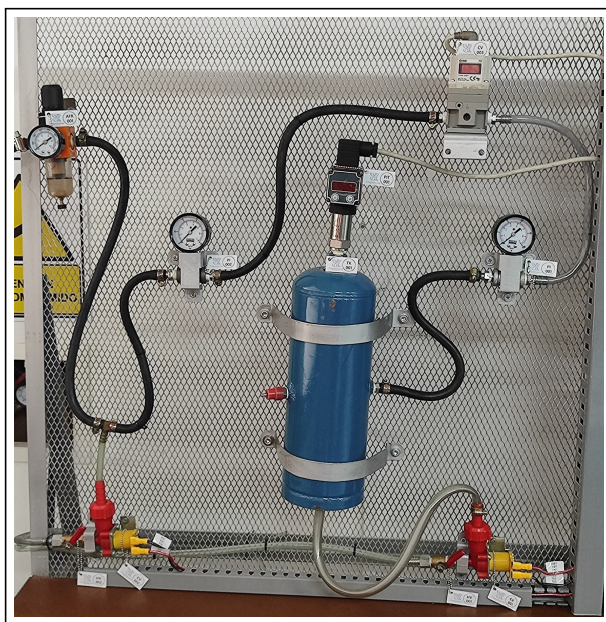


Figura 41: Resultado final de las etiquetas. Fuente: Propia.



Figura 42: Resultado final de las etiquetas. Fuente: Propia.

4.2.3. *Implementación de los Materiales Nuevos*

En las salidas marcadas como “Pressure Transmitter” de la parte inferior del tablero, se instaló una resistencia de carga de 10 W y $1k\Omega$. con tolerancia del $\pm 5\%$, esto permite que el transmisor de presión de dos hilos siempre se encuentre conectado y opere correctamente, debido a que este tipo de dispositivo utiliza el mismo par de cables para alimentación y transmisión de señal. La resistencia convierte la señal de corriente del transmisor en una señal de voltaje proporcional que puede ser medida y procesada por algún controlador.

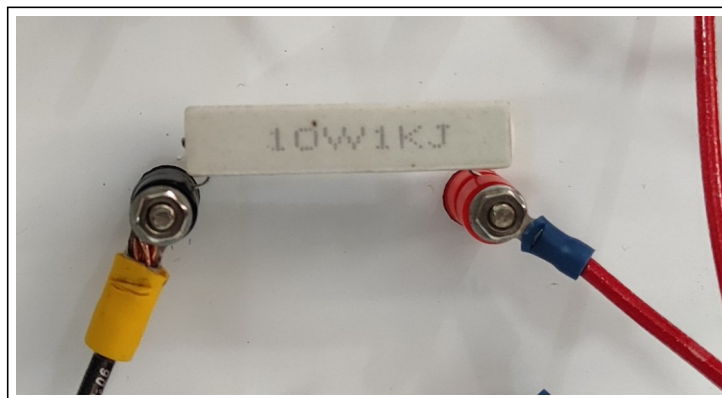


Figura 43: Punto de observación resistencia shunt. Fuente: Propia.

Las canaletas existentes presentaban deterioro significativo, con roturas en sus hendiduras que daban un aspecto degradado y poco profesional al sistema en general. Las nuevas canaletas poseen mayor capacidad, esto permite organizar más cables dentro de la misma, mejorando el orden y la presentación de la planta. Además, agilizan las tareas de reparación y detección de errores, ofrecen mejor protección mecánica y reducen interferencias electromagnéticas en equipos sensibles.



Figura 44: Canaletas nuevas. Fuente: Propia.

En cuanto al sistema de distribución, el cableado anterior no contemplaba ningún tipo de orden y se respaldaba en una regleta plástica a la que llegaban la mayoría de cables de los componentes de manejo de presión hacia el resto de componentes del panel de control. Este elemento no solo daba una apariencia desordenada, sino que dificultaba el mantenimiento de todo el sistema. Por el contrario, la implementación de borneras para riel, representan una solución más robusta y ordenada respecto al manejo de cableado. Las borneras ayudan a la organización de entradas y salidas de voltaje, lo cual facilita la revisión de componentes, debido a que hace más sencillo el seguimiento y mapeo de cables.

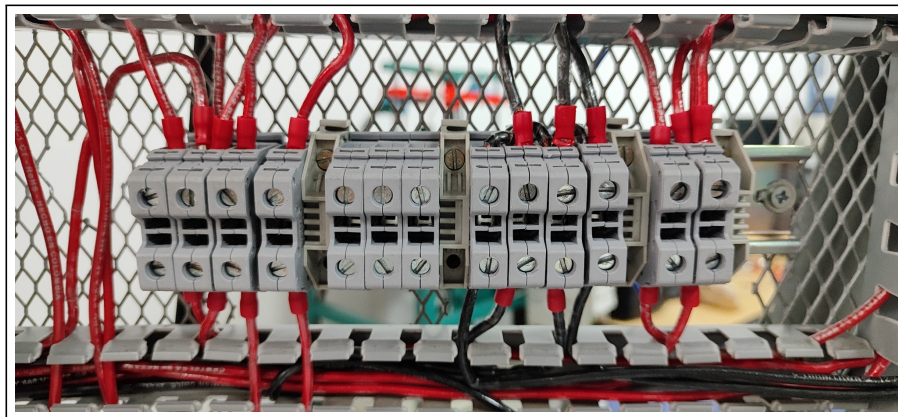


Figura 45: Borneras. Fuente: Propia.

Respecto a los dispositivos de control, el panel disponía de una cantidad mínima de interruptores que permitieran realizar un control adecuado, limitándose a los interruptores de activación para las electroválvulas y un switch de activación para todo el sistema. El nuevo panel de control incorpora una mayor cantidad de elementos que permiten una manipulación adecuada de la planta. Se integraron nuevos botones de seguridad para inicio y parada del proceso, además del botón de parada de emergencia industrial que permite detener completamente la planta. Se adicionó un seleccionador de tres estados (manual, automático y neutro) que facilita el testeado del sistema según sea el requerimiento. Se añadieron una mayor cantidad de pilotos LED, en colores rojo y verde, que permiten mayor claridad visual al momento de interactuar con la planta. Esto facilita tener una referencia visual rápida para comprender el funcionamiento normal del sistema y permite la detección de fallos de forma más puntual y efectiva. Estas adiciones incrementan el control y seguridad operativa al momento de trabajar con este tipo de sistemas, hacen que el proceso de manipulación sea más ordenado y evidente a simple vista.



Figura 46: Tablero de acrílico nuevo parte superior. Fuente: Propia.

Para el manejo de cargas eléctricas, anteriormente la planta empleaba un switch que hacía las veces de relé para enviar corriente a todo el sistema una vez activado. Los switches no soportan la misma carga que un contactor sin sobrecalentarse, esto acelera su desgaste y puede provocar fallos a futuro. Por esta razón, se adicionó un contactor eléctrico de 110 V entre los elementos de la planta. Con esto, se logra usar una señal de control de bajo voltaje para activar todo el sistema, manteniendo mejor la tensión de la planta al tener mayor control sobre la energía suministrada. Además, el uso del contactor protege el resto de elementos electrónicos de sobrecargas inesperadas, ofreciendo mayor protección al sistema en general.

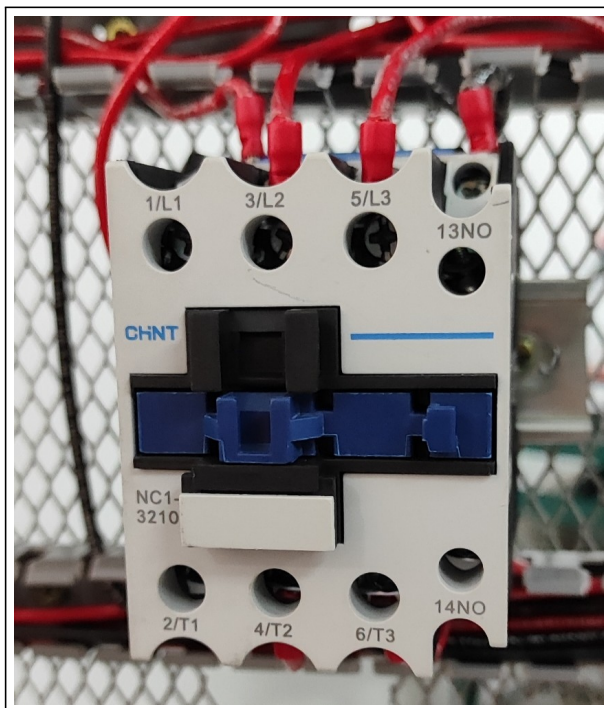


Figura 47: Contactor 110V 60Hz. Fuente: Propia.

En términos de protección eléctrica, la planta de presión contaba con un único breaker que alimentaba el PLC anteriormente conectado al sistema. Este fue reemplazado por dos nuevos breakers los cuales sirven como totalizadores de alimentación. Uno de los breakers se destinó para la alimentación de 110V AC de los elementos que requieren corriente alterna para funcionar, mientras que el otro breaker se destinó como totalizador para los dispositivos que se alimentan de la fuente de 24V DC. De este modo, la planta ahora cuenta con dos breakers: el primero sirve como totalizador de 110 V e inicia los procesos principales de la planta, y el segundo de 24 V activa el panel de control y otros elementos que operan bajo este voltaje.



Figura 48: Minibreaker monofásico 20AMP. Fuente: Propia.

Al llegar a la planta la primera actividad realizada fue analizar cuáles eran los principales problemas del sistema, realizando todo el levantamiento de información necesario antes de empezar la remodelación. Consecuente a lo anterior, se procedió a retirar todos los elementos encontrados sobre la estructura, los cuales fueron limpiados cuidadosamente y guardados en una caja, de forma que ninguno de los elementos fueran dañados mientras se realizó el resto de limpieza sobre el armazón metálico donde se encuentra todo el sistema suspendido, el cual se encontraba deteriorado, mostrando puntos donde la pintura de la misma se comenzaba a despegar de la superficie. Así, tras limpiar toda la superficie se procedió a volver a pintar todas las partes metálicas y soportes del mismo color plateado haciendo uso de pintura en aerosol. Una vez la pintura se secó se procedió a volver a poner los elementos principales en la estructura, ubicando el tanque, las mangueras, los sensores de presión y los manómetros.



Figura 49: Instalación de materiales. Fuente: Propia.



Figura 50: Instalación de materiales. Fuente: Propia.

4.2.4. *Implementación de Soportes 3D*

Los soportes de los manómetros fueron cambiados por estructuras impresas en 3D, anteriormente estos eran sostenidos por dos piezas de metal unidas entre ellas, las cuales sostenían el elemento en la estructura, estas mismas se encontraban desgastadas y no eran lo suficientemente seguras, pues podían ser desfiguradas fácilmente. Por esta razón

se decidió en reemplazar estos soportes metálicos por unos impresos en 3D de material PLA blanco, el cual también fue pintado del mismo color plateado metálico para que quedara acorde al resto de los elementos. En la figura 53 se muestra el resultado final del nuevo soporte ya montado sobre el manómetro.

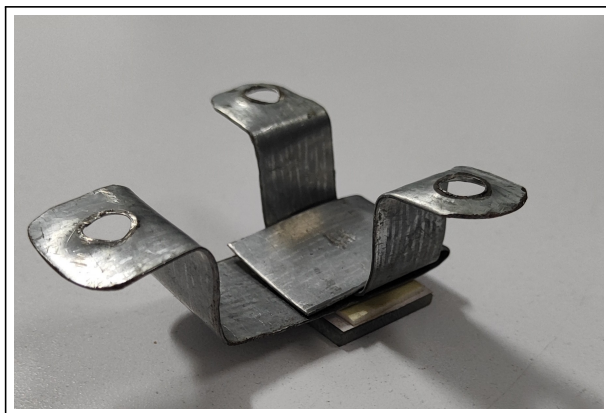


Figura 51: Soporte metálico anterior. Fuente: Propia.

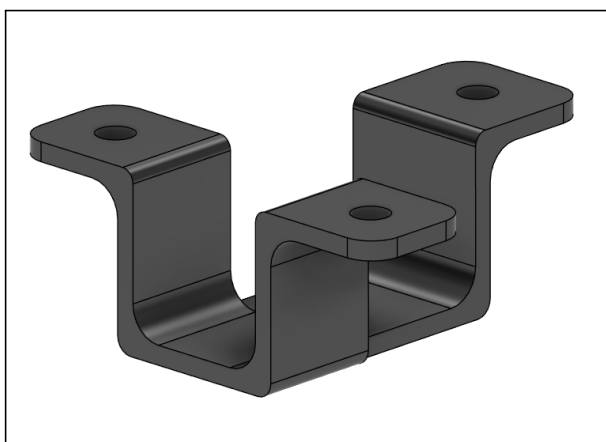


Figura 52: Diseño del nuevo soporte 3D. Fuente: Propia.



Figura 53: Nuevo soporte 3D montado en el manómetro. Fuente: Propia.

Del mismo modo se realizaron soportes en 3D para las válvulas en la parte inferior del sistema, debido a que ahora están acopladas las válvulas manuales con las electroválvulas, es necesario un soporte extra para garantizar la seguridad de ambos instrumentos y evitar daños debido a fuerzas mal ejercidas al momento de manipular las válvulas manuales. En la figura 56 se muestra el resultado final del soporte para ambas válvulas ya implementado en el sistema.

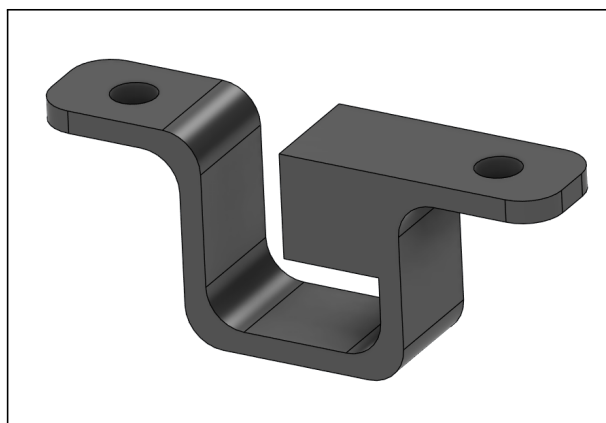


Figura 54: Soporte 3D para las válvulas. Fuente: Propia.

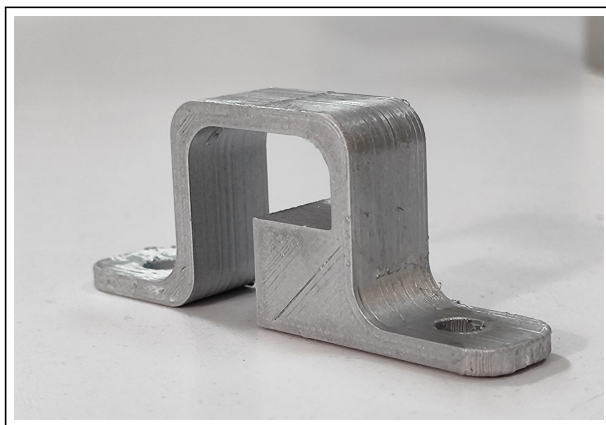


Figura 55: Soporte 3D para válvulas impreso. Fuente: Propia.

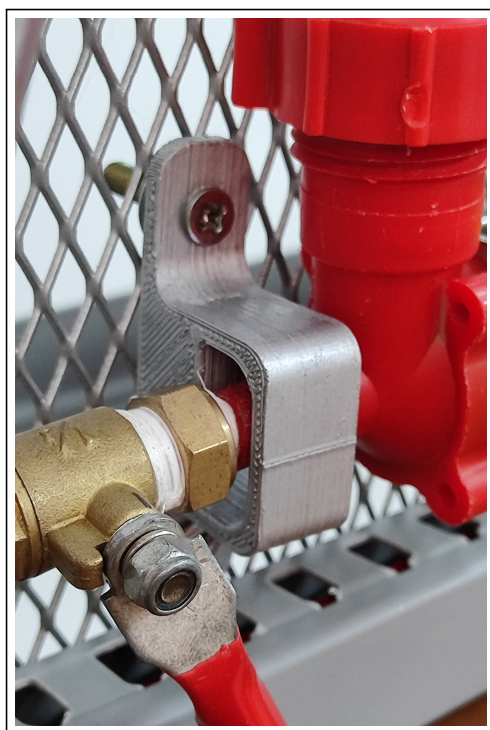


Figura 56: Soporte 3D montado en las válvulas. Fuente: Propia.

4.3. Pruebas y funcionamiento

En este apartado se verificarán las pruebas y funcionamiento del sistema, mediante pruebas ensayo error de la siguiente manera.

4.3.1. Verificación de Alimentación Eléctrica

Con el propósito de determinar y comprobar la funcionalidad del tablero, se hace una reseña de imágenes guía para evidenciar su correcto funcionamiento. Inicialmente, se verifica el sistema de encendido, el cual depende de los breakers de inicio del proceso. El primer breaker corresponde a la alimentación de 110 V AC; al activarlo, debe encender el piloto indicador ubicado junto a este, identificado en el tablero de control como “110V AC TOTALIZER”, tal como se muestra en la figura 57. Este breaker permite energizar todos los dispositivos que operan con tensión AC, entre ellos el contactor, las electroválvulas “CV001” y “CV002”, el botón de emergencia “EMERGENCY STOP” y la perilla de selección de estados “MANUAL/AUTOMATIC.”

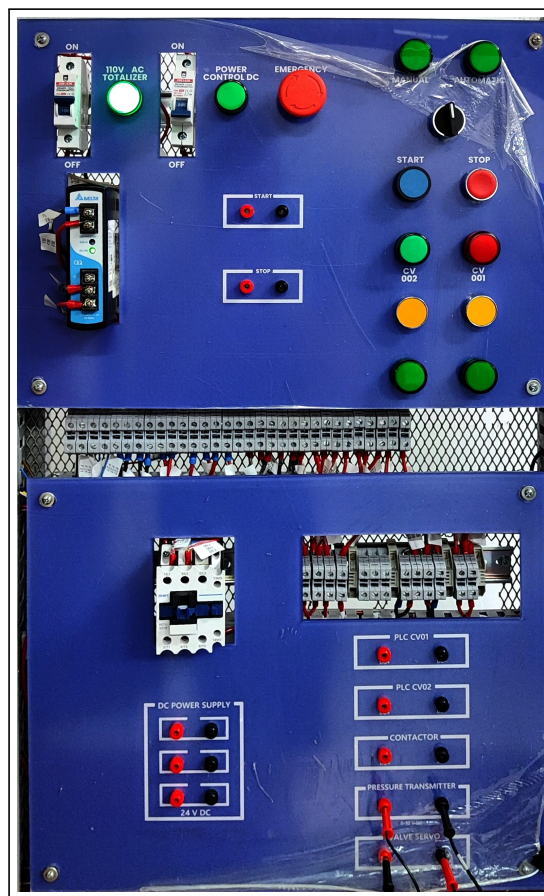


Figura 57: Alimentacion 110V AC.Fuente: Propia.

Después de activar el totalizador de 110 V, se procede a activar el siguiente breaker, correspondiente a la alimentación de 24 V DC. Al accionarlo, se enciende el piloto indicador ubicado junto a este, identificado en el tablero como “POWER CONTROL DC”, tal como se observa en la figura 58. Esta alimentación sumi-

nistra energía a los dispositivos que operan con 24 V DC, entre ellos el sensor de presión Hyxc-pex instalado sobre el tanque de aire comprimido y el regulador electroneumático SMC. Al recibir tensión, ambos equipos activan su display, indicando que se encuentran energizados y listos para su funcionamiento, como se muestra en la figura 59.

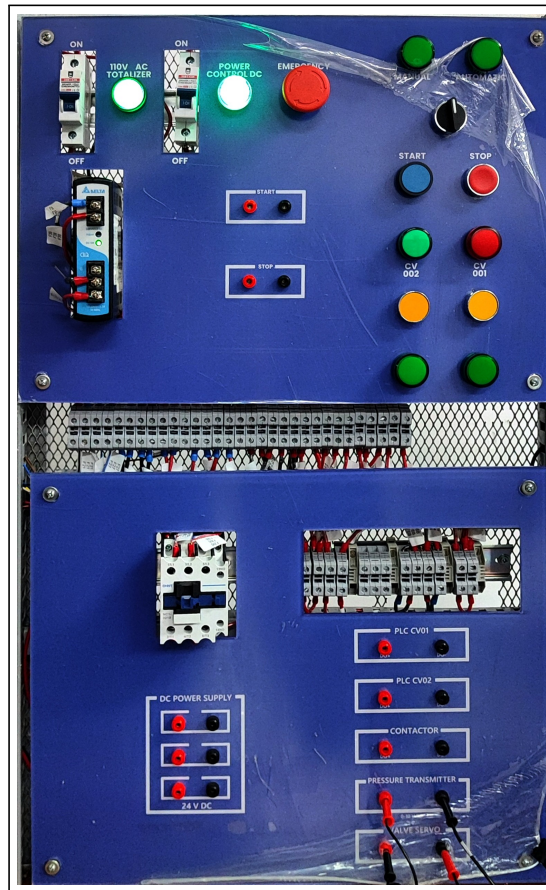


Figura 58: Alimentacion 24V DC.Fuente: Propia.

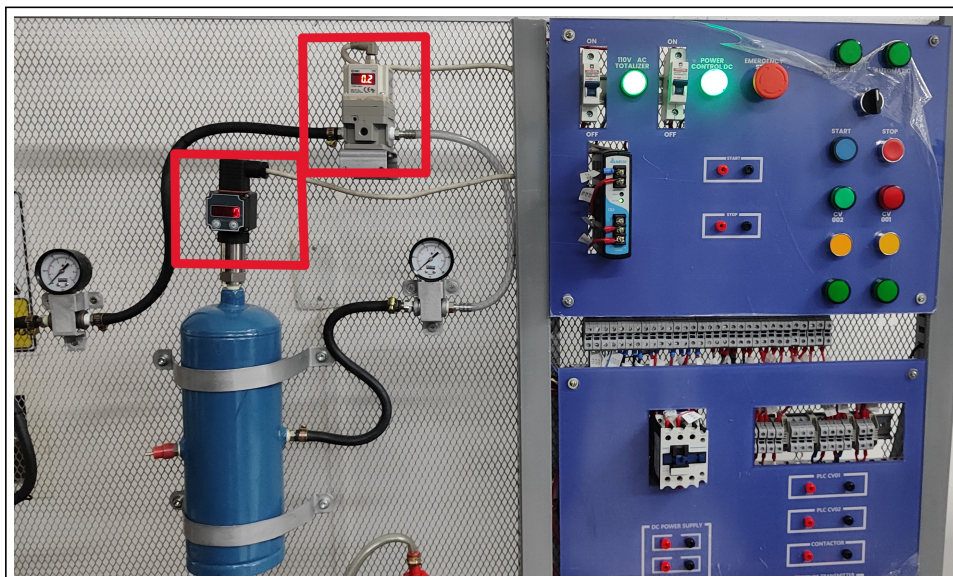


Figura 59: Activación de dispositivos. Fuente: Propia.

4.3.2. *Activación del Modo Manual y Automático*

Una vez activados los breakers de alimentación, el sistema queda disponible para su puesta en marcha según el modo de operación seleccionado. Como se explicó anteriormente, el tablero cuenta con dos modos de funcionamiento: manual y automático. La selección se realiza mediante la perilla selectora de color negro ubicada en la parte superior derecha del panel de control, tal como se observa en la figura 60. El modo manual se indica con el piloto “MANUAL” iluminado en color verde a la izquierda del selector. Única y exclusivamente cuando este modo se encuentra activo es posible operar los pulsadores ubicados debajo de la perilla. En esta condición, los terminales de salida del contactor, las electroválvulas, el transmisor de presión y la válvula servo no se encuentran habilitados, debido a que su funcionamiento está asociado exclusivamente al modo automático.

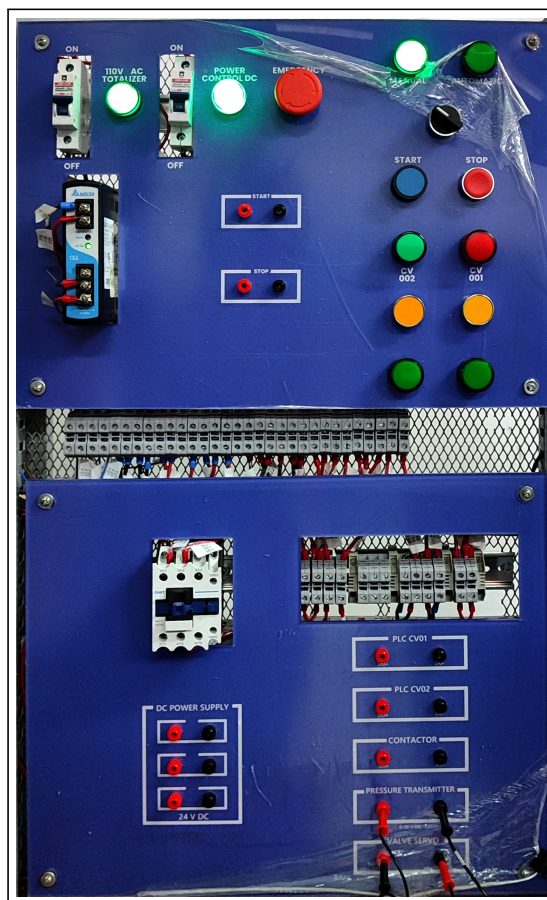


Figura 60: Activación del modo manual. Fuente: Propia.

Una vez activado el modo manual, se pueden utilizar los pulsadores amarillos identificados como “CV001” y “CV002” en el panel de control, correspondientes a las electroválvulas. Estas permanecerán cerradas hasta que se presionen los respectivos pulsadores como muestran las figuras 61 y 62, al accionarlos, las válvulas se activan y permiten la liberación del aire almacenado, siempre y cuando las válvulas manuales se encuentren abiertas total o parcialmente. Los indicadores ubicados debajo de cada pulsador se iluminarán en color verde, señalando que la válvula ha sido energizada correctamente. En este modo también pueden utilizarse los botones “START” y “STOP”, al presionar cada uno, se enciende su respectivo indicador, rojo para stop y verde para start, según el pulsador accionado.

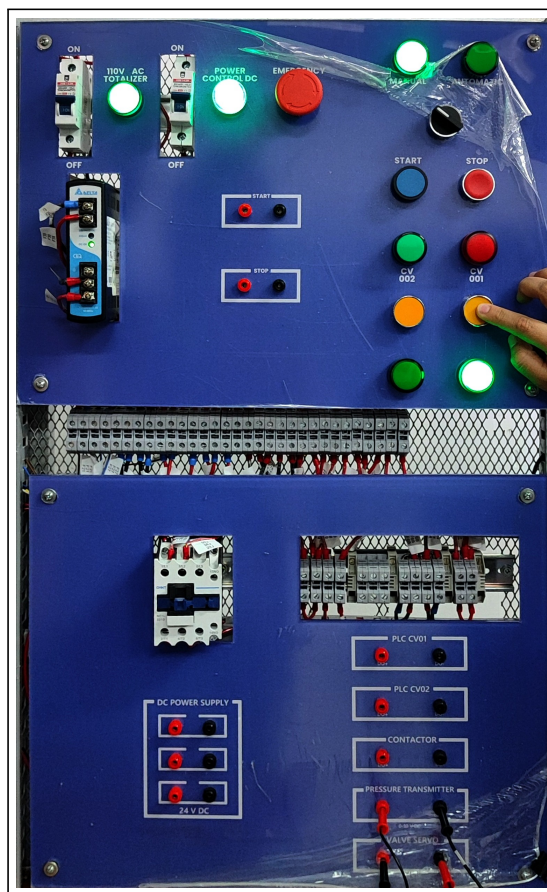


Figura 61: Activación de la electroválvula CV 001. Fuente: Propia.



Figura 62: Activación de la electroválvula CV 002. Fuente: Propia.

El modo automático también se selecciona mediante la perilla “MANUAL AUTOMATIC”. Al posicionarla en automático, se enciende el piloto verde a la derecha sobre el selector, identificado como “AUTOMATIC”, indicando que el sistema queda listo para operar bajo control externo, como muestra la figura 63. En este modo se habilitan los terminales de salida del contactor y de las electroválvulas. Es importante tener en cuenta que primero deben conectarse las salidas del contactor y posteriormente las correspondientes a las electroválvulas, identificadas en el tablero como “PLC CV01” y “PLC CV02”, tal como se observa en la figura 64. Esta configuración permite integrar un PLC al sistema y controlar el proceso de forma automática mediante programación en lenguaje Ladder.

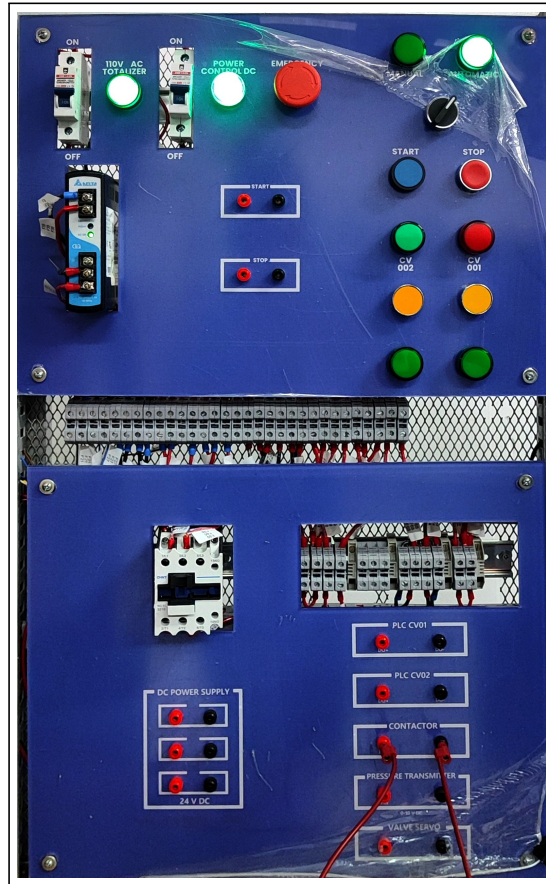


Figura 63: Activación del modo automático. Fuente: Propia.

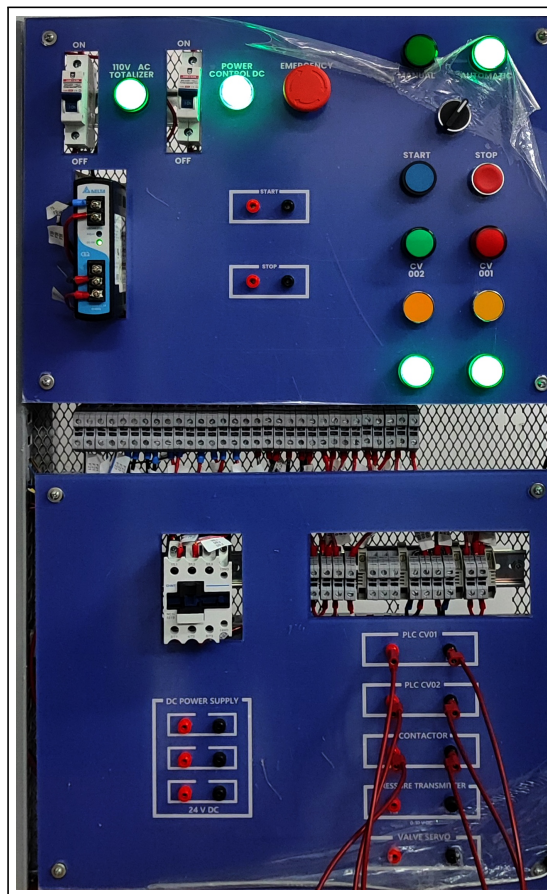


Figura 64: Activación del sistema en modo automático. Fuente: Propia.

Cuando el sistema se encuentra en modo automático, los pulsadores manuales amarillos de las electroválvulas quedan inhabilitados, debido a que el control pasa completamente al PLC. De esta manera, el accionamiento de las electroválvulas depende únicamente del controlador como se muestra en la figura 64. Esto permite realizar prácticas más avanzadas, donde el estudiante puede desarrollar y probar estrategias de automatización sin intervención manual directa.

4.3.3. Integración del PLC y Conexiones

Durante las sesiones de trabajo, se efectuaron numerosas pruebas de comportamiento del sistema para comprobar que estuviera funcionando con normalidad, de modo que se verificaron todas las conexiones neumáticas de los instrumentos asegurando que no hubiera fugas de aire en ninguna de sus partes. También se verificó todo el cableado eléctrico de manera técnica, confirmando que hubiera conectividad en cada uno de sus terminales y puntos correspondientes. Así, se procedió a hacer uso del compresor de aire destinado para la planta, en esta parte

se verificaron cada uno de los modos de funcionamiento del sistema, haciendo uso del selector de estados.

Por otro lado, para el modo automático, se realizaron dos tipos de pruebas, una correspondió a la verificación del funcionamiento directamente desde los componentes del sistema. Para ello es necesario conectar las salidas en el tablero inferior del sistema, se hizo uso de cables tipo banana los cuales se encuentran disponibles en el laboratorio para realizar las conexiones correctamente. De este modo, se empieza con los dos terminales correspondientes a la energización del contactor, marcados por las palabras “CONTACTOR” dentro de un recuadro blanco en el tablero, en los dos terminales de este recuadro, se conectaron cada una de las puntas del cable en cada salida correspondiente, como muestra la figura 65 a continuación. Luego de hacer esta conexión se activa el contactor de forma inmediata lo cual emite un sonido de clickeo interno de parte del contactor, confirmando que ahora el contactor está activo y por tanto, las salidas de las válvulas ahora están energizadas.

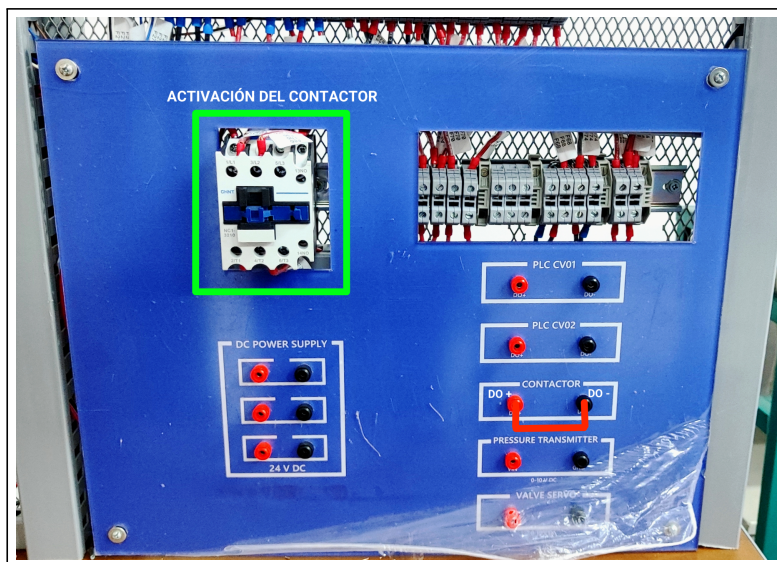


Figura 65: Conexión para la activación del contactor. Fuente: Propia.

Para activar las válvulas CV01 y CV02 es necesario usar dos cables tipo banana para conectar cada una de los terminales correspondientes a dichas válvulas, es necesario tener en cuenta que mientras se está en modo automático, los pulsadores para las válvulas no se activan al ser presionados, debido a que sus conexiones no están habilitadas para este modo, las válvulas únicamente se pueden activar después de su conexión en el tablero. Para conectar la válvula CV02 se conectan las puntas del cable a cada uno de los terminales correspondientes del recuadro marcado con las letras “PLC CV02” en el tablero, tal y como muestra la figura 66 a continuación. El mismo proceso se repite para conectar la válvula CV01, la

cual se activará después de conectar los cables a los terminales correspondientes del recuadro “PLC CV01”, tal y como muestra la figura 67 a continuación.

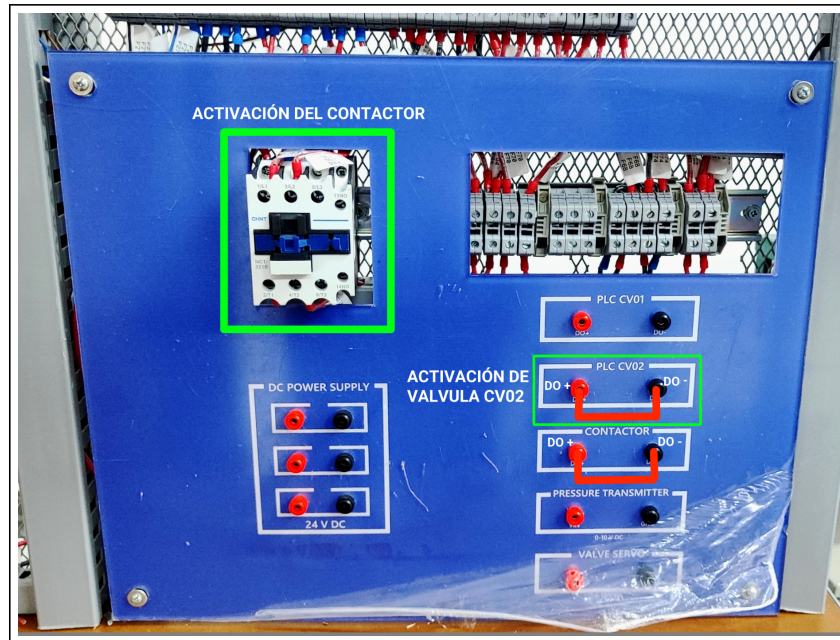


Figura 66: Conexión para la válvula CV02. Fuente: Propia.

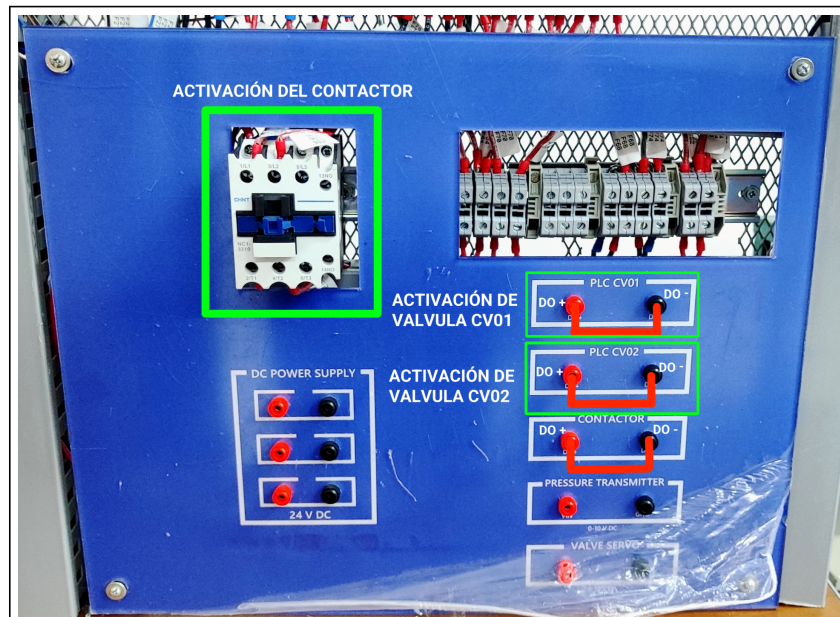


Figura 67: Conexión para la válvula CV01. Fuente: Propia.

Al finalizar las conexiones, el sistema se ve como se muestra en la figura 68.

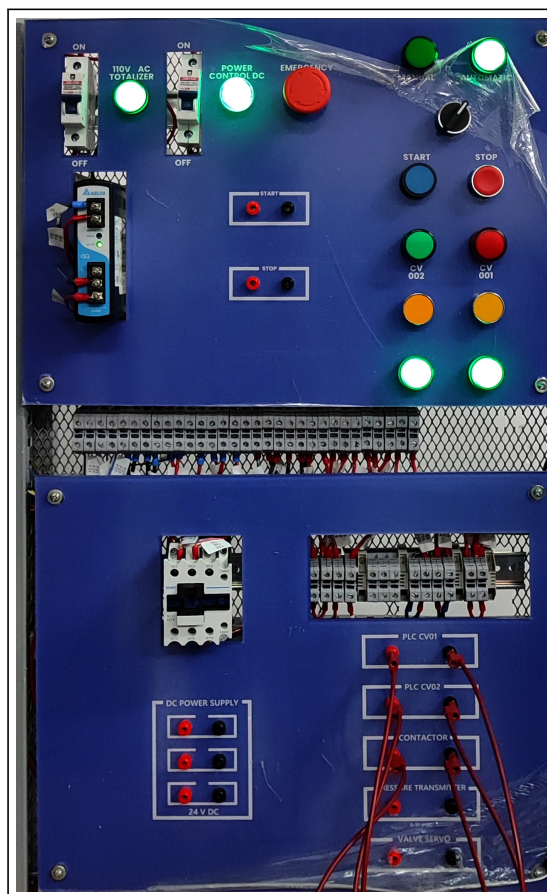


Figura 68: Activación del sistema completo. Fuente: Propia.

De esta forma se verificó que el sistema funciona correctamente por sí mismo, y puede ser controlado de forma manual o automática a través de sus propios terminales tal y como muestran las figuras 65, 66, 67 y la figura 68. Ahora bien, la otra prueba de funcionamiento realizada, se llevó a cabo haciendo uso de uno de los PLC Modicon Process M340 disponibles en el laboratorio, además del entorno de programación para PLC Unity Pro S donde se realizó el código ladder que realizará el control ON OFF para la prueba de funcionamiento. Esto con el fin de probar que ahora la planta funciona para ser utilizada con cualquier PLC que se decida utilizar para realizar un sistema de control.

De este modo, se procedió a conectar dicho PLC a los terminales de la planta correspondientes para esta función. Como se explicó anteriormente, primero se verifica que el selector de estados se encuentre en modo automático, luego es necesario conectar el contactor para poder hacer uso del sistema, al contactor se le asigna una dirección dentro del código del PLC, %Q0.1.6 esta dirección es propia de una salida digital que corresponde a la activación del contactor desde el código ladder. El terminal DO+ de la sección para el contactor debe ser conectado a la bornera Q16 de las borneras digitales del PLC tal y como muestra la figura 69 a continuación. Además la bornera COM



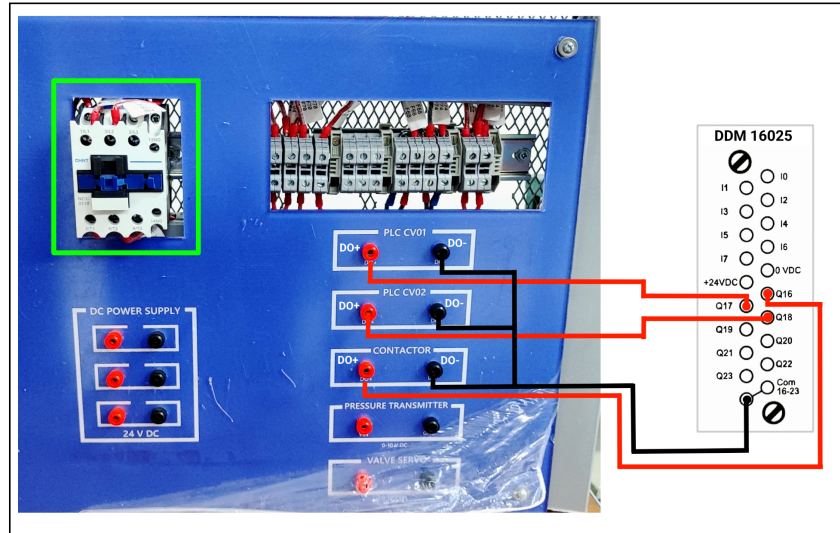


Figura 70: Conexión de las válvulas con el PLC. Fuente: Propia.

Respecto a la conexión del transmisor de presión y de la válvula, también se designaron sus respectivas direcciones desde el código ladder, la dirección de la válvula es %QW0.2.5 que envía un valor analogico al actuador, para su conexión se utiliza la salida de la bornera del PLC COMO1 para servir de tierra, la cual se conecta con el terminal GND de la sección “VALVE SERVO” en el tablero, ahora la bornera U/IO1 será la salida de señal y se conecta también al terminal VIN de la misma sección para la válvula. Por otro lado, al transmisor se le da la dirección analogica %IW0.2.1, para poder leer su valor de medida desde el código realizado, este se conecta a la bornera COMI1 del PLC la cual se conecta al terminal GND de la sección del transmisor “PRESSURE TRANSMITTER”, luego de esto se conecta la bornera UI1 para la señal del transmisor la cual se conecta al terminal VIN de la misma sección. Estas conexiones se muestran a continuación en la figura 71 para mayor comprensión.

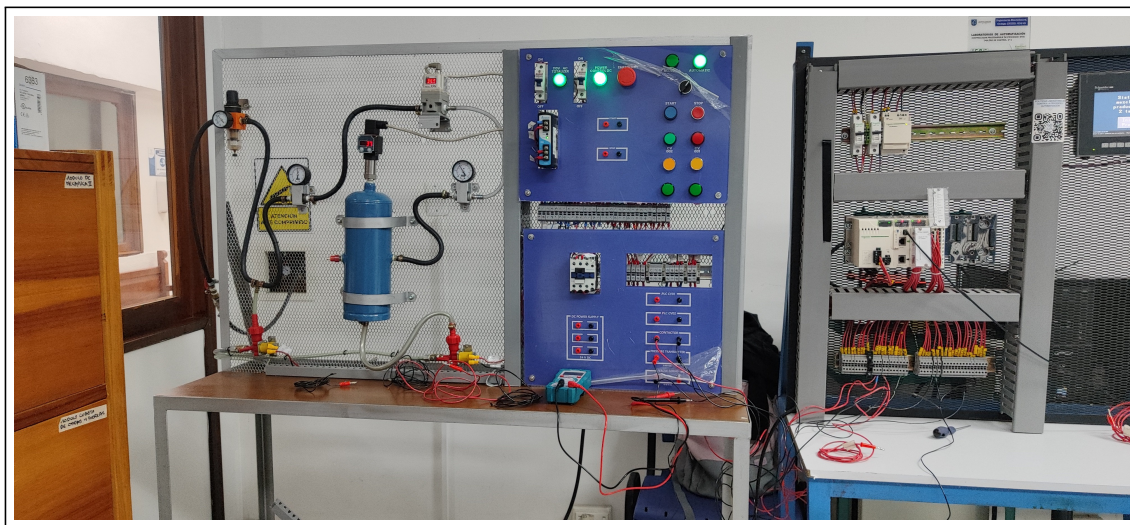


Figura 73: Conexión completa de la planta al PLC. Fuente: Propia.

4.3.4. *Respuesta del Sistema*

Una vez conectado el sistema se procede a hacer testeos con el código ladder. Este consta de un sistema de control de presión de lazo cerrado, el cual recibe la señal de salida del transmisor y lo filtra en un valor de lectura de tipo real, el cual se refiere al nivel de presión que se encuentra dentro del tanque de compresión. Después de esto, el sistema se encarga de comparar si la presión dentro del tanque es mayor o igual a 40, el cual corresponde al valor máximo de presión, en tal caso, la válvula servo procede a cerrarse gradualmente para reducir el flujo de gas hacia el tanque y las electroválvulas habilitadas por el contactor, se abren liberando el aire comprimido. Por el contrario cuando la presión es menor al valor mínimo posible y cae por debajo de 35, la válvula servo se abre rápidamente permitiendo el ingreso de gas hacia el tanque, mientras que las electroválvulas se cierran para evitar filtración del gas. El código y variables se encuentran en la sección de anexos para mayor información.

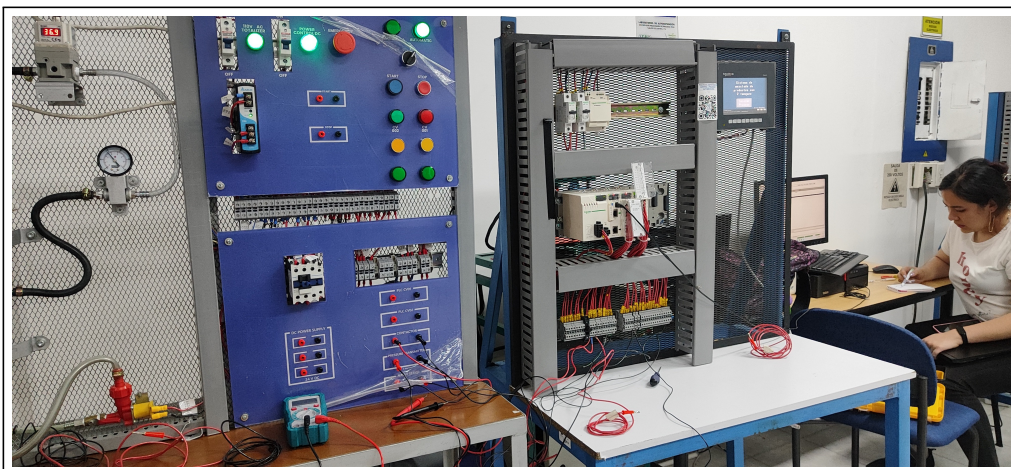


Figura 74: Sistema conectado funcionando en testeos. Fuente: Propia.

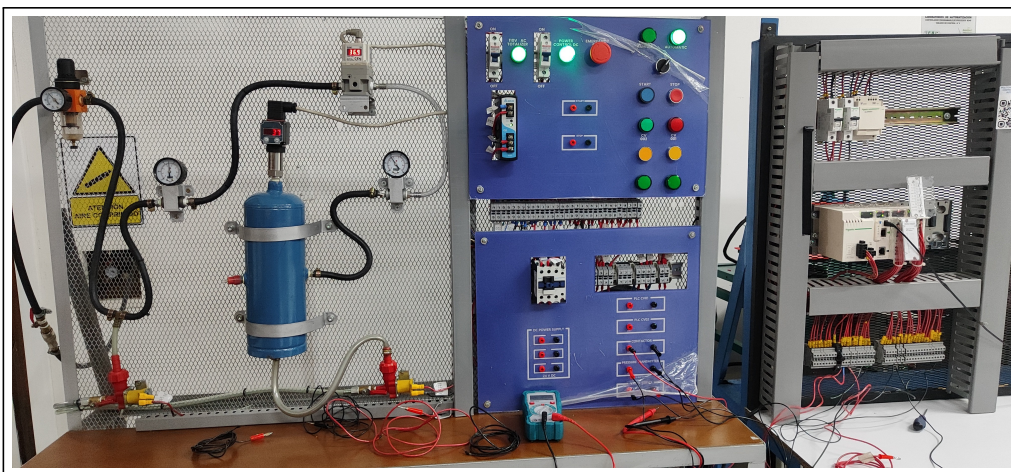


Figura 75: Sistema conectado funcionando en testeos. Fuente: Propia.

De este modo se realizaron las correspondientes pruebas del sistema con la planta funcionando continuamente en un control ON OFF, del cual se obtuvieron las gráficas mostradas a continuación. Para graficación del comportamiento del sistema se utilizó la sección de trending en la parte de herramientas del entorno unity, desde el cual se llamaron las variables correspondientes a la apertura de la válvula y a la presión dentro del tanque. Con estas gráficas se muestra cómo se comporta el sistema durante el llenado inicial y sus ciclos de control. En la gráfica mostrada en la figura 76 se observa como la presión asciende de forma lineal durante el llenado del tanque, en la figura 77 se aprecia que una vez el sistema sobrepasa su valor máximo de presión, el control se activa permitiendo que la presión descienda hasta su valor mínimo, después vuelve a activarse el sistema demostrando el ciclo correcto de un control ON OFF que permite mantener la presión del tanque entre los valores destinados por los límites máximos y mínimos del código.

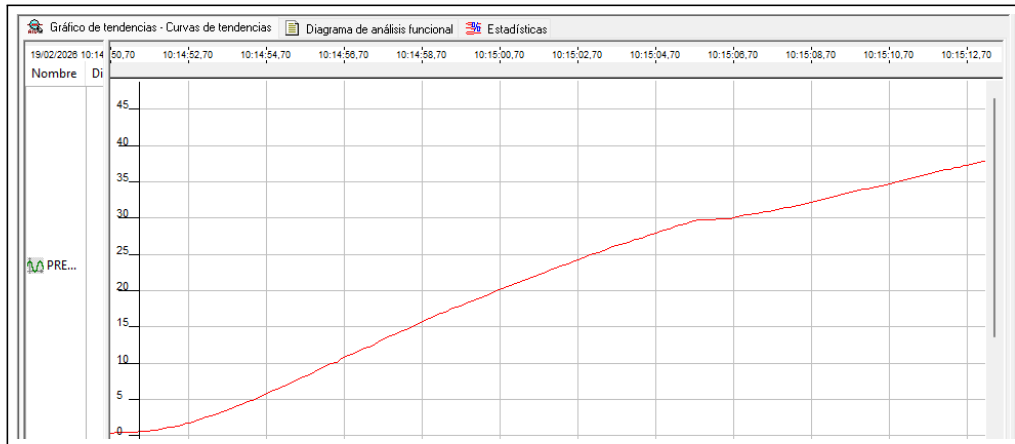


Figura 76: Gráfica de llenado del tanque. Fuente: Propia.

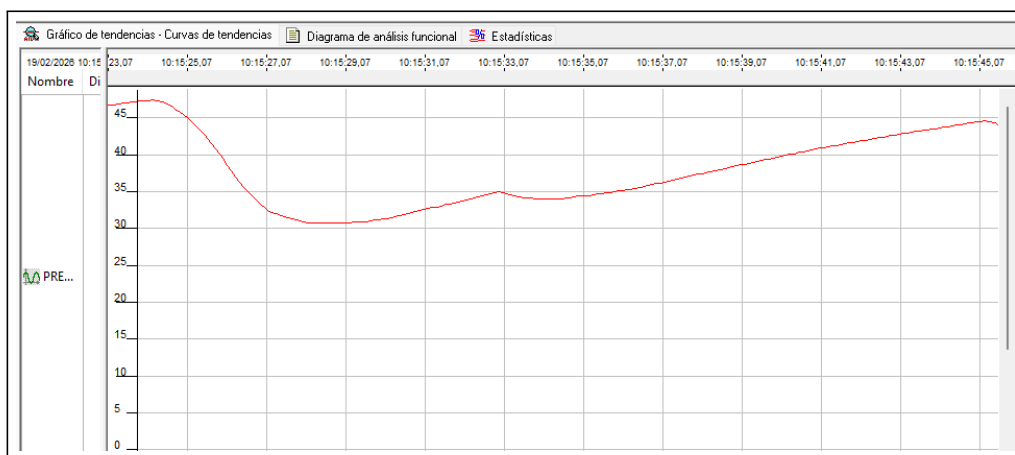


Figura 77: Gráfica de vaciado de control por máximo valor. Fuente: Propia.

También se realizó un testeo de respuesta del sistema, al introducir un disturbio de caída brusca, donde la presión dentro del tanque bajó mucho más de su valor mínimo aceptado, en la figura 78, la línea azul muestra que el evento ocurre a las 10:15:51.46. A partir de este instante, el sistema reacciona de forma inmediata cerrando las electroválvulas y comienza a realizar el ciclo de llenado nuevamente como se muestra señalado con la línea verde a partir del momento 10:15:55.46, esto para volver a tener la presión del tanque dentro de los valores aceptados.

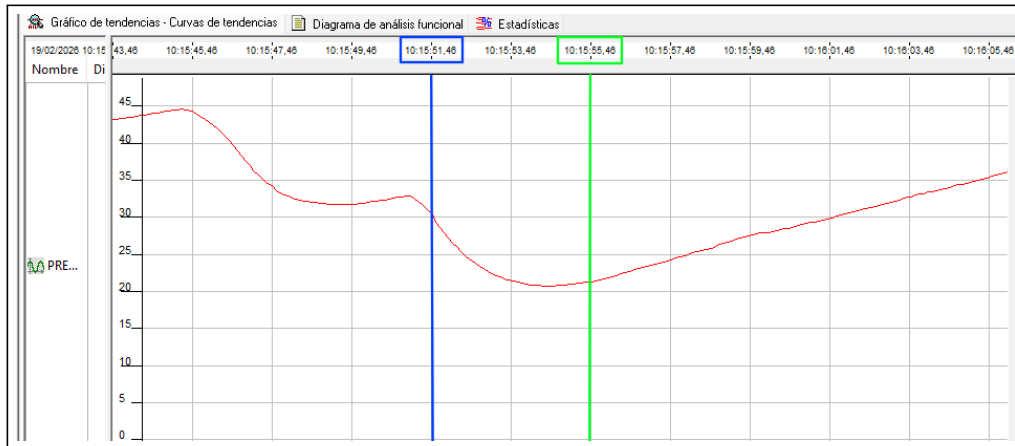


Figura 78: Gráfica de respuesta al disturbio. Fuente: Propia.

En las figuras 79 y 80 se evidencia el comportamiento de la válvula al abrirse y cerrarse de acuerdo a su respuesta de control, la cual resulta ser inversamente proporcional a la presión dentro del tanque, debido a que esta se abre a presión baja mientras que se cierra a presión alta, tal y como se mencionó previamente.

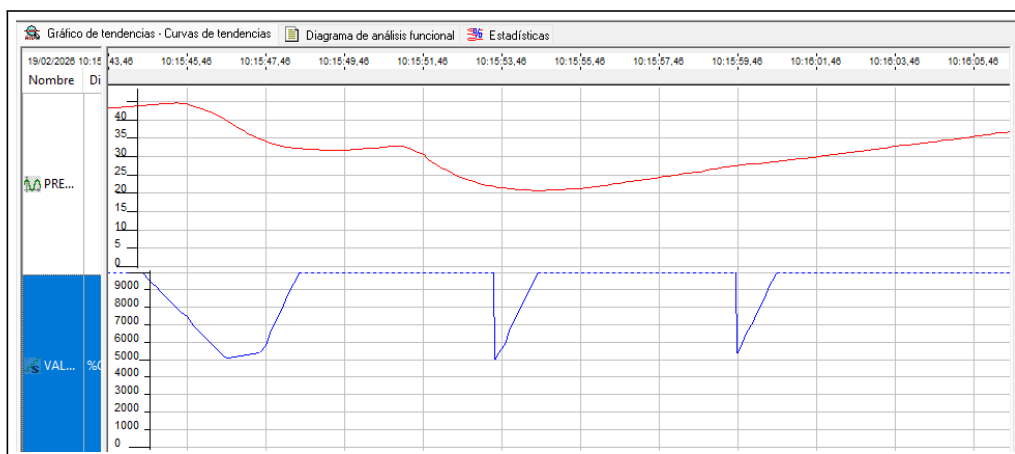


Figura 79: Gráfica de respuesta de la válvula servo. Fuente: Propia.

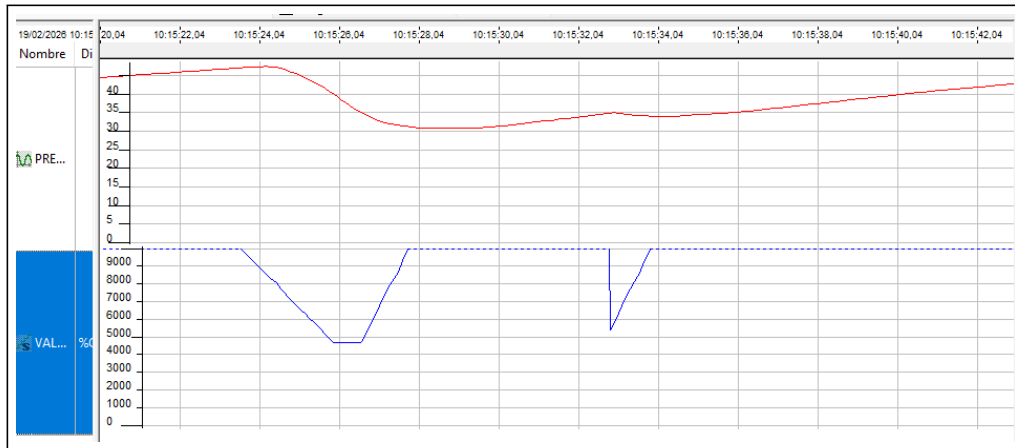


Figura 80: Gráfica de respuesta de la válvula servo. Fuente: Propia.

De este modo se corroboró que el sistema funciona correctamente y está listo para ser utilizado en entornos de aprendizaje, tanto para pruebas con sus propios modos de operación, como para realizar sistemas de control haciendo uso de otros controladores PLC.

5. Capítulo 5 Resultados

En la sección de resultados a continuación se encontrarán las descripciones acerca de como quedaron distribuidos los elementos de la planta, así como la disposición de los elementos electrónicos en el tablero de control. Además, en esta sección también se encontrarán los diagramas de ingeniería como los planos eléctricos DLI, diagrama de tubería e ingeniería P&ID y el diagrama de flujo de materia prima PFD.

5.1. Distribución final del tablero

En la figura 81 se observa el tablero superior con el que contaba la planta inicialmente, el cual presentaba varias falencias relacionadas con la identificación y organización de los elementos de control. En este se evidenciaba una falta de identificación adecuada de los mandos, esto generaba confusión la momento de operar el sistema, además de esto el tablero reflejaba un desgaste tanto funcional como físico. La distribución de los elementos no seguía un orden claro, lo cual dificultaba reconocer la función de cada componente dentro del sistema y su secuencia de activación.



Figura 81: Tablero superior inicial de la planta. Fuente: Propia.

Por esta razón, se rediseñó y cambió el tablero anterior por el que se muestra en la figura 82, donde cada pulsador, piloto, breaker y fuente cuenta con su respectiva identificación visible y organizada. Los elementos fueron alineados y distribuidos de acuerdo con su función, permitiendo reconocer con mayor facilidad el orden de activación de cada mando y su función dentro de la planta. Sobre la distribución de los elementos del nuevo tablero, tenemos qué, en el lado superior izquierdo se encuentran los dos breakers montados en riel, el primero corresponde a la alimentación de 110 V AC y está acompañado

por un piloto verde identificado como “110V AC TOTALIZER”. El segundo breaker corresponde al “POWER CONTROL DC” y también dispone de su piloto verde de señalización. En la parte inferior izquierda está ubicada la fuente de alimentación DC, con sus borneras frontales visibles y el cableado de entrada y salida debidamente conectado.

En la zona central superior se localiza el botón de parada de emergencia de color rojo, colocado en una posición accesible. Debajo de este se encuentran los terminales de salida identificados como “START” y “STOP”, cada uno con punto de conexión positivo y negativo para accionamientos o pruebas externas. En el lado derecho superior están los pilotos verdes “MANUAL” y “AUTOMATIC”, que indican el modo de operación seleccionado, y justo debajo se ubica el selector rotativo que permite elegir entre funcionamiento manual o automático. Más abajo se encuentran los pulsadores principales: un pulsador azul “START” y un pulsador rojo “STOP”, cada uno con su respectivo piloto de identificación ubicado debajo, siendo verde para “START” y rojo para “STOP”. En la parte inferior derecha se ubican los pulsadores de las electroválvulas “CV001” y “CV002”, los cuales son de color amarillo, y debajo de cada uno se encuentra su respectivo piloto verde que indica la activación de cada electroválvula. De esta manera se obtuvo un tablero más claro y ordenado, beneficiando a los estudiantes al brindarles una mejor comprensión del funcionamiento de la planta y mayor seguridad al momento de realizar sus prácticas.

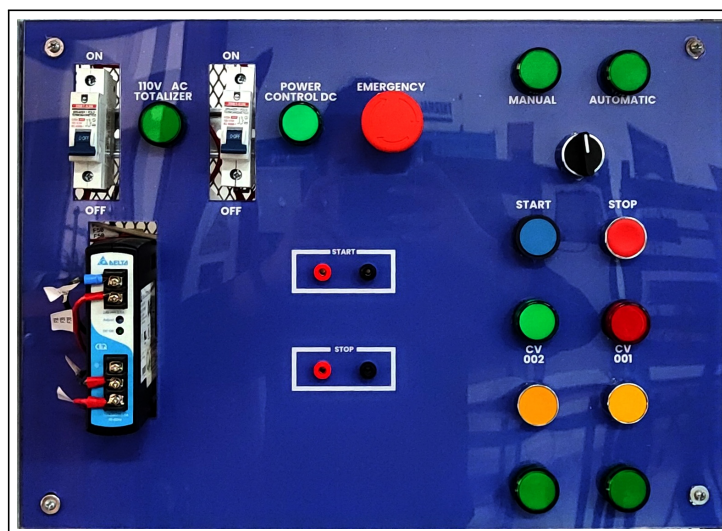


Figura 82: Nuevo tablero superior de la planta. Fuente: Propia.

Del mismo modo, en la figura 83 se observa el tablero inferior con el que contaba anteriormente la planta, en el cual se encontraban los terminales de salida correspondientes al control PID y al PLC que hacía parte de la configuración original del sistema. Con el tiempo, estos elementos quedaron en desuso, debido a que el equipo PID dejó de funcionar y el PLC que hacía parte de la planta fue desconectado, por esto varias de las conexiones presentes en el tablero ya no tenían utilidad.

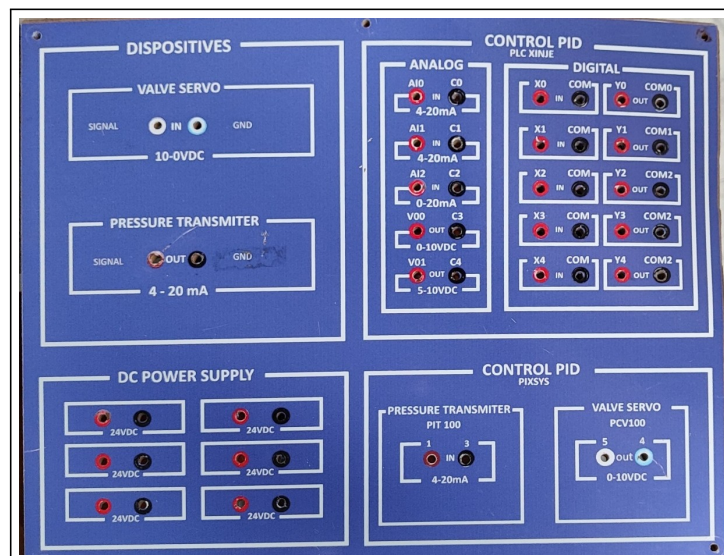


Figura 83: Tablero inferior inicial de la planta. Fuente: Propia.

Esta fue la razón por la cual se realizó un rediseño del tablero inferior con el objetivo de optimizar su organización y facilitar la identificación de cada punto de conexión su uso. El resultado de este rediseño se muestra a la derecha de la figura 84, donde se observa una distribución más más estructurada y comprensible, en la parte inferior izquierda se incorporaron tres pares de terminales de salida de 24 V DC, en la parte superior izquierda se ubicó el contactor y en el lado derecho del tablero se organizaron los terminales de salida correspondientes a las electroválvulas identificadas como "PLC CV01z "PLC CV02", además de los terminales del contactor, del transmisor de presión y de la válvula servo, lo que permite una mejor identificación de cada conexión dentro del tablero.

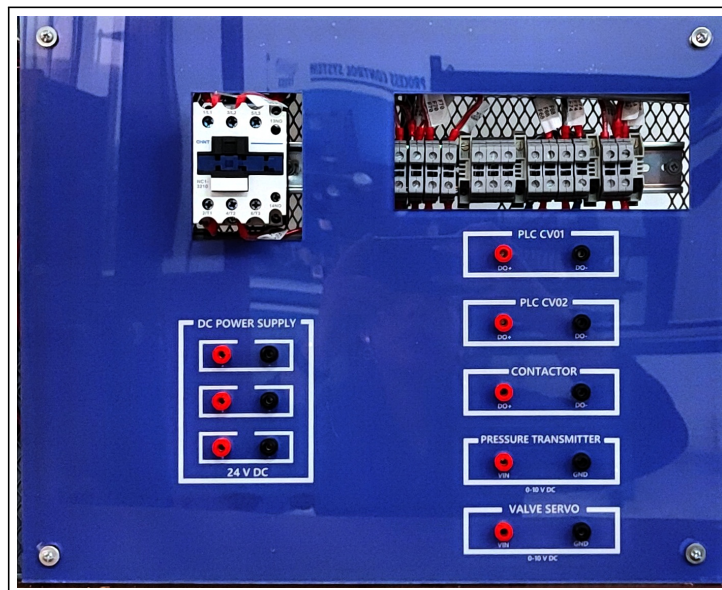


Figura 84: Nuevo tablero inferior de la planta. Fuente: Propia.

5.2. Distribución final de la planta

Respecto a la organización de los elementos, se optó por modificar la forma en la que estaban distribuidos en su gran mayoría. Se ordenó de modo en que el tanque estuviera en el centro de toda la estructura, de esta forma, la atención de la persona que opere el sistema se centra principalmente en este elemento, evitando distracciones y confusiones. El regulador electroneumático SMC ITV1050-31N4 1000 se situó a la derecha de la planta, además se realizó la reubicación del tanque, evitando el uso de una canaleta en la parte superior de la estructura metálica. El filtro regulador de aire se ubicó en la parte superior izquierda de la planta, de esta forma se tiene un mejor entendimiento visual de donde empieza el proceso y donde finaliza. Con el fin de evitar el uso de más mangueras se unieron las válvulas manuales a las salidas de las válvulas electromagnéticas, ubicando estas en la parte inferior del panel ayudando a tener mayor orden en el sistema y permitiendo que se vea mucho más limpio visualmente, debido a que los elementos se encuentran menos dispersos en el área.

En la Figura 85 a continuación se observa el estado inicial de la planta al momento de recibirla, antes de realizar cualquier intervención o modificación dentro del proyecto. En esta se pueden evidenciar las condiciones originales del sistema, las cuales sirvieron como punto de partida para el desarrollo de las mejoras planteadas.

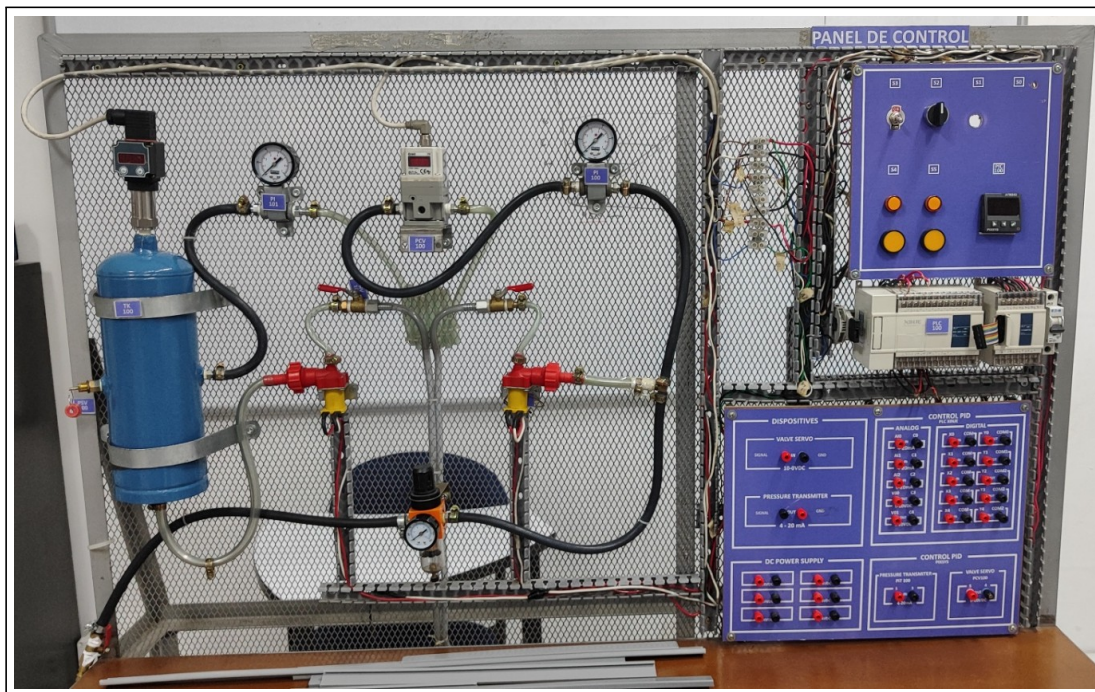


Figura 85: Planta de presión antes. Fuente: Propia.

En la Figura 86 se presenta el estado final de la planta luego de aplicar las modificaciones y ajustes correspondientes al proyecto. En esta etapa se evidencia el sistema ya intervenido y funcionando de acuerdo con los objetivos establecidos desde el inicio.

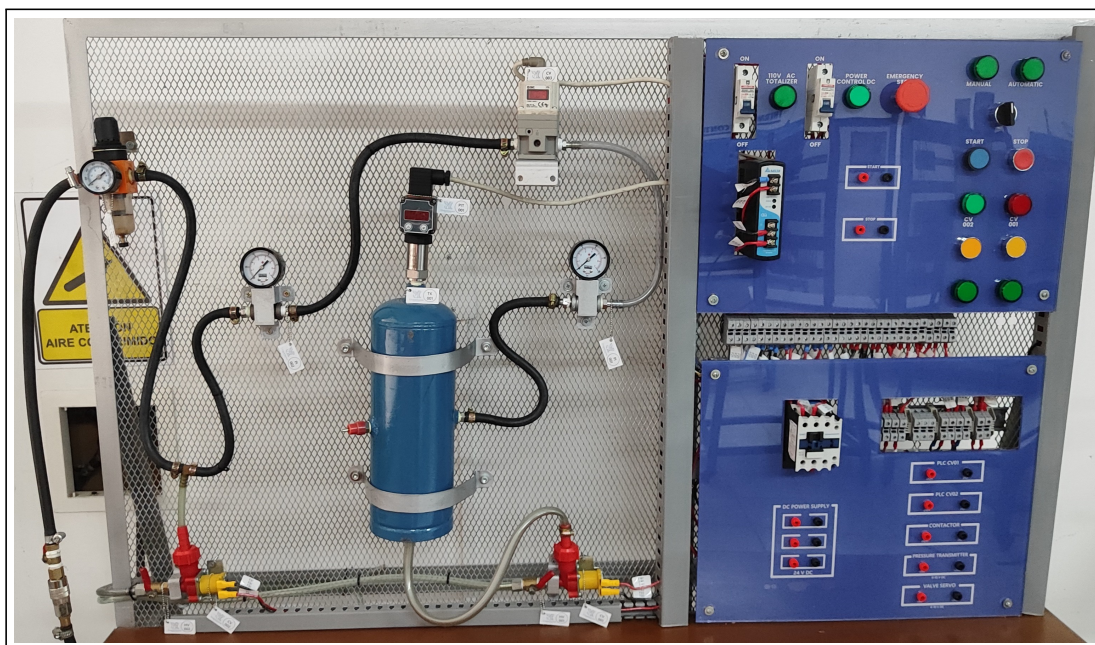


Figura 86: Planta de presión después. Fuente: Propia.

A continuación se muestran los diagramas de ingeniería: el diagrama de flujo de proceso de materia prima PFD en la figura 87, el cual muestra una visión general del proceso y la secuencia de operaciones, facilitando la comprensión rápida del flujo e identificando las etapas críticas del sistema.

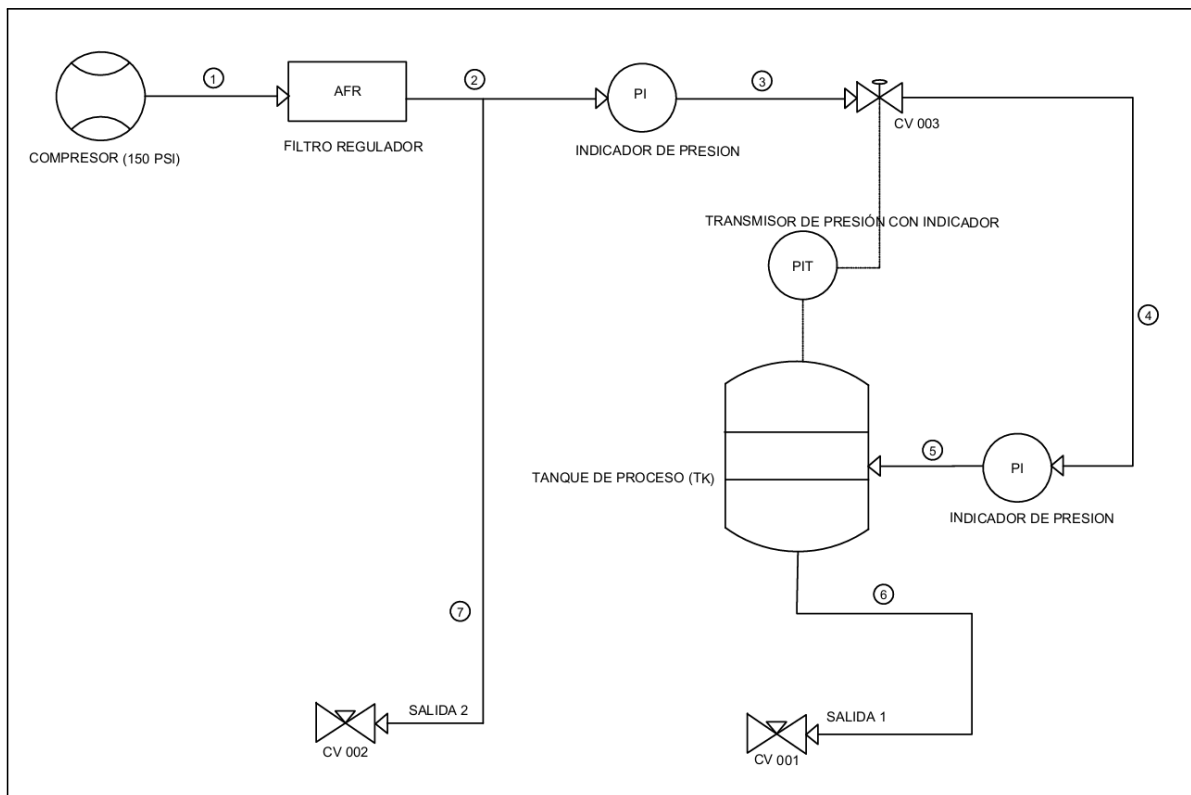


Figura 87: Diagrama de flujo de materia prima. Fuente: Propia.

El diagrama de tubería e instrumentación P&ID en la figura 88, el cual representa tuberías, equipos e instrumentos con sus respectivas nuevas nomenclaturas, tales como indicadores de presión (PI), válvulas controladoras (CV) y transmisores indicadores de presión como el (PIT).

de 110 V AC, así también los correspondientes a la fuente de 24 V DC que alimentan los elementos de control de la planta. Se identifican los instrumentos del sistema tales como terminales de salida, pulsadores, selector de estados y electroválvulas, los cuales permiten la operación de la planta en distintos modos de funcionamiento configurados, para la identificación de los conductores se mantuvo el mismo sistema de colores que ya se utilizaba en los demás tableros presentes en las plantas de los laboratorios de la Universidad Autónoma del Cauca. En estos tableros se emplea comúnmente el color rojo para la fase y negro para el neutro, por lo que se decidió conservar esta misma referencia con el fin de mantener coherencia entre los diferentes sistemas eléctricos existentes, facilitando la comprensión del cableado y reduciendo posibles confusiones durante su manipulación.

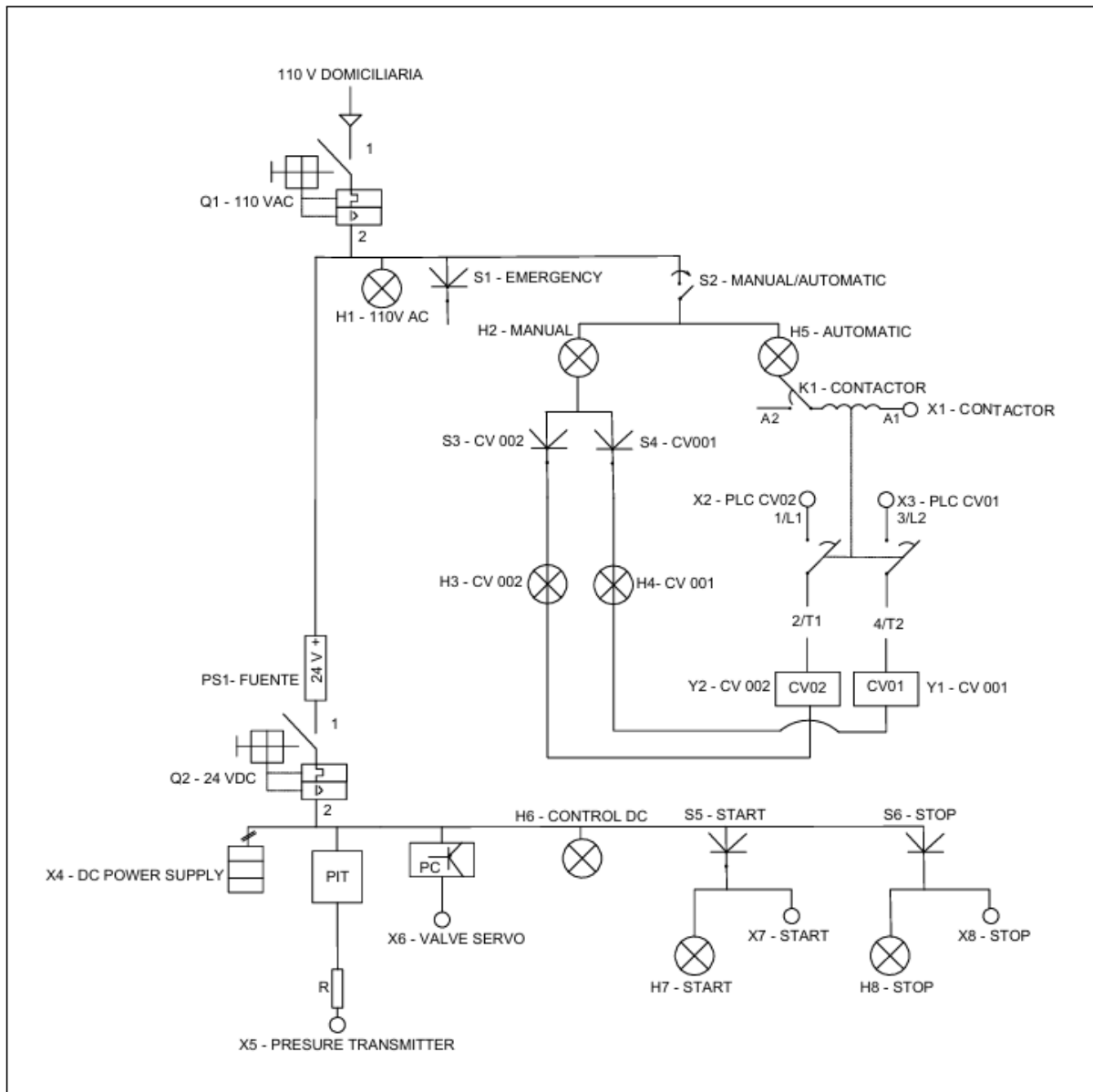


Figura 89: Diagrama de conexiones eléctricas. Fuente: Propia.

6. Capítulo 6 Conclusiones y Trabajos Futuros

6.1. Conclusiones

En esta sección se realiza un chequeo de los objetivos propuestos con anterioridad y se mencionan brevemente qué acciones se realizaron para llevar a cabo estos objetivos.

Uno de los objetivos específicos planteados fue realizar un diagnóstico inicial para verificar el estado en el que se encontraba la planta, luego de realizarlo se identifican múltiples fallas en su funcionamiento, principalmente relacionadas con el estado del cableado, la organización de las conexiones y el uso inadecuado de algunos dispositivos. También se evidenció que varios de sus componentes no estaban correctamente conectados o se encontraban inutilizados. Este análisis permitió comprender con mayor claridad el estado real del banco de pruebas, que estaba por completo fuera de funcionamiento. Con el resultado del diagnóstico se logra trazar una hoja de ruta para iniciar con el mantenimiento correctivo y reparación de la planta.

De acuerdo con la información obtenida durante el diagnóstico, se diseñó nuevamente el sistema eléctrico y de control de la planta. El cual es otro de los objetivos propuestos para este proyecto, así se organizaron las nuevas conexiones y se seleccionaron los elementos necesarios para mejorar su funcionamiento. La incorporación de nuevos dispositivos, junto con la elaboración de los diagramas de conexión y del esquema P&ID, permitió estructurar un sistema más ordenado y fácil de comprender, facilitando tanto la operación de la planta como futuras actividades de mantenimiento o prácticas académicas.

Para validar y verificar el funcionamiento de la planta después de implementar sus mejoras correspondientes, se realizaron pruebas de testeo donde se logró verificar que los diferentes componentes de la planta funcionan de manera adecuada dentro del sistema. La validación permitió confirmar que el banco de pruebas es funcional y puede volver a utilizarse en el laboratorio, debido a que ahora cuenta con un sistema eléctrico organizado y un control que permite desarrollar prácticas relacionadas con instrumentación, automatización y control de procesos, facilitando que los estudiantes puedan realizar sus actividades académicas, fortalecer sus habilidades prácticas y ampliar sus conocimientos en el manejo de este tipo de plantas.

Finalmente, la integración de la planta de presión con el PLC Schneider Electric utilizado durante las pruebas de funcionamiento del sistema permitió mejorar el control de la planta y dejó preparada la estructura necesaria para futuras integraciones con otros controladores, gracias a que las conexiones del contactor, las electroválvulas, el transmisor de presión y la válvula servo fueron llevadas a terminales externos. Con esta adecuación se logró un sistema más organizado y funcional, facilitando tanto las conexiones como las labores de mantenimiento e intervención. Además, al operar en modo

automático, el PLC puede asumir directamente el control de las variables del proceso, permitiendo desarrollar prácticas relacionadas con automatización en condiciones más cercanas a un entorno real de trabajo, fortaleciendo así el aprendizaje práctico de los estudiantes dentro del laboratorio.

De este modo se puede concluir que se cumplieron los objetivos específicos planteados para este proyecto, realizar diagnósticos, diseño de sistemas eléctricos y control, además de la validación del funcionamiento de la planta, de esta manera también cumpliendo con el objetivo general el cual era mejorar el sistema eléctrico y de control de la planta de pruebas de presión de la universidad. Finalmente logrando con esto recuperar el sistema de pruebas para volver a ser utilizado para docentes y discentes de las diferentes ingenierías.

6.2. Trabajos Futuros

Debido a que el sistema actualmente trabaja con el compresor de aire del laboratorio de forma continua, se podría evaluar a futuro la posibilidad de integrar algún tipo de control sobre el suministro de aire comprimido, de modo que el caudal entregado pueda regularse de manera más eficiente. Esto reduciría el consumo energético durante las prácticas y permitiría simular condiciones más variadas de presión de entrada durante los ejercicios académicos.

Se sugiere que en futuros trabajos se evalúe la implementación de un controlador PID desde el PLC, de manera que el sistema sea capaz de mantener un setpoint de presión de forma continua y precisa. Aunque el presente proyecto demostró un control ON/OFF funcional, este fue implementado con el propósito de demostrar que la planta ahora funciona con todo tipo de PLCs disponibles en el laboratorio, de este modo se propone que un lazo PID permitiría reducir las oscilaciones de presión y ofrecer una respuesta más estable, lo cual enriquecería las prácticas académicas relacionadas con el control de procesos.

Del mismo modo, la experimentación con distintos tipos de control podría ser de utilidad para ampliar conocimientos respecto a la automatización, utilizar diferentes tipos de control de lógica difusa, control predictivo o adaptativos, con generación de disturbios desde las válvulas y seguimiento continuo del set point, este tipo de controles lo cual ampliará las competencias prácticas en automatización y control de procesos.

Otra implementación que puede resultar útil sería incorporar una pantalla HMI GTO 35-10 800X480 como las encontradas en el laboratorio de automatización de la Universidad Autónoma del Cauca, que permita monitorizar los cambios de las variables del proceso en tiempo real, como el comportamiento del Sensor de presión Hyxc-pex y el estado de las electroválvulas. Esto facilitaría el desarrollo de prácticas en las asignaturas de SCADA y HMI, brindándole al estudiante una experiencia más cercana a

los entornos industriales reales, donde la supervisión visual del proceso es indispensable.

Se propone evaluar la posibilidad de habilitar el monitoreo remoto del sistema mediante protocolos de comunicación industrial como Modbus o Ethernet/IP, debido a que esto permitiría a los estudiantes acceder a las variables del proceso desde un computador externo o desde el entorno SCADA del laboratorio. Esta mejora ampliará las posibilidades de uso del banco de pruebas en asignaturas como Redes Industriales o SCADA.

Referencias

- [1] A. J. Saavedra-Montes, G. J. Sanchez-Zuluaga y C. A. Ramos-Paja, *Workstation of Synchronous Machines and Integrated Modern Technologies for Teaching in Electric Engineering Laboratories*. Universidad Nacional de Colombia, 2024. dirección: https://www.researchgate.net/publication/384777975_Integrated_Modern_Technologies_for_Teaching_in_Electric_Engineering_Laboratories.
- [2] W. Aguilera, S. Doque, J. Baldini y D. Santon, *Desarrollo de Laboratorio Remoto Para Banco de Pruebas de Motores eléctricos: Una Herramienta Innovadora Para La Educación en Ingeniería*. IEEE Biennial Congress of Argentina, 2024. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10735971/authors>.
- [3] P. Dogliotti, *Automation and Data Visualization Improvements of an Internal Combustion Engine Test Bench*. Politecnico di Torino / Universidad Politécnica de Madrid, 2022/2023. dirección: <https://webthesis.biblio.polito.it/secure/29796/1/tesi.pdf>.
- [4] A. Suryadi, B. Triyono, H. M. Ardi y D. Setiawan, *Reconditioning and Enhancement of Automatic Pressure Control Equipment for Servo and Regulatory Processes*. Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur, 2025. dirección: https://www.researchgate.net/publication/388556126_Reconditioning_and_Enhancement_of_Automatic_Pressure_Control_Equipment_for_Servo_and_Regulatory_Processes.
- [5] D. Balaji, M. Logesh, K. Prakash y Kumaran, *Design of Universal Test Bench for The Pneumatic System*. Ponnaiyah Ramajayam Institute of Science y Technology, 2023. dirección: <https://ijsrmme.com/paper/IJSRMME23713.pdf>.
- [6] A. Canut-Montalva, C. Rizo-Maestre y J. Martínez-López, *Using Pilot Plants as a Didactic Resource to Facilitate the Acquisition of Technical Competences in the Urban Water Cycle in Vocational and Higher Education*. University Institute of Water y Environmental Sciences, 2025. dirección: <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/5/675>.
- [7] M. Al-Yaman, D. Alswaiti, A. Alsharkawi y M. Al-Tae, *A cost-effective modular laboratory solution for industrial automation and applied engineering education*. University of Jordan, 2025. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016125002341>.
- [8] D. Taguada, A. Quimiz, A. Pizaña y K. Ortiz, *Electrical safety in educational and work environments: a regional análisis*. SCT Proceedings in Interdisciplinary Insights e Innovations, 2025. dirección: <https://piii.southam.pub/index.php/piii/article/view/400/472>.

- [9] J. D. T. VÁSQUEZ, *INSPECCION DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA CARLOTA SANCHEZ SEGÚN EL RETIE*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2013. dirección: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/83365a07-b2cd-4e3b-a3b2-0368cb30b436/content>.
- [10] E. G. Moreno, *Automatización de procesos industriales*. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA., 2001. dirección: <https://books.google.com.co/books?id=iDjRhR82JHYC>.
- [11] E. M. Pérez, J. M. Acevado, C. F. Silvia y J. I. A. Quiroga, *Autómatas programables y sistemas de automatización*. Universidad de Vigo, 2009. dirección: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=5jp3bforBB8C&oi=fnd&pg=PA1&dq%20=sistemas+de+automatizaci%C3%B3n+&ots=g3Buc2adUc&sig=6bDVwtrSW1Yi%20w5fB00HBYa7VvTo#v=onepage&q&f=false>.
- [12] O. A. Navarrete y K. B. Yáñez, *Sistemas integrales para la automatización de bibliotecas basados en software libre*. Editorial Ciencias Médicas, 2008. dirección: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1024-94352008001200009&script=sci_arttext.
- [13] Miesa, *Alimentaciones Eléctricas: Todo lo que Necesitas Saber*. Miesa, 2024. dirección: <https://www.miesa.com.mx/blog/electromagnetica/alimentaciones-electricas-todo-lo-que-necesitas-saber>.
- [14] Distron, *Fuente de alimentación AC/DC: ¿Qué diferencias presentan?* Distron, 2024. dirección: <https://distron.es/fuente-de-alimentacion-ac-dc/>.
- [15] J. Electric, *Qué es una fuente de alimentación de 24 V CC*. Junlin Electric, 2024. dirección: <https://cnvvv.com/es/noticias/que-es-una-fuente-de-alimentacion-de-24-v-c-c/>.
- [16] D. E. Systems, *Conoce Todo Sobre Los Breakers Eléctricos (Interrupor Automático)*. Dielco Electric Systems, 2023. dirección: <https://www.dielco.co/articulos/conoce-todo-sobre-los-breakers-el%C3%A9ctricos-interruptor-autom%C3%A1tico>.
- [17] J. Electricos, *¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA UN BREAKER ELÉCTRICO O DISYUNTOR?* JD Electricos, 2020. dirección: <https://www.jdelectricos.com.co/como-funciona-un-breaker-electrico>.
- [18] M. Schapoehler, *What is a Pneumatic System? Guide to Components and Applications*. Airline Hydraulics., 2024. dirección: <https://blog.airlinehyd.com/pneumatic-system-explainer>.
- [19] T. Store, *Así funciona un compresor de aire y estos son sus usos*. Tool Store, 2026. dirección: <https://toolstore.com.co/blogs/blog-1/asi-funciona-un-compresor-de-aire-y-estos-son-sus-usos?srsltid=AfmB0oop4oARX6GJrvKjVNQ2TdKcjhp1K>

- [20] DYSMAR, *Tanques de Aire Comprimido: ¿Cómo Funcionan, Qué Tipos Hay yCuál Es el Que Necesito?* DYSMAR, 2024. dirección: <https://www.dysmar.com/servicios-dysmar/tanque-de-aire-comprimidocomo-funcionan-tipos-y-cual-necesitas-para-tu-operacion/>.
- [21] Fabriles, *Filtro Regulador De Aire De ¼ Mini Ref: AW2000-02 Compresor*. Fabriles, 2021. dirección: <https://fabriles.com.co/producto/filtro-regulador-de-aire-de-%C2%BC-mini-ref-aw2000-02-compresor/>.
- [22] A. S. Ruiz, F. A. R. García y J. C. R. Noguguera, *Guía practica de sensores*. Creaciones Copyright, S.L., 2010. dirección: <https://books.google.es/books?id=CuoXCd6ZZqWC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
- [23] L. G. C. Ramírez, G. S. A. Jiménez y J. M. Carreño, *Sensores y actuadores. Aplicaciones con Arduino*. Universidad del Pedregal del Sur, 2014. dirección: <https://books.google.es/books?id=wMm3BgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=true>.
- [24] S. Reif-Acherman y F. Machuca-Martinez, *Eugene Bourdon y la evolución del manómetro*. Universidad del Valle, 2010. dirección: <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1806-11172010000100020>.
- [25] S. M. Teja, *Automatización Neumática y Electroneumática*. Marcombo, 1996. dirección: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=pC_VJpPEMJ4C&oi=fnd&pg=PA11%20&dq=Regulador+electroneum%C3%A1tico+&ots=NZL_xX5iKE&sig=X4W0l1Se%20y-%20GtB5sjOSNYmohX1oI#v=onepage&q=Regulador%20electroneum%C3%A1tico&f%20=false.
- [26] S. Electric, *¿Qué es un contactor? ¿Cómo seleccionar un contactor?* Schneider Electric, 2024. dirección: <https://www.se.com/es/es/faqs/FAQ000263192/>.
- [27] J. A. Auzmendi y L. Moffatt, *Increasing the reliability of solution exchanges by monitoring solenoid valve actuation*. Instituto de Química Física de los Materiales, 2009. dirección: <https://sci-hub.hlgczx.com/10.1016/j.jneumeth.2009.10.002#gsc.tab=0>.
- [28] Agruquero, *Válvulas manuales y válvulas automáticas: usos y características*. Agruquero, 2022. dirección: <https://agruquero.com/valvulas-manuales-y-valvulas-automaticas-usos-y-caracteristicas/>.
- [29] G. bibinitperiod R. C. Ltda., *ELEMENTOS DE CONTROL Y SEÑALIZACIÓN (LUCES PILOTO Y PULSADORES)*. Gonzaga & Rodriguez Cia. Ltda., 2021. dirección: <https://electricoindustrial.com.ec/2021/03/15/elementos-de-control-y-senalizacion/>.
- [30] A. y Electricidad, *Función del piloto luminoso: verde y rojo*. Aire y Electricidad, 2021. dirección: https://aireyelectricidad.com/blog/21_piloto-luminoso.html?srsltid=AfmBOopATQ_uWUPFpKjFI-MvtM1sYY1-iMhCHINKem3M10NECEeMOioF.

- [31] Promelsa, *¿Qué es un pulsador y cómo elegir el adecuado para tu proyecto o instalación?* Promelsa, 2024. dirección: https://www.promelsa.com.pe/blog/post/que-es-pulsador-electrico.html?srsltid=AfmBOop-mYTSC_1m_M0yiNVja1uPDF9tKhydm2V7BpfplYa2wbTKiD4N.
- [32] B. B, *Selector: funcionalidad y aplicaciones en sistemas de control eléctrico*. Electron Materiales Electricos., 2024. dirección: <https://www.elektron.com.mx/blog/post/selector-funcionalidad-y-aplicaciones-en-sistemas-de-control-electrico?srsltid=AfmBOopPmS1ILnHt0ErOE8t-qPWAmeho6vki-PAtjezPETiZqJ11NlkK>.
- [33] G. Blanco, *¿Qué es un botón de parada de emergencia?* Legrand, 2024. dirección: <https://www.legrand.com.pe/es/que-es-boton-parada-emergencia>.
- [34] A. A. López, *El control de procesos industriales y su influencia en el mantenimiento*. Universidad de Lima, 2011. dirección: https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/227/202.
- [35] R. D. V. Salazar, *Control lógico programable*. Tool Store, 2010. dirección: <https://catalogo.itm.edu.co/catalog/product/view/id/1610/s/gpd-control-logico-%20programable-9789588351957/>.
- [36] M. de Minas y Energía., *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RE-TIE). Resolución 40117 de 2024, Libro 3 – Artículo 3.17.16: Elementos de conexión (conectores, terminales, empalmes y bornes para conductores eléctricos)*. Ministerio de Minas y Energía., 2024. dirección: https://www.minenergia.gov.co/documents/11566/4._Libro_3_-_Instalaciones.pdf.
- [37] M. de Minas y Energía., *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RE-TIE). Resolución 40117 de 2024, Libro 2 – Artículo 2.3.18.2: Equipos de manobra y control*. Ministerio de Minas y Energía., 2024. dirección: https://www.minenergia.gov.co/documents/11565/3._Libro_2_-_Productos.pdf.
- [38] M. de Minas y Energía., *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RE-TIE). Resolución 40117 de 2024, Libro 2 –Artículo 2.3.17: Equipos de corte y seccionamiento de baja y media tensión*. Ministerio de Minas y Energía., 2024. dirección: https://www.minenergia.gov.co/documents/11565/3._Libro_2_-_Productos.pdf.
- [39] M. de Minas y Energía., *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Resolución 40117 de 2024, Libro 2 –Artículo 2.3.31.2.2: Terminales de alambrado*. Ministerio de Minas y Energía., 2024. dirección: https://www.minenergia.gov.co/documents/11565/3._Libro_2_-_Productos.pdf.
- [40] O. Badenes y R. Francisco, *La Norma ISA 95: Introducción y Estructura*. Universidad Politecnica de Valencia, 2021. dirección: <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/87840d51-a0f0-4f55-a247-890fb804c5c8/content>.

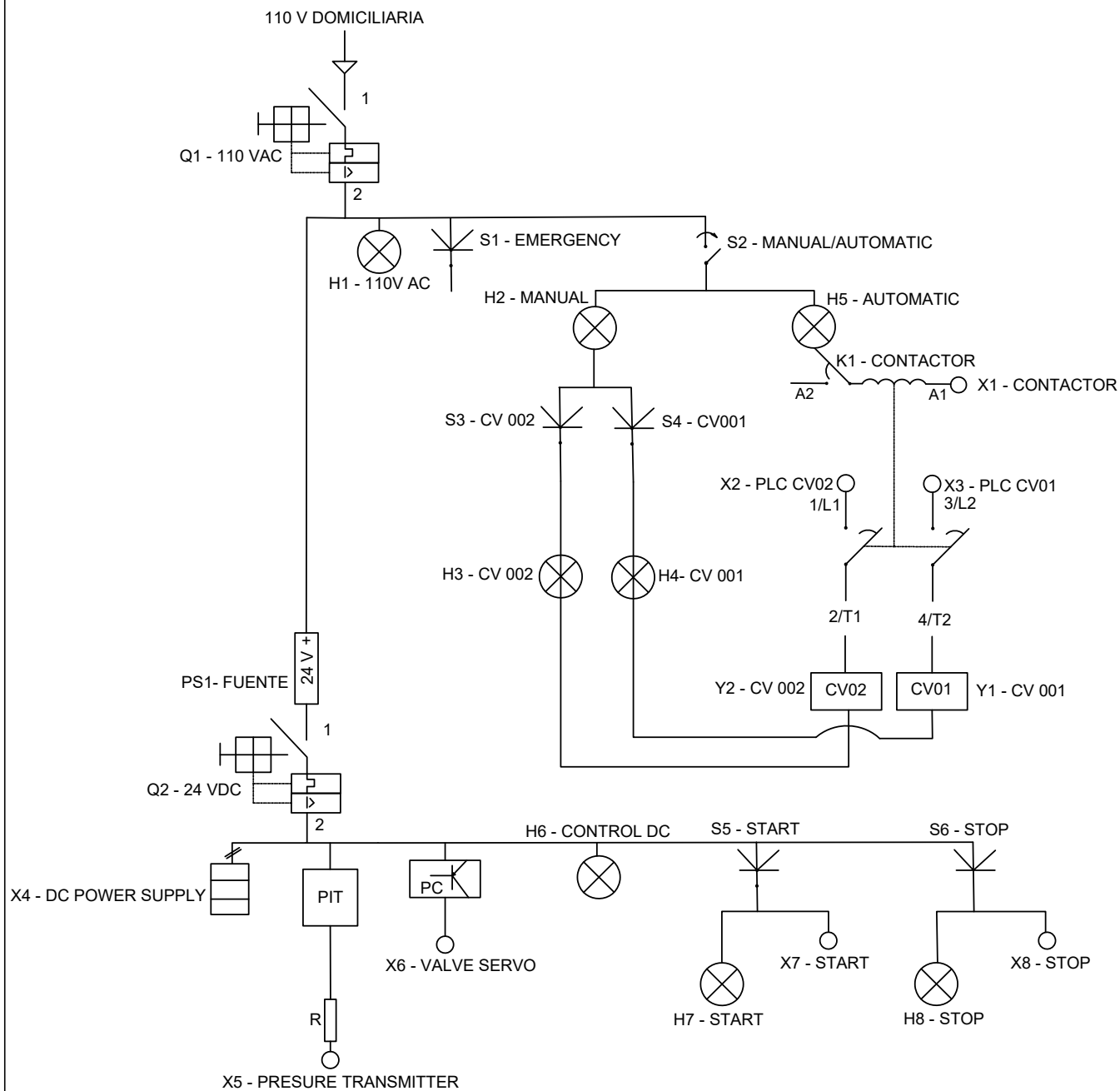
- [41] L. S. C. PÉNCUE y F. A. O. HOYOS, *Escenario de control basado en PLC para banco de pruebas de presión del laboratorio de procesos de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*. CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CUACA, 2017. dirección: <https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/357/T%20E-M%20049%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [42] R. S. S.A., *Manómetro de Presión Tipo Radial 0 - 100 psi*. Refacciones Summit S.A., 2023. dirección: https://refaccionessummit.com/product/manometro-de-presion-tipo-radial-0-100-psi?srsltid=AfmB0orl9vfEp_xnFrzERcJ7Yni1M0H605o2u-1xUJz3LzhUXHhaRyYb.
- [43] LevelPro, *Manual for 2-wire LED display and control unit*. Levelpro, 2018. dirección: <https://iconprocon.com/wp-content/uploads/2018/07/LP200-LED-Manual1.pdf>.
- [44] N. D. Automation, *Regulador electrónico SMC ITV3050-31N4CL4 4000 L/min, 0-10 VDC in, 1/2 pulgada NPT-*. Next Day Automation, 2003. dirección: <https://www.ebay.com/itm/315271296791>.
- [45] D. Electronics, *liQ Din Rail Power Supply 24V 60W 1 Phase Plastic*. Delta Electronics, 2009. dirección: <https://www.alldatasheet.com.mx/datasheet-pdf/view/345861/DELTA/D0116888.html>.
- [46] G. A. Maria, *Cables Termoflex MP(Multi-Propósito)*. Prysmian Group, 2021. dirección: <https://ineldec.com/wp-content/uploads/2020/11/Ficha-Tecnica-Cable-Encauchetado-Termoflex-Mulitproposito-Procables.pdf>.
- [47] G. A. Maria, *Cables THHN/THWN-2 THHN/THWN-2 Cables*. Prysmian Group, 2021. dirección: https://ineldec.com/wp-content/uploads/2020/09/FT-CABLES-THHN_0.pdf.
- [48] C. Electrics, *Contadores, relés y arrancadores*. Chint Electrics, 2020. dirección: <https://share.google/NwVnSM8ehrLPZIfAb>.
- [49] CILES, *Breaker Termomagnético Riel Monopolar, Bipolar*. Chint Electrics, 2023. dirección: <https://ciles.co/wp-content/uploads/2023/05/ft-Breaker-Termomagnetico-Riel.pdf>.
- [50] A. C. S.A.C, *MRK-10 - BORNERA 10MM2, 300V/750V, GRIS, RIEL DIN*. AUTOMAQ CORPORACION S.A.C, 2022. dirección: <https://automaq.pe/producto/173932/%5Bobject%20object>.
- [51] M. EIRL, *Pulsador metálico rojo CHINT NP2-BA42 1NC Ø22mm - Código 2506102CH*. Morales EIRL, 2025. dirección: https://morales-eirl.com/products/pulsador-metalico-rojo-chint-np2-ba42-1-nc-o22-mm-codigo-2506102ch?srsltid=AfmB0orTY1JFBAR4V8rov_2n00esnUsG5Vev1itEEB45jE-Yf6XLQkuZ.
- [52] C. Electrics, *Pulsadores, Pilotos y Zumbadores*. Chint Electrics, 2020. dirección: <https://share.google/TbEAj0Gyc621JUa6j>.

- [53] D. Electric, *LD11s Indicator*. Delixi Electric, 2025. dirección: <https://www.cn-delixi.com/product/ld11s-indicator/>.
- [54] V. Electric, *PILOTOS ELECTRÓNICOS Monoblock*. VCP Electric, 2025. dirección: <https://share.google/YqXUDStSzN5D1Lb8P>.
- [55] C. D. projects, *ZB2-BE102C Interruptor pulsador de parada de emergencia 600V 10A*. Compass DHM projects, 2021. dirección: <https://www.dhm-online.com/es/interruptores-de-encendido-apagado/2085-zb2-be102c-interruptor-pulsador-de-parada-de-emergencia-600v-10a.html?srsltid=AfmB0orPS00F0pJEpkYheKJjelM8pQ->.

A. Manejo de Anexos

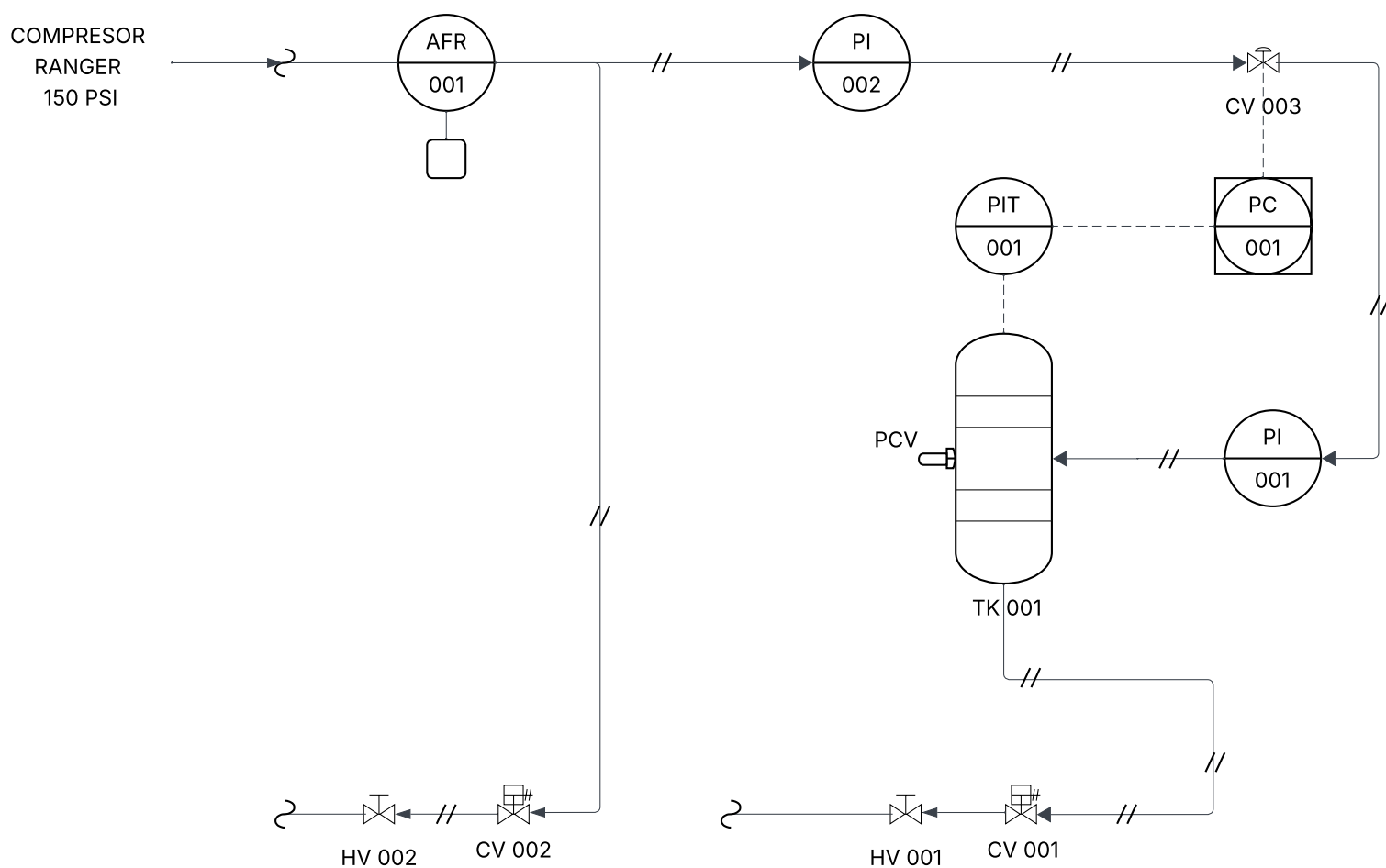
En la sección a continuación se encuentran todos los anexos relacionados con el banco de pruebas de la planta de presión.

A.1. Anexo A - Plano eléctrico

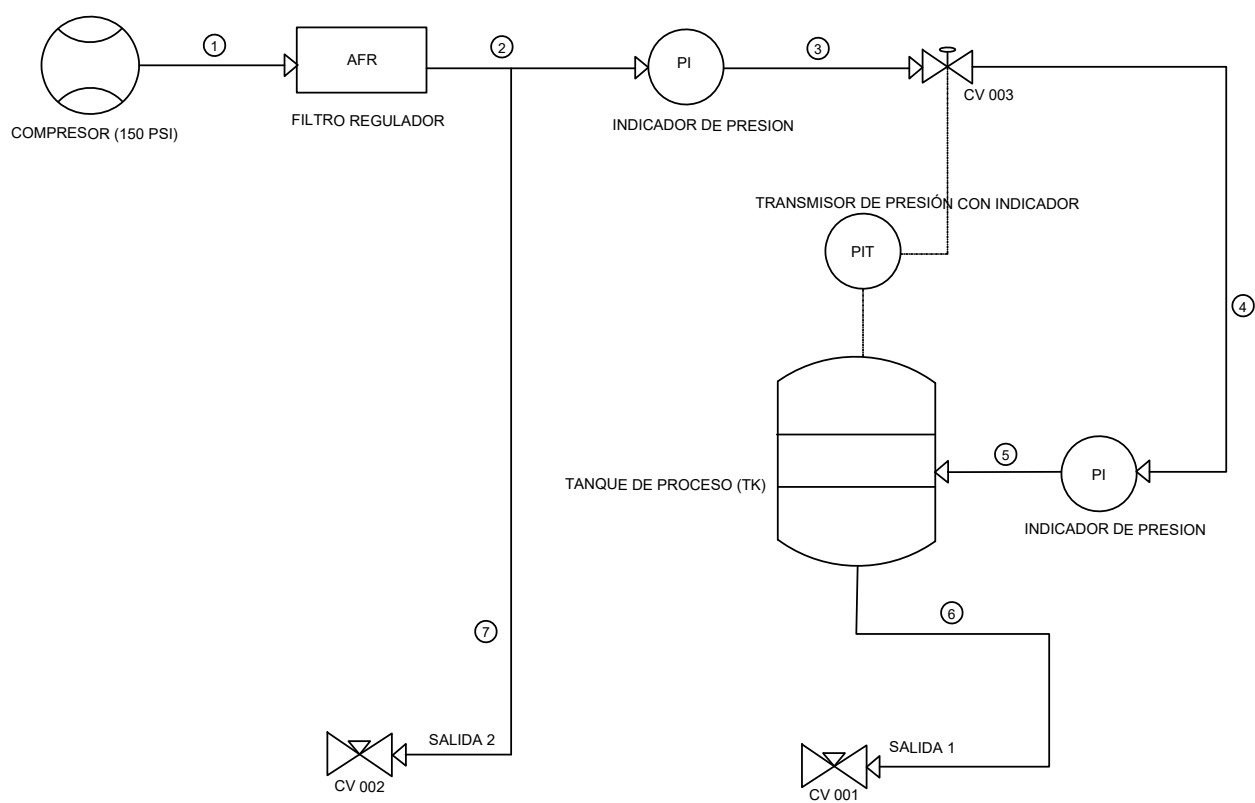


A.2. Anexo B - Diagrama P&ID

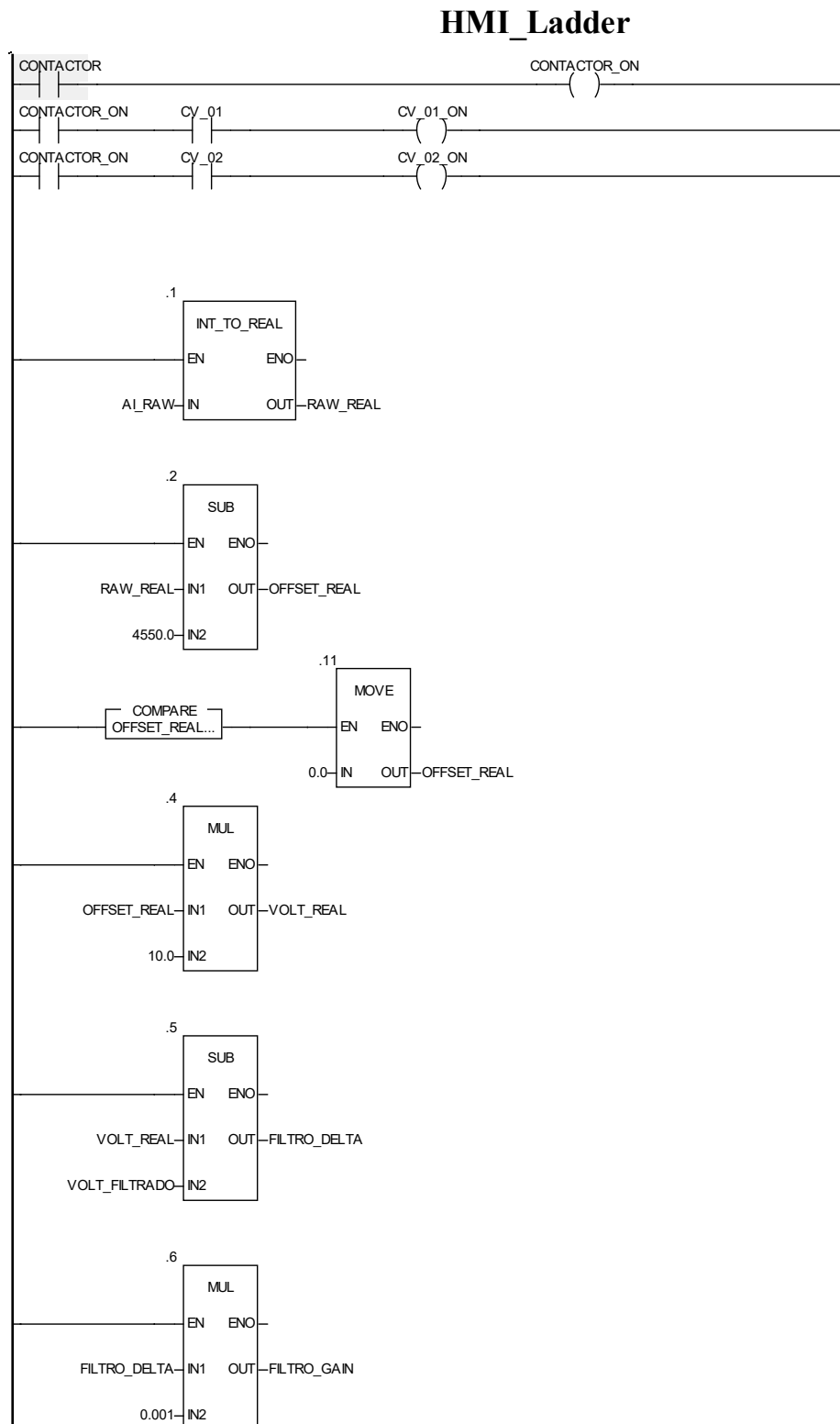
Diagrama de tuberías e ingeniería P&ID
Planta Presion Universidad Autonoma del Cauca



A.3. Anexo C - Diagrama PFD

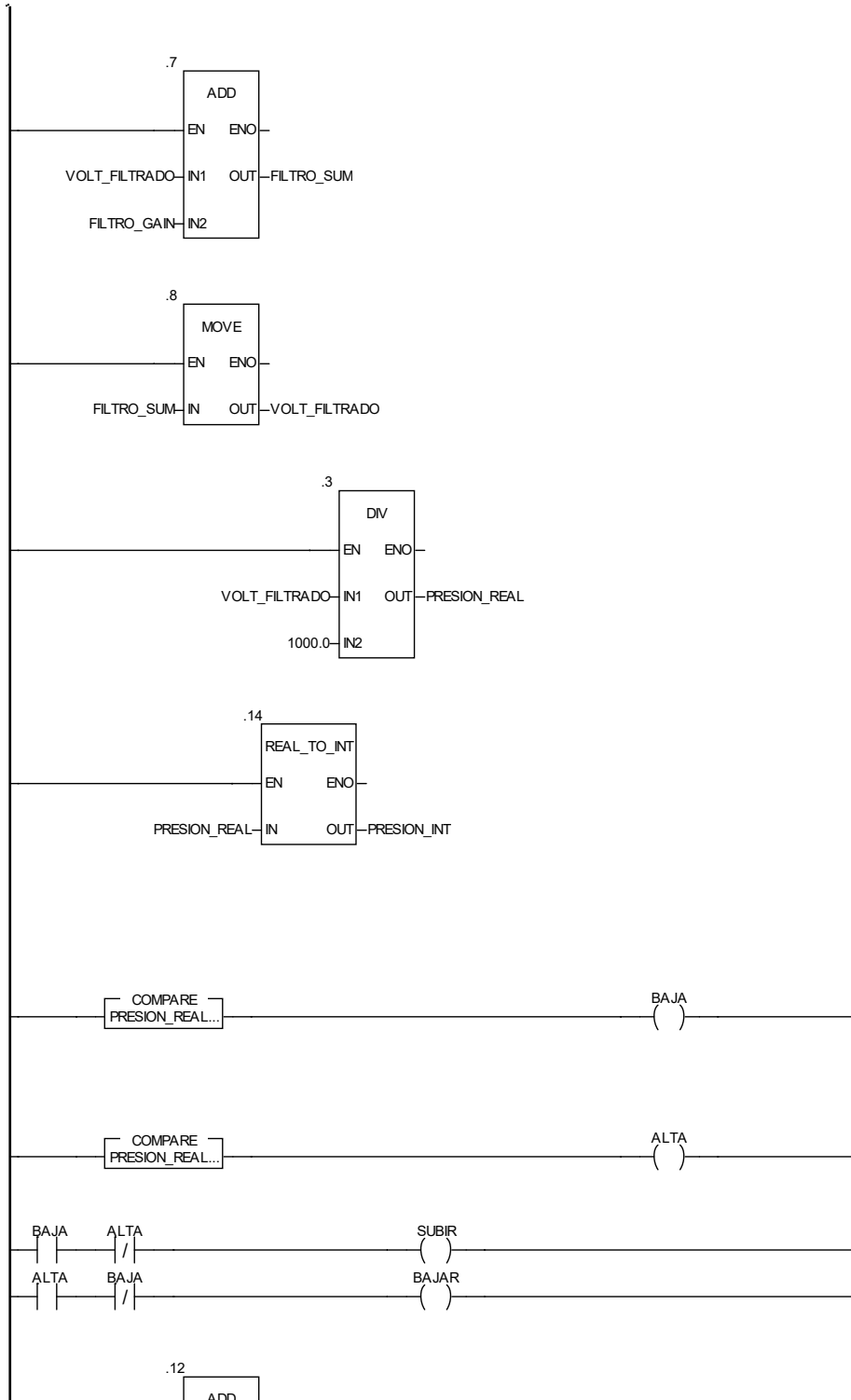


A.4. Anexo D - Código de programación para PLC



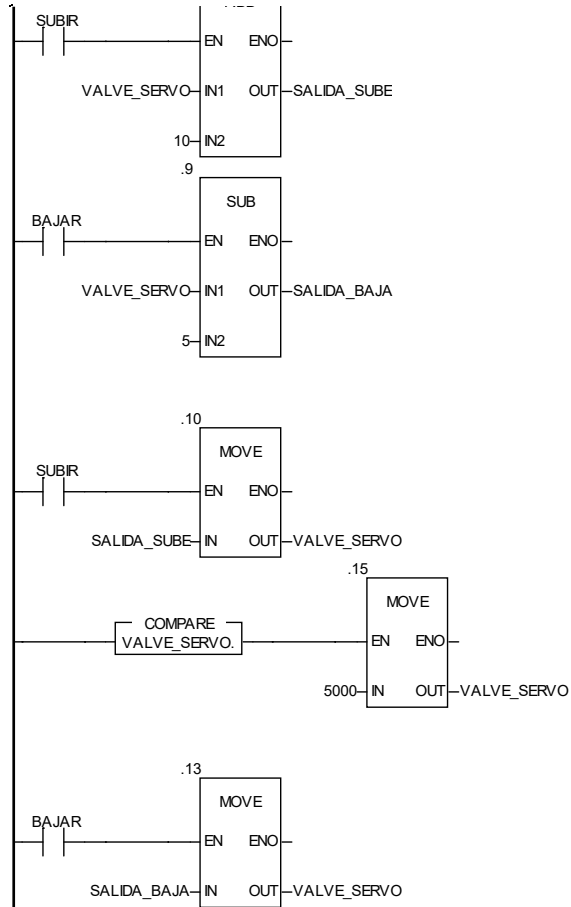
A.5. Anexo D - Código de programación para PLC

HMI_Ladder



A.6. Anexo D - Código de programación para PLC

HMI_Ladder



A.7. Anexo E - Variables del código de programación para PLC

Variables

Nombre	Tipo	Valor	Comentario	Alias	Alias de	Dirección	Variable de	Derechos de
AI_RAW	INT		IN_Transmisor			%IW0.2.1	0	NO
ERROR	REAL						0	NO
FILTRO_DELTA	REAL						0	NO
FILTRO_GAIN	REAL						0	NO
FILTRO_SUM	REAL						0	NO
OFFSET_REAL	REAL						0	NO
OFFSET_REAL_P	REAL						0	NO
PASO_CTRL	REAL						0	NO
PRESION_MAX	REAL	40.0	Valor maximo de presion				0	NO
PRESION_MIN	REAL	35.0	Valor minimo de presion				0	NO
PRESION_REAL	REAL						0	NO
RAW_REAL	REAL						0	NO
SALIDA_SUM	REAL						0	NO
SALIDA_TMP2	REAL						0	NO
VALOR	INT						0	NO
VALVE_SERVO	INT		Valvula servo			%QW0.2.5	0	NO
VOLT_FILTRADO	REAL						0	NO
VOLT_REAL	REAL						0	NO
BAJA	EBOOL						0	NO
ALTA	EBOOL						0	NO
SUBIR	EBOOL						0	NO
BAJAR	EBOOL						0	NO
SALIDA_SUBE	INT						0	NO
SALIDA_BAJA	INT						0	NO
PRESION_INT	INT		Presion del sistema				0	NO
CONTACTOR	EBOOL		Contactor				0	NO
CONTACTOR_ON	EBOOL					%Q0.1.16	0	NO
CV_01	EBOOL						0	NO
CV_01_ON	EBOOL		Electro Valvula 1			%Q0.1.17	0	NO
CV_02	EBOOL						0	NO
CV_02_ON	EBOOL		Electro Valvula 2			%Q0.1.18	0	NO