

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO EDUCATIVO UTILIZANDO UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) PARA UN SISTEMA DE CONTROL BIESTABLE DE PRESIÓN

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTROMECAÁNICA**

GILBERT RAÚL GAIBOR PADILLA

gilbert.gaibor@epn.edu.ec

HAMILTON MISAEL QUIJIA PILLAJO

hamilton.quijia@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ MSC.

alan.cuenca@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA MSC.

carlos.romo@epn.edu.ec

Diciembre, 2019

Declaración

“Nosotros, Hamilton Misael Quijia Pillajo y Gilbert Raúl Gaibor Padilla, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación –COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaremos toda la información técnica pertinente. En el caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente”.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

Gilbert Raúl Gaibor Padilla

CI: 172498114-5

Hamilton Misael Quijia Pillajo

CI: 172265978-4

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Hamilton Misael Quijia Pillajo y Gilbert Raúl Gaibor Padilla, bajo nuestra supervisión.

Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Carlos Orlando Romo Herrera

CODIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por ser mi guía espiritual, bendiciéndome en todo momento, dándome la suficiente sabiduría para culminar con éxito las metas que me he trazado y por ser mi fortaleza durante las adversidades

A mi familia por los valores que me han inculcado, sus consejos y sobre todo por su comprensión. Ustedes son el pilar más importante en mi vida, les agradezco infinitamente por su apoyo incondicional.

A mis maestros, por haber formado parte fundamental del desarrollo integral dentro de mi formación académica.

A la Escuela Politécnica Nacional por haberme abierto las puertas para darme la oportunidad de forjarme como persona y como profesional.

Finalmente agradezco a todos quienes depositaron su confianza para poder cumplir con este objetivo.

Gilbert Gaibor P.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme las fuerzas y la voluntad para seguir construyendo mi futuro, y al mismo tiempo me brinda su cuidado y protección.

A mis padres Blanca y Franklin por enseñarme que con esfuerzo y dedicación todos nuestros sueños se pueden hacer realidad. Siempre me brindaron su confianza y dedicación, lo que me permitió llegar cada vez más alto con pasos firmes.

A mis hermanas porque siempre en cada caída o tropezón supieron apoyarme con un consejo o un regaño.

A mi novia Wendy por siempre estar dándome el aliento y las fuerzas necesarias para alcanzar mis metas.

A todos mis profesores de la carrera de Electromecánica por todas sus enseñanzas que me servirán día a día para ser un excelente profesional.

Un agradecimiento cordial a nuestro director de tesis, Ingeniero Alan Cuenca; por su paciencia, dedicación y el haber confiado en nosotros para el desarrollo de este proyecto.

A mi compañero Gilbert por haber compartido todas las experiencias de la universidad, tanto buenas como malas, siempre logramos salir adelante.

A mis tíos, en especial a Alfonso; porque más allá del apoyo económico él supo conocerme como un amigo más y con sus palabras de aliento siempre me ayudan a ser mejor persona.

Finalmente agradezco a todas las personas que de una u otra manera nos ayudaron en el desarrollo del proyecto.

Hamilton Quijia P.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado con todo cariño a mis padres por haberme enseñado que a pesar de las circunstancias con tenacidad, esfuerzo, dedicación y perseverancia es posible alcanzar todo lo que una persona se propone para así materializar lo anhelado.

A mis hermanos por compartir tantas aventuras cada día y las alegrías que hemos tenido y que vendrán.

A mis sobrinos quienes me hacen sentir muy orgulloso de quien soy.

En memoria de mis abuelitos Ángel Raúl y Carmen Etelvina.

Gilbert Gaibor P.

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado con todo cariño y amor a mis padres, Blanca y Franklin; que me enseñaron que con humildad y sencillez siempre se puede salir adelante. Y que detrás de cada alegría en nuestro corazón hay una gran familia que nos apoya.

A mis hermanas Janeth, Johana, Nieves, Ana y Susana porque junto a ellas he vivido momentos inolvidables y que a pesar de tantas cosas siempre estamos juntos.

A mis sobrinos Mateo, Christopher y Nicolás porque con su alegría y travesuras alegran todos mis días.

A mis tíos Luis y Mary, por el apoyo incondicional y que siempre me recuerdan que cada mañana se puede ser mejor.

A mi novia Wendy, por ser un pilar fundamental en mi vida; me brinda su apoyo, comprensión y amor en cada cosa o proyecto que realizo.

Hamilton Quijia P.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	METODOLOGÍA	2
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	4
3.1.	Formulación y determinación de la aplicación.....	4
•	Control de presión.....	4
3.2.	Dispositivos y componentes	5
3.3.	Cálculo y selección de dispositivos.....	6
•	Módulo Educativo	6
•	Sistema de control biestable de presión	19
3.4.	Construcción del módulo PLC	33
•	Disposición de los elementos en el módulo PLC	34
•	Montaje	35
3.5.	Construcción del sistema de control biestable de presión.....	43
•	Diseño	43
•	Renovación de la estructura.....	45
•	Construcción del depósito de almacenamiento.....	46
•	Montaje de elementos y dispositivos.....	46
•	Diseño del circuito de acondicionamiento.....	63
3.6.	Algoritmo de control e Interfaz Humano- Máquina (HMI).....	70
•	Algoritmo de control	70
•	HMI	71
3.7.	Pruebas de funcionamiento.....	75
•	Módulo educativo	76
•	Sistema de control biestable de presión	80
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
4.1.	Conclusiones.....	86
4.2.	Recomendaciones.....	87
5.	BIBLIOGRAFÍA	89
6.	ANEXOS	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Sistema hidroneumático.....	5
Figura 3.2: Módulos del Laboratorio de Tecnología Industrial.....	7
Figura 3.3: Estructura PLC S7-1200.....	8
Figura 3.4: SIMATIC STEP7 y WinCC.....	9
Figura 3.5: Logotipo PORTAL TIA V15.....	10
Figura 3.6: Entorno de trabajo TIA PORTAL V15.....	10
Figura 3.7: Ejemplo HMI.....	11
Figura 3.8: Estructura lenguaje Ladder.....	12
Figura 3.9: Estructura lenguaje FBD.....	12
Figura 3.10: Protocolo Ethernet.....	13
Figura 3.11: Fusible y breaker.....	14
Figura 3.12: Canaleta y riel DIN.....	14
Figura 3.13: Borneras Jack banana.....	15
Figura 3.14: Divisor de voltaje en el circuito de acondicionamiento.....	16
Figura 3.15: Resistencias en el circuito de acondicionamiento.....	17
Figura 3.16: Regulador de voltaje.....	18
Figura 3.17: Acondicionamiento de la señal analógica.....	18
Figura 3.18: Diagrama PCB.....	19
Figura 3.19: Modelo del circuito de acondicionamiento.....	19
Figura 3.20: Módulo de pruebas para bombas Jet domiciliarias.....	20
Figura 3.21: Transmisor Endress Hauser PMP131.....	21
Figura 3.22: Partes de la bomba centrífuga.....	22
Figura 3.23: Bomba centrífuga tipo Jet.....	22
Figura 3.24: Tubería PVC de 1 pulgada.....	23
Figura 3.25: Uniones y acoples.....	23
Figura 3.26: Presóstato hidráulico.....	24
Figura 3.27: Manómetro.....	25
Figura 3.28: Tanque hidroneumático.....	25
Figura 3.29: Racor de 5 vías.....	26
Figura 3.30: Electroválvula.....	26
Figura 3.31: Válvula check.....	27
Figura 3.32: Válvula de compuerta.....	27
Figura 3.33: Válvula de bola.....	28
Figura 3.34: Sensor de nivel con cable tipo boya.....	28
Figura 3.35: Láminas de Acero inoxidable.....	29
Figura 3.36: Contactor Schneider Electric.....	30
Figura 3.37: Guardamotor Schneider Electric.....	31
Figura 3.38: Relé electromecánico.....	32
Figura 3.39: Disyuntor.....	32
Figura 3.40: Gabinete metálico liviano.....	33
Figura 3.41: Vista interna del módulo PLC.....	34
Figura 3.42: Señalética del Módulo PLC.....	36
Figura 3.43: Montaje de la riel DIN y canaleta ranurada sobre la superficie electrostática.....	37
Figura 3.44: Montaje de elementos.....	37
Figura 3.45: Conexiones eléctricas del módulo PLC.....	39
Figura 3.46: Montaje del PLC.....	40
Figura 3.47: Conexión eléctrica de la parte interna.....	40
Figura 3.48: Conexión eléctrica de la parte frontal.....	41

Figura 3.49: Colocación de cubiertas sobre la canaleta ranurada	41
Figura 3.50: Acabado final del módulo PLC	42
Figura 3.51: Diseño del sistema biestable de presión (vista frontal).....	44
Figura 3.52: Diseñó del sistema biestable de presión (vista lateral)	44
Figura 3.53: Renovación de la estructura para el sistema biestable de presión	45
Figura 3.54: Estructura del sistema biestable de presión	45
Figura 3.55: Construcción del depósito del sistema biestable de presión.....	46
Figura 3.56: Implementación de adaptadores de tanque al depósito	46
Figura 3.57: Fijación de la válvula tipo bola de metal al depósito.....	47
Figura 3.58: Fijación de la válvula tipo bola de plástico al depósito.....	47
Figura 3.59: Fijación del depósito en la estructura	48
Figura 3.60: Fijación de la bomba a la estructura.....	48
Figura 3.61: Cebado de la bomba.....	49
Figura 3.62: Instalación del sistema hidroneumático.....	49
Figura 3.63: Fijación de la electroválvula y válvula tipo compuerta a la estructura.....	50
Figura 3.64: Instalación del transmisor de presión	51
Figura 3.65: Instalación de gabinetes eléctricos y canaleta ranurada	51
Figura 3.66: Instalación de canaleta ranurada dentro de los gabinetes.....	52
Figura 3.67: Instalación de flotador.....	52
Figura 3.68: Señalética del tablero de fuerza.....	53
Figura 3.69: Señalética del tablero de control.....	53
Figura 3.70: Tablero de control y fuerza.....	54
Figura 3.71: Conexión eléctrica	56
Figura 3.72: Instalación eléctrica del gabinete de fuerza.....	57
Figura 3.73: Instalación eléctrica del gabinete de control.....	57
Figura 3.74: Instalación caja plástica eléctrica	58
Figura 3.75: Etiquetado gabinete de control.....	58
Figura 3.76: Etiquetado gabinete de fuerza	59
Figura 3.77: Diagrama de instrumentación P&ID	60
Figura 3.78: Colocación del diagrama de instrumentación P&ID sobre la estructura.....	60
Figura 3.79: Instalación de la tapa en el depósito	61
Figura 3.80: Fijación de las eles metálicas entre la tapa y el depósito	61
Figura 3.81: Acabado final del sistema biestable de presión.....	62
Figura 3.82: Gráfica de recta corriente en función de la presión	63
Figura 3.83: Conexión del amperímetro digital al transmisor.....	64
Figura 3.84: Visualización del amperímetro digital	65
Figura 3.85: Gráfica corriente en función de la presión	66
Figura 3.86: Circuito de acondicionamiento	67
Figura 3.87: Simulación circuito de acondicionamiento del sistema biestable de presión	68
Figura 3.88: Diagrama PCB del circuito de acondicionamiento.....	68
Figura 3.89: Modelo del circuito de acondicionamiento.....	68
Figura 3.90: Instalación del circuito de acondicionamiento.....	69
Figura 3.91: Voltaje mínimo de la señal del transmisor.....	69
Figura 3.92: Voltaje máximo de la señal del transmisor	69
Figura 3.93: Variables del algoritmo de control	71
Figura 3.94: Pantalla PRINCIPAL del HMI	72
Figura 3.95: Pantalla PROCESO del HMI	73
Figura 3.96: Diagrama de instrumentación P&ID del HMI	74
Figura 3.97: Pantalla VISOR DE CURVAS del HMI	75
Figura 3.98: Pruebas de conexiones eléctricas en el módulo PLC.....	76
Figura 3.99: Pruebas de dispositivos de protección del módulo PLC.....	77

Figura 3.100: Pruebas de comunicación del módulo PLC.....	77
Figura 3.101: Pruebas de circuitos de maniobra del módulo PLC.....	78
Figura 3.102: Prueba de entradas analógicas mediante fuente variable.....	79
Figura 3.103: Procesamiento del voltaje externo mediante software.....	79
Figura 3.104: Prueba de entradas analógicas mediante potenciómetro.....	79
Figura 3.105: Procesamiento del voltaje del potenciómetro mediante software.....	80
Figura 3.106: Sincronización HMI con el módulo PLC.....	80
Figura 3.107: Acumulación de presión del sistema biestable de presión.....	81
Figura 3.108: Visualización del funcionamiento del transmisor en el visor de curvas.....	82
Figura 3.109: Curva de funcionamiento para valores menores al set point.....	83
Figura 3.110: Valor de referencia (SET POINT) fuera de rango.....	83
Figura 3.111: Valor de referencia de 60 [PSI].....	84
Figura 3.112: Tiempo de reactivación de la bomba.....	84
Figura 3.113: Reactivación del sistema biestable de presión.....	85
Figura 3.114: Operación del Módulo PLC y Sistema biestable de presión.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: <i>Tabla de identificación de componentes externos del PLC SIEMENS S7-1200.....</i>	8
Tabla 3.2: <i>Protecciones del módulo educativo</i>	13
Tabla 3.3: <i>Elementos de mando y señalización.....</i>	15
Tabla 3.4: <i>Amperaje en Conductores.....</i>	16
Tabla 3.5: <i>Elementos reutilizados.....</i>	20
Tabla 3.6: <i>Datos de placa Bomba Jet autocebante marca LEO</i>	30
Tabla 3.7: <i>Calibre y terminales de los conductores del módulo PLC.</i>	38
Tabla 3.8: <i>Conductores, calibres y terminales del sistema biestable de presión.....</i>	55
Tabla 3.9: <i>Corriente Ideal y experimental del transmisor de presión</i>	65

RESUMEN

El desarrollo y ejecución del presente proyecto surge ante la necesidad de completar el Laboratorio de Tecnología Industrial que forma parte de la Escuela de Formación de Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional con equipamiento tecnológico industrial para que los alumnos tengan la posibilidad de aplicar los conocimientos adquiridos de forma teórica en las áreas de Automatización, Control e Instrumentación y puedan afianzar sus habilidades prácticas.

Este trabajo está constituido en cuatro secciones, las cuales se detallan a continuación:

Capítulo 1: Introducción, la misma que contiene generalidades para el desarrollo del trabajo, justificativo, objetivos y alcance global del proyecto.

Capítulo 2: Metodología, en donde se da a conocer la investigación utilizada, métodos y recursos necesarios para su desarrollo. Se describe los procedimientos utilizados para el cumplimiento efectivo de los objetivos planteados, iniciando por el dimensionamiento, identificación y selección de equipos, continuando con la implementación y puesta en marcha, finalizando con las pruebas de funcionamiento.

Capítulo 3: Resultados y discusión, se formula el diseño, caracterización, implementación y funcionamiento del sistema de control de presión, previo al análisis del módulo PLC ya establecido. Se detalla el algoritmo de control, así como la interfaz de operador creada para la aplicación, las pruebas de operatividad, interpretación y prospección de resultados.

Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones del proyecto.

ABSTRACT

The development and execution of this project arises from the need to complete the Laboratory of Industrial Technology that is part of the School of Training of Technologists of the National Polytechnic School with technological equipment so that the students have the possibility to apply the knowledge acquired in the areas of Automation, Control and Instrumentation can strengthen their practical skills.

This work consists of four sections, which are detailed below:

Chapter 1: Introduction, which contains generalities for the development of work, justification, objectives and scope of the project.

Chapter 2: Methodology, where the research used and the resources for its development are made known. It describes the procedures used for the fulfillment of the objectives, starting with the dimensioning, identification and selection of equipment, continuing with the implementation and commissioning, finishing with the performance tests.

Chapter 3: Results and discussion, the design, characterization, implementation and operation of the pressure control system is formulated, prior to the analysis of the PLC module already established. The control algorithm as well as the operator interface, performance tests, interpretation and analysis of results is detailed.

Chapter 4: Conclusions and recommendations of the project.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas basados en el control automático han evolucionado con una rapidez vertiginosa e incesante a toda escala, cimentando de esta manera una base para una nueva era en el ámbito industrial. Su constante estudio y aplicación ha propiciado la identificación de sus ventajas y beneficios en labores industriales, que es donde tiene amplia presencia, dada la necesidad de realizar el control, monitoreo y supervisión de un gran número de variables, asociado intrínsecamente por el aumento progresivo de la complejidad de dichos sistemas. En vista de ello es muy importante tener profesionales que cuenten con la preparación idónea y el potencial suficiente para abordar el crecimiento progresivo de este tipo de sistemas.

El laboratorio de Tecnología Industrial de la Escuela de Formación de Tecnólogos cuenta por el momento con cuatro módulos didácticos PLC, además sistemas de control de nivel, temperatura y velocidad que son muy útiles, ya que permiten a los estudiantes la interacción con el control y manejo de dispositivos empleados en la industria.

En la actualidad, el número de módulos disponibles se ha convertido en un limitante debido a la creciente demanda de estudiantes de la Escuela de Formación de Tecnólogos. De la misma forma el laboratorio carece de un sistema que permita la manipulación y supervisión del comportamiento de la magnitud física presión en un sistema automático.

Considerando la problemática, se realizó la implementación de un módulo educativo utilizando un Controlador Lógico Programable (PLC) orientado para reforzar los conocimientos y mejorar el aprendizaje industrial de las asignaturas impartidas que corresponden a Control e Instrumentación, pues el PLC es un dispositivo de masiva difusión, capaz de sustituir actividades netamente reiterativas y fundamentalmente usado por su eficiencia, puesto que tienen la capacidad de aumentar el volumen y calidad en la producción, por la reducción de errores y por la entrega de seguridad en los procesos.

De forma complementaria al módulo PLC se desarrolló una aplicación práctica de un sistema de control de presión que coincida perfectamente con sus características de funcionalidad. Para ello es de vital importancia seguir un procedimiento secuencial de construcción empezando por el diseño de la aplicación y sus requerimientos, dimensionamiento y selección de dispositivos, ensamblaje de la unidad y finalmente las pruebas de funcionamiento. El sistema de presión contará con su respectivo programa e interfaz humano máquina (HMI) para un control eficiente e integral, además de un instructivo a manera de compendio dirigido al usuario final en donde se da a conocer el esquema de conexiones, una lista para detección de averías - correcciones y labores de mantenimiento.

2. METODOLOGÍA

Este estudio está adaptado conforme a la metodología empírica-aplicativa puesto a que se busca la generación del conocimiento con aplicación directa a los problemas de índole educativo, como consecuencia de la utilización de conceptos y nociones adquiridas. (Lozada, 2014)

Adicionalmente se emplearon técnicas de investigación, observación, exploración y ensayo para identificar los elementos para la conformación del sistema. A través de la recopilación de información de fuentes bibliográficas científico - académicas se logró conseguir los parámetros técnicos que permitieron el entendimiento de los procesos industriales y el desarrollo unívoco del sistema de control de presión para definir las características del módulo PLC, como la cantidad de entradas-salidas digitales y análogas, protocolo de comunicación, circuitos de regulación de voltaje, entre otros.

Luego se realizó una comparativa entre el cumplimiento de las características funcionales y prestaciones de los PLC'S ya disponibles en el Laboratorio, con el dispositivo seleccionado. Bajo este parámetro se escogió el PLC acogiéndose a la normativa de estandarización actual. Más adelante, bajo reglamentación técnica, se elaboró el diseño del armario eléctrico en el que se dispondrá el autómatas, así como la disposición y distribución de componentes principales y accesorios. Para facilitar esta labor se organizó los componentes utilizando el software de ingeniería para modelado de estructuras y planos AutoCAD.

Para la fabricación del gabinete eléctrico se consideró las normativas de manufactura vigentes, con la finalidad de resguardar las instalaciones, la integridad de los componentes y la seguridad de los usuarios. Se conformó un envolvente rectangular de acero, de tal manera que se pueda fijar y distribuir por medio de rieles y canaletas los equipos y sus conexiones. Se aplicó la técnica de troquelado automático para realizar perforaciones en la cara frontal del gabinete, pues estas servirán como guías para la adaptación de borneras que estarán en contacto directo con las entradas y salidas del PLC.

Para el diseño, construcción y montaje de igual manera, se contempló todas las seguridades del caso, tanto para las instalaciones y operadores. El esquema del lazo de control está conformado por diversos componentes como: transmisor de presión, bomba, electroválvula, presóstato y demás que fueron dispuestos analíticamente en la estructura metálica.

Se desarrolló un algoritmo de control eficiente y ajustable a los requisitos del sistema para un funcionamiento óptimo. A esto se adicionó una interfaz humano-máquina (HMI) para el registro real e histórico de datos y manejo de alarmas, que dote al usuario de toda la información concerniente al proceso mediante una interacción sencilla, comprensible y dinámica.

Después se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento del módulo PLC mediante algoritmos de control simplificados para accionamiento de entradas y salidas, comunicación PC-PLC, entre otras. Más tarde para corroborar la operatividad del sistema de lazo de control, se efectuó pruebas de funcionamiento asociándolo con el módulo PLC.

Finalmente, se elaboró un manual de usuario como directriz para brindar orientación y soporte en cuanto al diagrama de conexión entre los dispositivos que constituyen el sistema, posibles averías de funcionamiento, causas, soluciones y las respectivas tareas de mantenimiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Formulación y determinación de la aplicación

En el contenido de este apartado se precisa la trascendencia del sistema de control que se desarrolló con sus respectivas características y cualidades. De acuerdo a ello se establecieron las necesidades y condiciones de funcionamiento afines al módulo educativo PLC.

- **Control de presión**

En la actualidad numerosas industrias necesitan ampliar su competitividad buscando la minimización de los precios de fabricación para incrementar la calidad y fiabilidad de sus productos. Debido a esto se hace necesaria la aplicación de tecnologías de control automático en sus procesos. Su ejecución implica técnicas fundamentadas en automatismos continuos como: variaciones de temperatura, presión en sistemas, sistemas de sensores, velocidad de rotación, contenidos de materiales en tanques, entre otros. (Charre-Ibarra, 2014)

De conformidad con lo citado anteriormente, en procesos industriales la medición de la presión al igual que la temperatura y el nivel son magnitudes muy importantes y de alta relevancia que siempre necesitan ser monitoreadas, es por ello que en la actualidad se han constituido en variables de alto grado de utilización.

Un sistema de control de presión básicamente genera caudal y presión constante cuyo funcionamiento es independiente de la intervención humana. El control de la bomba se logra con la ayuda de un PLC (controlador lógico programable) y varios dispositivos complementarios (transmisor, electroválvula y tanque hidroneumático) otorgando de esta manera múltiples ventajas, tanto económicas (por consumo de energía) como de producción.

Además, estos sistemas tienen la capacidad de controlar caudal o nivel constante y depende de dos factores: del tipo de sensor que se conecta al controlador y la aplicación a la que se desea destinar el sistema. El control de presión es ampliamente utilizado en suministro automático de agua en edificios, viviendas, urbanizaciones, instalaciones industriales, entre otros. (ANTECH, 2019)

Los sistemas de control por tanque hidroneumático como se indica en la Figura 3.1 funcionan de la siguiente manera: el tanque capta el líquido a determinada presión en el interior de la cámara, conservando la misma y aliviando de acuerdo al consumo. Este sistema se fundamenta en dos estados de control, mínimo y máximo, que hacen referencia a la presión de llenado del tanque. De esta forma la bomba responde a un presóstato, que a la presión mínima la enciende

y a la presión máxima la apaga. Estos sistemas por lo general se los encuentra en sitios de suministro pequeños como casas, edificios medianos, sistemas de riegos, extracción de agua de ríos o arroyos, entre otros. (Padilla, 2000)



Figura 3.1: Sistema hidroneumático

3.2. Dispositivos y componentes

En este apartado se muestran y se especifican todos los dispositivos y componentes necesarios para la implementación del módulo educativo y el sistema de presión, para que la implementación se efectúe de forma apropiada, guardando concordancia con los parámetros de estudio y diseño preestablecidos.

- ✓ **Controlador:** Dispositivo capaz de recibir e interpretar la señal de la variable de medición y calcular una acción de control. (UAB, 2019)
- ✓ **Transmisor:** Elemento del sistema de control que recepta la variable de proceso por medio del elemento primario (sensor), condiciona, normaliza y transfiere a distancia una señal electrónica. (Solé, 2005)
- ✓ **Dispositivos de protección:** Son aquellos dispositivos que desconectan un sistema eléctrico cuando existe una modificación en las condiciones normales de funcionamiento, permitiendo de esta forma proteger una instalación eléctrica de cortocircuitos, sobrecargas y fallas de aislamiento. Los más utilizados son los

interruptores termo magnéticos (disyuntores), interruptores diferenciales y fusibles. (Fing, 2019)

- ✓ **Dispositivos de mando y maniobra:** Son elementos que permiten conectar o interrumpir un circuito eléctrico. Los más comunes son los pulsadores, interruptores, selectores y conmutadores.
- ✓ **Elementos finales de control:** Conocidos también como “actuadores”, permiten cambiar la variable a controlar en un sistema automatizado. Estos elementos son los encargados de ejercer fuerza y potencia bajo el mando del controlador. Entre los más habituales están aquellos destinados para generar movimiento (motores), para trasiego de fluidos (bombas), térmicos (intercambiadores de calor), entre otros. (Balcells & Romeral, 1997)
- ✓ **Estructura modular:** Espacio físico que se destina para el alojamiento de los componentes de protección, control y maniobra con la finalidad de garantizar la seguridad de los usuarios y preservar los equipos instalados en su interior frente a condiciones ambientales y factores eléctricos-mecánicos.
- ✓ **Elementos de indicación:** Son elementos que indican la variable de proceso de manera inmediata. Estos poseen un índice y una escala graduada. Los más conocidos son los manómetros, tensiómetros, entre otros. (Gutiérrez & Iturralde, 2017)

3.3. Cálculo y selección de dispositivos

En esta sección se establece la elección de los elementos y equipos que constituyen el proceso de acuerdo a los datos técnicos y de operación. La ficha técnica provee al usuario de suficiente información donde se hace constar el funcionamiento, características y ciertas especificaciones de un determinado componente. Además, dota de consideraciones, criterios, métodos y procedimientos de seguridad para la instalación.

- **Módulo Educativo**

Para la selección de elementos del módulo educativo se tomó en consideración la visita realizada al Laboratorio de Tecnología Industrial en donde se observó la constitución y construcción de los módulos con el fin de tener una estandarización dentro del mismo. Los módulos disponibles se pueden observar en la Figura 3.2.



Figura 3.2: Módulos del Laboratorio de Tecnología Industrial

- **Controlador Lógico Programable (PLC)**

El Controlador Lógico Programable o PLC es un dispositivo electrónico-digital que posibilita el almacenamiento de instrucciones para la implementación de funciones de lógica secuencial, temporización, operaciones aritméticas y lógica booleana para control de máquinas y procesos de carácter industrial. Cuando se carga el programa a la CPU, ésta posee la capacidad necesaria para la supervisión y el control de los dispositivos que configuran el sistema.

Para el presente proyecto se utilizó por efectos de estandarización y normalización de equipos de laboratorio el PLC SIMATIC modelo S7-1200 / CPU 1212C de la firma alemana SIEMENS, el mismo que es idóneo por sus prestaciones, su diseño modular, compacto, bajo costo y amplio juego de instrucciones que lo convierten en una opción muy acertada en automatismos industriales, así como se observa en la Figura 3.3 y Tabla 3.1. El PLC cuenta con una fuente de alimentación interna de 24 [V_{DC}], 8 entradas digitales a 24 [V_{DC}], 6 salidas tipo relé, 2 entradas

analógicas, puerto o interfaz de comunicación Ethernet - Profinet y capacidad para integración de módulos de expansión. (SIEMENS, 2019)

Algunas características importantes del PLC se detallan en el Anexo A.

Tabla 3.1: Tabla de identificación de componentes externos del PLC SIEMENS S7-1200

Parte	Descripción
1	Alimentación externa
2	Ranura de tarjeta de memoria
3	Conectores para cableado
4	LED's indicadores de habilitación E/S
5	Puerto Ethernet



Figura 3.3: Estructura PLC S7-1200

Cabe indicar que el PLC integra una fuente para alimentación de sensores de 24 [V_{DC}] para las entradas del dispositivo o para las bobinas a relé de los módulos de expansión. En caso que se exceda la corriente máxima del CPU consumida por otros elementos se podrá agregar otro suministro adicional para los módulos de ampliación. (SIMATIC, 2011)

Con lo anterior, se demuestra que este PLC brinda múltiples funciones que permiten dar soluciones eficientes y eficaces para un gran número de aplicaciones.

- **Software de programación TIA PORTAL**

TIA PORTAL (Totally Integrated Automation) es el software de programación para controladores de la gama SIEMENS SIMATIC S7-1200, S7-1500 y S7-300; 400. TIA PORTAL a través de una revolucionaria plataforma posibilita la configuración de forma intuitiva y eficaz los procesos automáticos, ofreciendo además un entorno dinámico para labores de accionamiento, control y visualización. (TIA, 2011)

Con este software es posible la programación de dos componentes con un solo proyecto otorgando simplicidad para el enlace de comunicación entre la PC y el PLC.

Dentro de TIA PORTAL se incluye dos funcionalidades, STEP 7 y WinCC. STEP 7 es un editor de programas que permite la revisión y diagnóstico de los controladores SIMATIC mediante lenguajes KOP y FUP. Se integra el entorno de pruebas PLCsSim para la simulación de programas. WinCC es una herramienta para la configuración coherente de HMI's para paneles de operador o estaciones basadas en PC. Las versiones de WinCC difundidas son Professional y Advanced que están a libre elección del programador, así como se indica en la Figura 3.4.

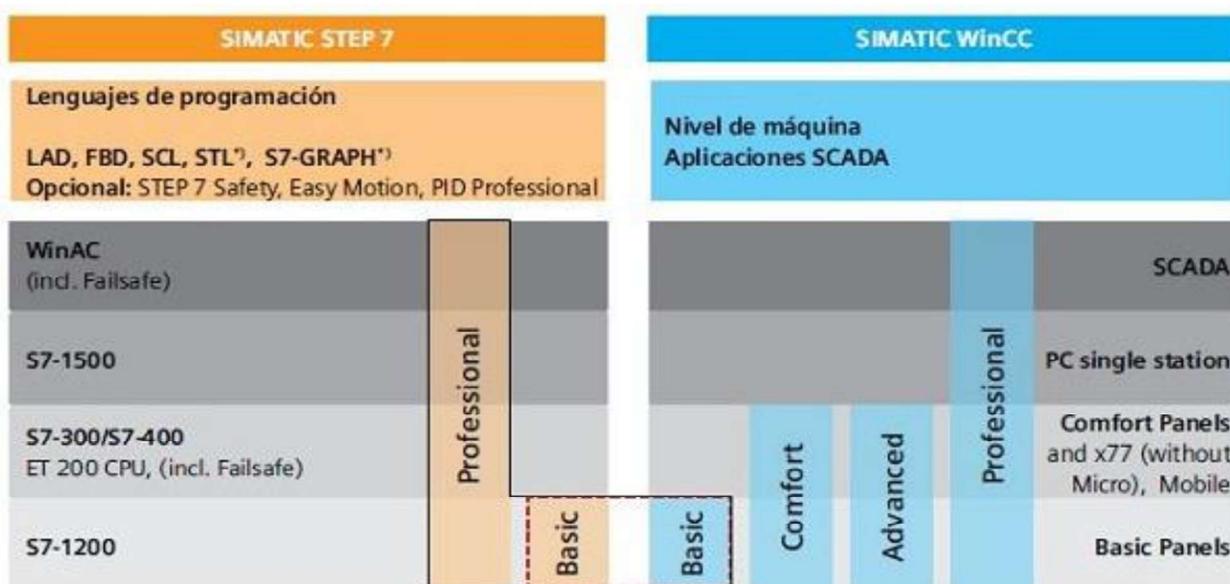


Figura 3.4: SIMATIC STEP7 y WinCC

Las versiones de TIA PORTAL han estado en constante evolución desde sus inicios adaptándose a las demandas y necesidades de la tecnología. V15 (Figura 3.5) es la versión más reciente del programa, misma que fue lanzada a finales del 2017. La actualización del programa asocia una mejoría en términos de potencia, con mayores prestaciones que sus antecesores, expansión de cartera de digitalización y ampliación en la eficiencia de ingeniería.



Figura 3.5: Logotipo PORTAL TIA V15

TIA PORTAL V15 eleva la plataforma multifuncional para integración de aplicaciones de lenguajes de alto nivel, sistemas de accionamiento de complementos y puesta en marcha virtual. Además, incluye una sustancial mejora en la pantalla S7 Graph Control (SIMATIC HMI) para el diagnóstico y visualización de errores de aplicación de forma directa en el panel de usuario y secuencias de máquina. (Amelero, 2018)

Para el diseño del algoritmo del sistema de presión se utilizará el software TIA PORTAL V15 como se muestra en la Figura 3.6 por las prestaciones que ofrece en cuanto a programación y por compatibilidad con el sistema operativo Windows.

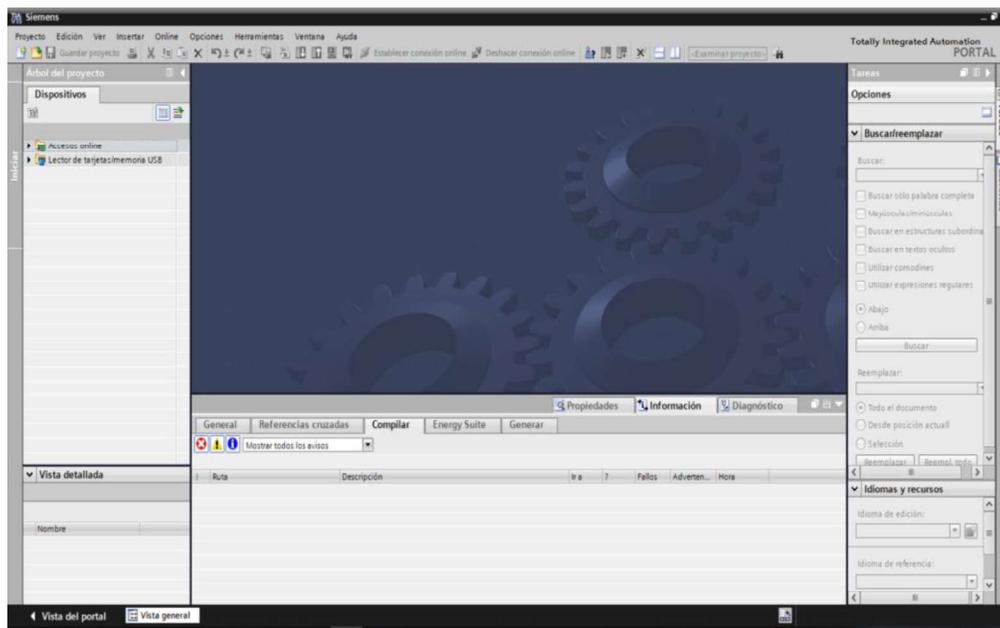


Figura 3.6: Entorno de trabajo TIA PORTAL V15

- **HMI (HUMAN MACHINE INTERFACE)**

Las interfaces digitales o interfaces humano máquina (HMI) son componentes versátiles de control, monitoreo y supervisión, utilizadas como intermediarios para obtener información de un

proceso industrial y en caso de ser necesario modificarlo para resguardar la producción. Las HMI's permiten resolver sistemas complejos a un bajo costo que trabajan asociadas a controladores lógicos programables. (ELECTROINDUSTRIA, 2013)

Por lo general el estilo de una HMI para una buena interacción con el operario se centra en el uso de íconos (gráficos) para simbolizar un determinado objeto u otro concepto como se indica en la Figura 3.7.

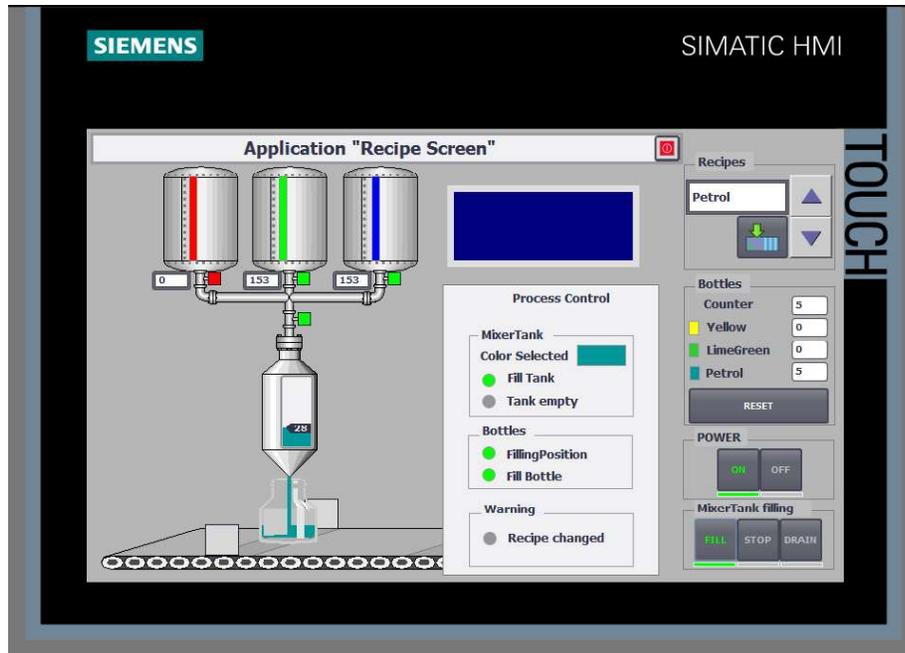


Figura 3.7: Ejemplo HMI

Con la finalidad de que en el sistema didáctico para el control de la magnitud presión se haga posible la visualización y mando del proceso con sus variables de una forma sencilla, dinámica e intuitiva con el operador, se utilizó el recurso propio del software de trabajo para diseño de interfaces WinCC Professional.

- **Lenguajes de programación**

Un lenguaje de programación permite efectuar una acción de control establecida por medio de un conjunto de instrucciones bajo el dominio de una sintaxis que son interpretables y ejecutables por la memoria del controlador.

En definitiva, los PLC's manejan dos tipos de lenguaje: escritos y visuales. Los visuales estructuran el programa mediante símbolos o gráficos, entre los más comunes se encuentra el lenguaje de contactos (LAD), diagrama de bloques de función (FBD) y el diagrama de secuencias

funcionales (SFC). Entre los lenguajes escritos se encuentran la lista de instrucciones (IL) y el texto estructurado (ST). Los lenguajes de programación mencionados están estandarizados con la norma IEC 1131. (UNED, 2019)

- ✓ LENGUAJE LADDER O ESCALERA: Se basa en los estados de conmutación de contactos eléctricos. Es uno de los lenguajes más usados en la industria por su sencillez y comprensibilidad. Así como se muestra en la Figura 3.8.

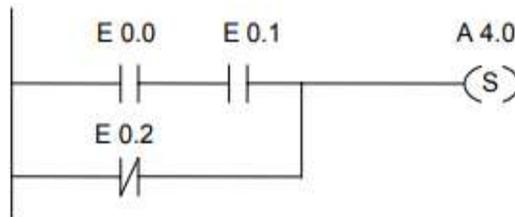


Figura 3.8: Estructura lenguaje Ladder

- ✓ DIAGRAMA DE BLOQUES DE FUNCIÓN: Es un lenguaje de alto nivel que maneja expresiones de lógica booleana. Las salidas se representan por una variable que se asigna al bloque, así como se muestra en la Figura 3.9.

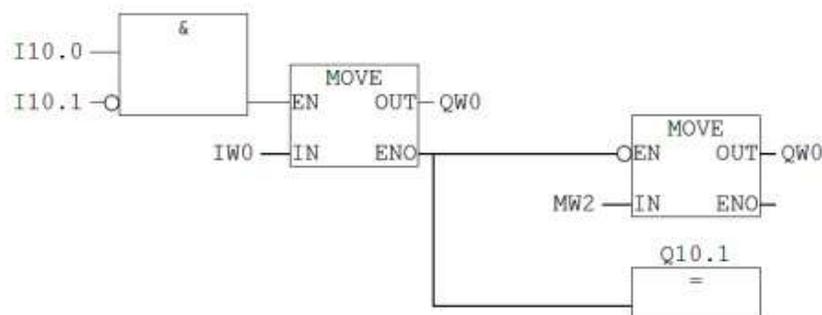


Figura 3.9: Estructura lenguaje FBD

Para el desarrollo del algoritmo de control del sistema biestable de presión se usó la combinación de los dos lenguajes de programación (FBD y LADDER).

○ Interfaz de comunicación

El PLC S7-1200 funciona mediante el protocolo de comunicación Industrial Ethernet para transmisión de datos en redes de área local que usa protocolos TCP/IP con el método de control de acceso al medio en correspondencia el estándar IEC 802.3. (SIMATIC, 2011)

El protocolo Ethernet permite una conexión por medio de cable tipo UTP con conectores red RJ45, de esta forma se puede establecer un enlace directo y lineal entre el PC y el autómatas.

Una de las principales características del cable Industrial Ethernet es que posee un excelente apantallamiento para aplacar las interferencias durante la transmisión de datos entre los dispositivos acoplados, además permite transferir información a altas velocidades, que oscilan entre los 10 y 100 [Mb/s].

Para establecer la comunicación a través del puerto Ethernet es necesario precisar una dirección IP (protocolo de internet) para identificación del controlador, así como se indica en la Figura 3.10. La misma que debe ser diferente a los otros dispositivos del alrededor manteniendo la ID (identificador) de la red de vínculo. (Support, Siemens, 2012)

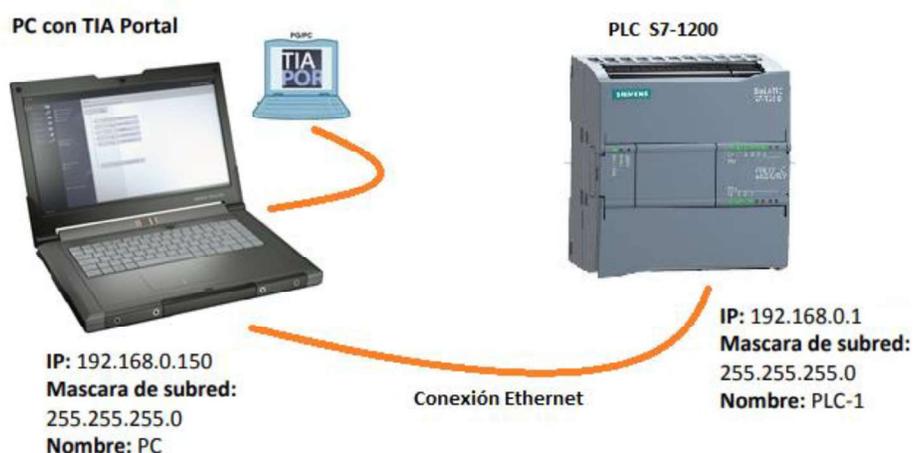


Figura 3.10: Protocolo Ethernet

- **Dispositivos de protección**

Se utilizó un disyuntor o interruptor diferencial bipolar de 1 [A], adicionalmente para preservar las salidas digitales y la fuente de alimentación interna de 24 [V_{DC}] del autómatas en caso de exceso de corriente, se empleó fusibles de 2 [A] y 0,5 [A] respectivamente, así como se muestra en la Figura 3.11 y la Tabla 3.2 tomando en consideración las características técnicas del PLC del Anexo A. La tensión estándar tanto para los fusibles como para el breaker será de 110 [V_{AC}]. (S7-1200, 2009)

Tabla 3.2: Protecciones del módulo educativo

Protección	Corrientes	Aplicación
F1 (1L)	2 [A]	Salidas: %Q0.0, %Q0.1, %Q0.2
F2 (2L)	2 [A]	Salidas: %Q0.3, %Q0.4
F3 (F+)	0,5 [A]	Fuente: 24 [V _{DC}]
L1	1 [A]	Fase 1
L2 0 N	1 [A]	Fase 2 o Neutro



Figura 3.11: Fusible y breaker

- **Estructura modular**

El material del armario eléctrico en el cual se colocó todos los elementos electrónicos y eléctricos que configuran el sistema modular PLC es de acero galvanizado, con láminas de 2 [mm] de espesor con recubierta de pintura electrostática y empaques de neopreno para impermeabilización y seguridad, con doble fondo, que totalmente se rige a la norma NEMA 4.

Para disponer de forma adecuada y organizada el cableado interno de los componentes que constituyen el módulo se usaron canaletas plásticas ranuradas de 50x50 [mm] y riel DIN perforada 35x27x7.5 [mm] y de 1 [mm] de espesor (Figura 3.12) como elemento de soporte y fijación del PLC, breaker y posibles expansiones del controlador.



Figura 3.12: Canaleta y riel DIN

- **Borneras de conexión**

Para facilitar el acoplamiento del módulo PLC con dispositivos externos se utilizaron terminales Jack banana tipo hembra (Figura 3.13) para panel de control de 15 [mm] de diámetro.



Figura 3.13: Borneras Jack banana

○ **Elementos de mando y señalización**

Para maniobrar las entradas digitales del PLC de forma manual, se utilizaron distintos dispositivos como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Elementos de mando y señalización

Elemento	Características
 <p>Pulsador e interruptor</p>	<p>Los pulsadores poseen un solo contacto normalmente abierto y los selectores de mando tienen dos posiciones, en ambos casos el diámetro es de 22 [mm]. Para energizar y desconectar el PLC de la red eléctrica se utilizará un selector adicional.</p>
 <p>Luz Piloto</p>	<p>Como elemento de señalización que indica el estado ON/OFF del sistema modular completo se empleará una luz piloto de color verde de 22 [mm].</p>
 <p>Potenciómetro, multímetro digital y switch.</p>	<p>Para las entradas analógicas se usó: dos voltímetros digitales para la presentación de los niveles de voltaje, dos potenciómetros de regulación de voltaje y un switch de palanca de dos estados para alternar la operación externa o por potenciómetro.</p>

○ **Conductores**

Se utilizó conductores AWG #14, AWG #18 y AWG #22 dependiendo la corriente que se debe suministrar a las distintas conexiones del autómata como se muestra en Anexo A y la Tabla 3.4. Los terminales del PLC admiten cables con una sección de 2 [mm²] a 0,3 [mm²] (14 a 22 AWG). (S7-1200, 2009)

Tabla 3.4: Amperaje en Conductores

Capacidad en Amperes		Calibre de extensión	
Mayor de	Hasta	1,8 [m] hasta 15 [m]	Mayor de 15 [m]
0 [A]	10 [A]	18 AWG	16 AWG
10 [A]	13 [A]	16 AWG	14 AWG
13 [A]	15 [A]	14 AWG	12 AWG
15 [A]	20 [A]	8 AWG	6 AWG

○ **Acondicionamiento de la señal analógica para el módulo PLC**

El voltaje admisible para la entrada analógica del PLC S7-1200 es de 0-10 [V_{DC}] según el Anexo A, para lo cual se realizó lo siguiente:

- ✓ Se utilizó la fuente interna del PLC (24 [V_{DC}]).
- ✓ Se realizó el cálculo de la resistencia Req mediante divisores de voltaje (Figura 3.14).

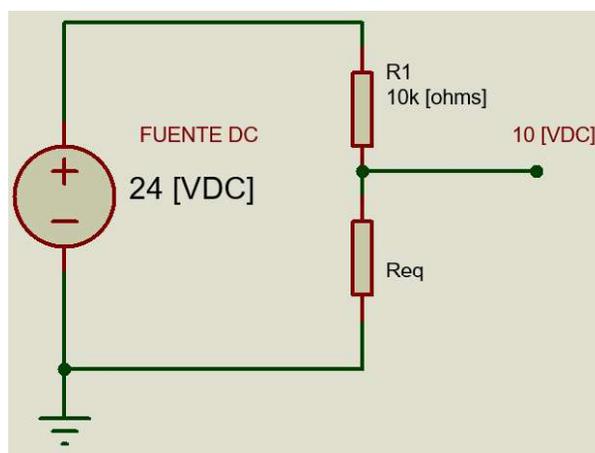


Figura 3.14: Divisor de voltaje en el circuito de acondicionamiento

$$V_{OUT} = \frac{V \times R_{eq}}{R_1 + R_{eq}}$$

$$10 = \frac{24 \times R_{eq}}{1K + R_{eq}}$$

$$10K + 10R_{eq} = 24R_{eq}$$

$$R_{eq} = \frac{10K}{24 - 10}$$

$$R_{eq} = 714,286 [\Omega]$$

Req: 1 resistencia y 2 potenciómetros colocados en el acondicionamiento (Figura 3.15).

Se asumió: $R_2 = 1[K\Omega]$

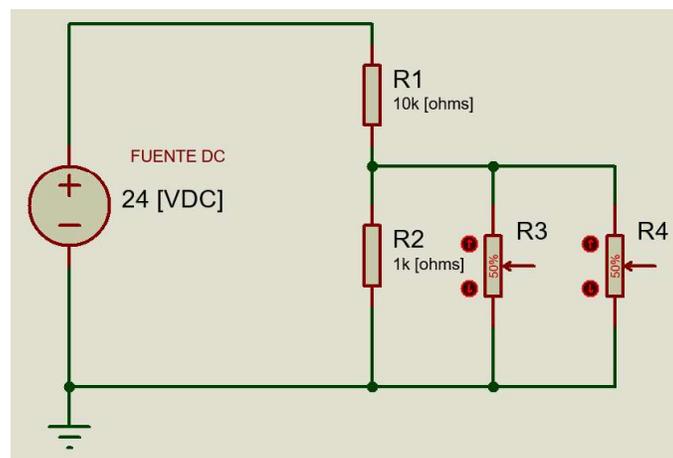


Figura 3.15: Resistencias en el circuito de acondicionamiento

$R_3 = R_4$ Potenciómetros para la entrada manual del canal analógico

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

$$714,286 = \frac{1}{\frac{1}{1K} + \frac{2}{R_3}}$$

$$714,286 = \frac{1}{\frac{R_3 + 2K}{1K \times R_3}}$$

$$714,286 = \frac{1000R_3}{R_3 + 2000}$$

$$714,286R_3 + 1428572 = 1000R_3$$

$$R_3 = \frac{1428572}{285,714}$$

$$R_3 = R_4 = 5000,007 [\Omega]$$

- ✓ Se usaron dos potenciómetros de 5 [KΩ].
- ✓ Para energizar los voltímetros digitales se usó un circuito regulador de voltaje mediante el integrado 7805 (Figura 3.16) ya que este proporciona un voltaje constante de 5 [V_{DC}].

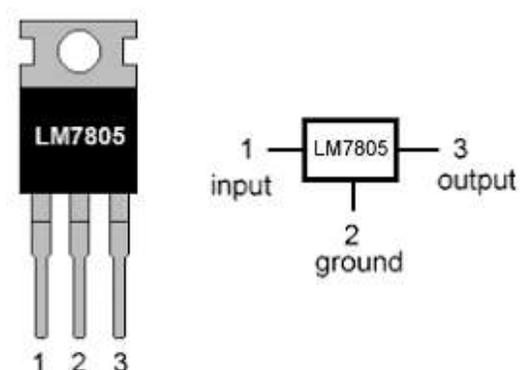


Figura 3.16: Regulador de voltaje

- ✓ El circuito de acondicionamiento se simuló en PROTEUS 8 (Figura 3.17) con las principales borneras para conexiones externas hacia la placa. Se usó el diagrama PCB (Figura 3.18) para realizar la construcción de la placa y al mismo tiempo se muestra la visualización final del circuito de acondicionamiento (Figura 3.19).

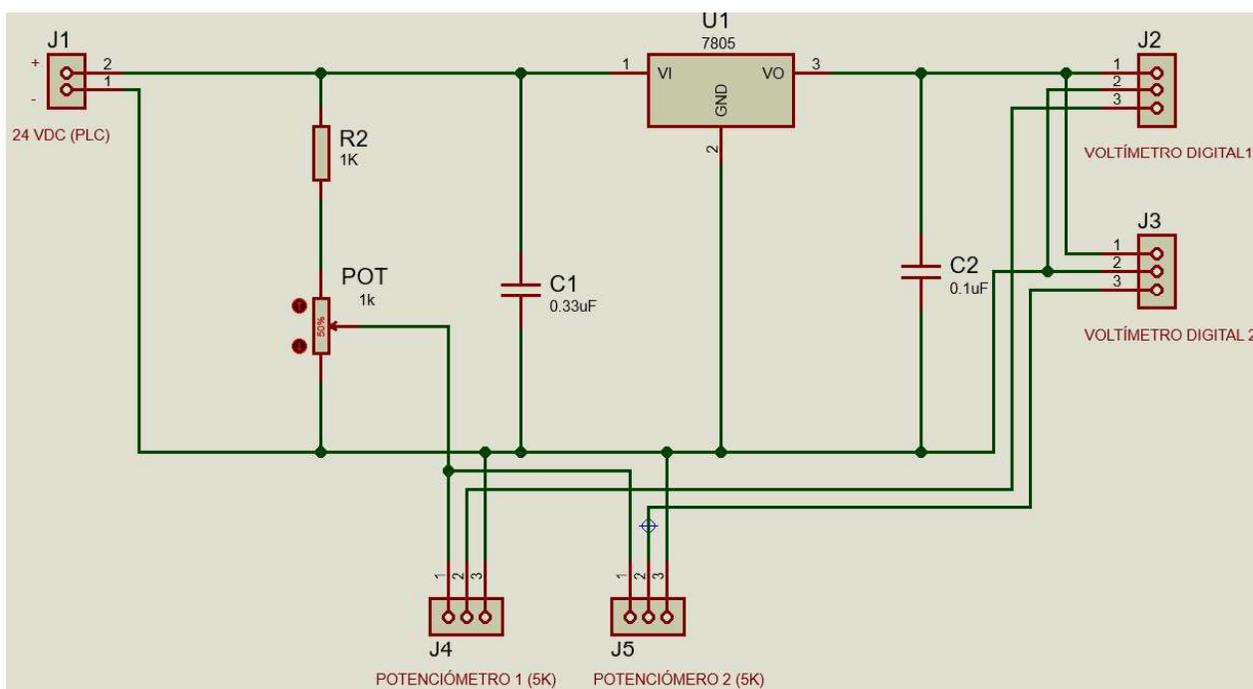


Figura 3.17: Acondicionamiento de la señal analógica

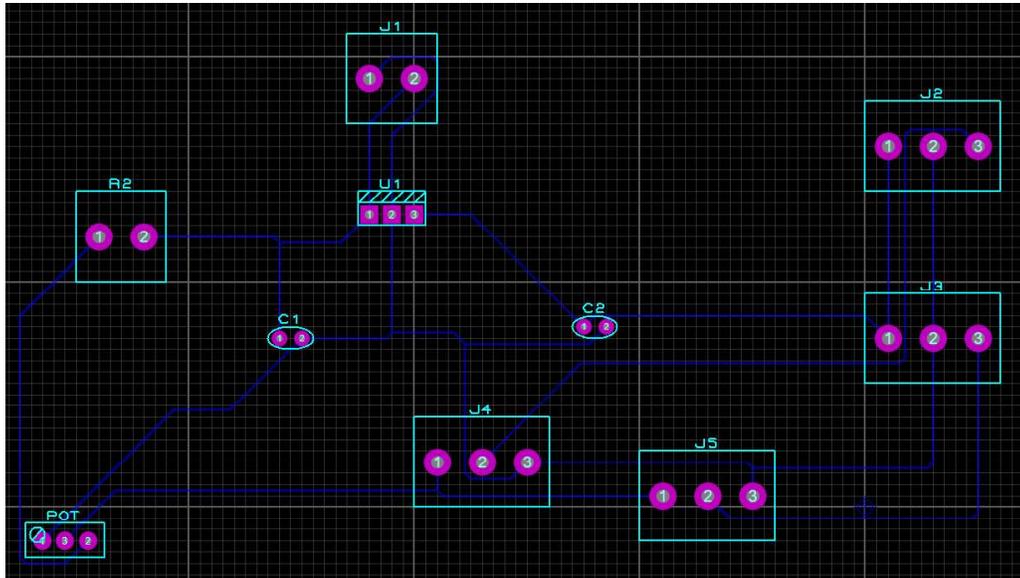


Figura 3.18: Diagrama PCB

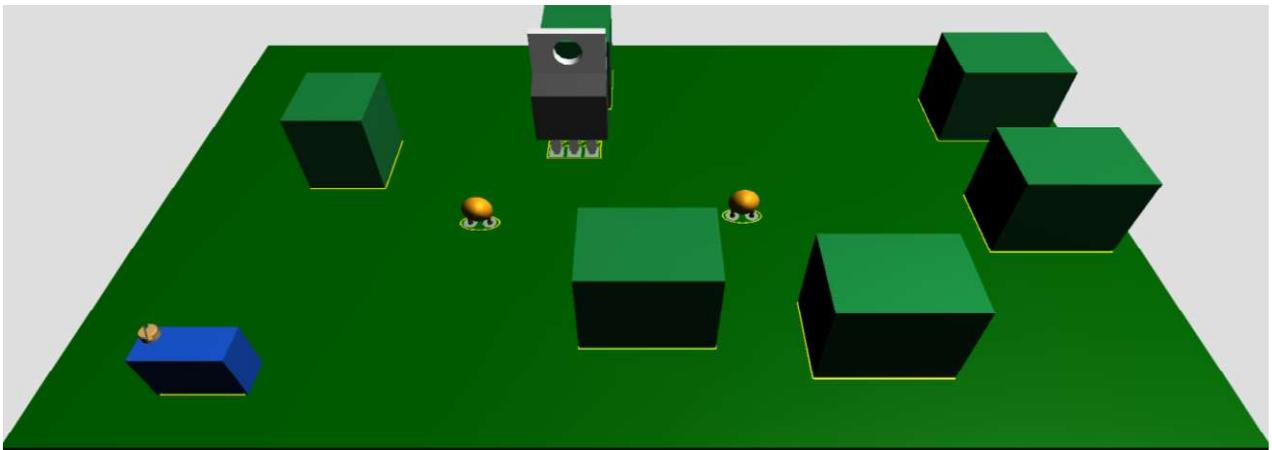


Figura 3.19: Modelo del circuito de acondicionamiento

- **Sistema de control biestable de presión**
 - **Análisis de elementos reutilizables**

En lo concerniente a la fase de identificación y selección de componentes funcionales previo a la información arrojada del estudio de requerimientos del sistema de presión y al diseño para la implementación del mismo, es imprescindible dejar constancia de la variedad de elementos reutilizados del proyecto “Construcción de un módulo de pruebas para bombas Jet domiciliarias” almacenado en el antiguo Laboratorio de Neumática de la ESFOT (Figura 3.20). Este sistema no se encontraba funcional.



Figura 3.20: Módulo de pruebas para bombas Jet domiciliarias

Desde el punto de vista de recuperación de equipos y componentes se tienen varias ventajas, por ejemplo:

- ✓ Reducción de gastos por adquisición de nuevos componentes.
- ✓ Optimización de recursos.
- ✓ Desde la perspectiva ecológica: disminución de generación de desechos por cumplimiento de vida útil de los equipos, daños por envejecimiento prematuro y desuso, minimización de contaminantes, entre otros.

En consecuencia, en este apartado se muestra un listado (Tabla 3.5) de los elementos y accesorios que se reutilizan para la implementación, tomando en cuenta los criterios funcionales asociados con los parámetros de daño, descarte y obsolescencia.

Tabla 3.5: Elementos reutilizados

Cantidad	Especificación
1	Estructura metálica de tubo cuadrado
3	Tablas triplex
1	Bomba centrífuga tipo Jet
1	Válvula de bola
1	Válvula de compuerta
1	Válvula antiretorno (check)
1	Sensor flotador tipo bola
2	Luces piloto

- **Transmisor de presión**

Para medir presión en un medio gaseoso o líquido se utilizan los denominados “transmisores de presión”. Estos dispositivos incorporan un sensor que detecta la variación de la presión del entorno y la convierte en una señal eléctrica normalizada de 4 a 20 [mA]. Generalmente los transmisores de presión se basan en el principio de medición de resistencia, aunque existen otras variantes como la piezoresistividad, piezoelectricidad y capacitancia.

Los sensores resistivos miden el cambio de una resistencia con relación al alabeo producido por la presión del medio. El cuerpo del sensor consiste en una membrana cerámica, en donde la deformación se recepta mediante varias cintas extensiométricas. En tal virtud, la flexión de ambos componentes (cinta – membrana) produce el incremento o disminución de la resistencia. (CRN TECNOPART S.A., 2017)

El sistema biestable de presión requiere una velocidad de respuesta mínima, entonces para poder receptar el cambio de la presión de agua de manera exacta y precisa se dispondrá de un transmisor ENDRESS HAUSER PMP 131 (Figura 3.21) que se colocó de forma vertical, las características más importantes del transmisor se pueden visualizar en el Anexo A.



Figura 3.21: Transmisor Endress Hauser PMP131

- **Bomba centrífuga**

Las bombas son máquinas hidráulicas que permiten incrementar y comprimir la energía de una masa líquida a través del movimiento en una tubería. El aumento de energía se consigue por elevación de la masa líquida a una altura determinada, por incremento de la velocidad, por el aumento de la presión o por las tres condiciones combinadas, presión, velocidad y altura. (Madrigal, 2019)

Las bombas centrífugas respecto a otro tipo de bombas son más ligeras y de tamaño reducido que funcionan a altas velocidades y presiones de servicio, con flujo de líquido constante y sin interrupciones.

Una bomba centrífuga consta de tres partes principales, un impulsor o elemento móvil (3), una cámara (2) y un motor (1) así como se muestra en la Figura 3.22. El impulsor se encuentra ubicado en el interior de la cámara y acoplado al eje del motor que es el encargado de generar fuerza y transmitir encadenadamente potencia al impulsor, de esta forma el líquido circulante adquiere energía cinética que se transforma proporcionalmente en energía potencial en la voluta de la bomba.

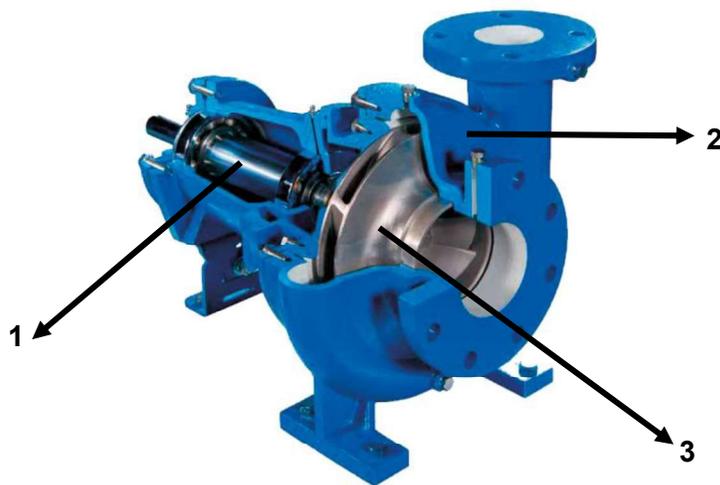


Figura 3.22: Partes de la bomba centrífuga

Para el desplazamiento de líquido en el sistema de presión se utilizó una bomba centrífuga tipo Jet autocebante marca LEO de 1 [HP] a 220 [V_{AC}] monofásica (Figura 3.23), a la cual se realizó una tarea de mantenimiento ya que se encontraba inhabilitada desde el año 2013.



Figura 3.23: Bomba centrífuga tipo Jet

- **Tuberías y accesorios**

Para el transporte y conducción de fluido por todo el sistema se utilizará tubería de plástico roscable PVC de 1" (25,4 [mm]) con una presión máxima de 320 [PSI] para agua fría, así como se muestra en la Figura 3.24. Se seleccionó la tubería con el diámetro citado para succión y descarga, considerando los términos de homologación de componentes de la planta (cabe recordar que la cavidad de salida de la bomba posee un diámetro de 1 pulgada que es la base de diseño para evitar el sobre y sub dimensionamiento). El uso de tuberías PVC tiene varias ventajas: menores pérdidas de presión por fricción, facilidad de montaje, resistencia, liviandad y bajo precio.

Para las uniones de distintos tramos de tubería del sistema de presión se emplearon accesorios como codos, uniones universales, uniones T, neplós y adaptadores que se colocaron en la red convenientemente (Figura 3.25).



Figura 3.24: Tubería PVC de 1 pulgada



Figura 3.25: Uniones y acoples

- **Sistema hidroneumático**

- a) Presóstato**

Los denominados “interruptores de presión”, son dispositivos que en función de la presión abren y cierran un circuito eléctrico mediante uno o varios contactos NA (normalmente abiertos) o NC (normalmente cerrados). (Creus, 1963)

Un fluido a determinada presión aplica fuerza a un pistón interno que lo desplaza hasta que entran en contacto dos terminales eléctricos. Una vez que la presión disminuye, desciende un resorte que empuja al pistón en dirección opuesta, apartando a los contactos. El disparo de un presóstato se consigue a través de un tornillo, que, dependiendo de su sensibilidad, se emplea mayor o menor fuerza sobre el conjunto pistón - resorte. Habitualmente en estos aparatos la regulación de la presión de encendido y apagado se realiza de forma independiente. (Feu, 2019) El sistema didáctico cuenta con un interruptor de presión que aseguró la parada automática de la bomba según el valor máximo de presión alcanzada, en esta circunstancia, se acopló al conjunto un presóstato hidráulico marca LEO (Figura 3.26) con un rango de lectura de 0 a 100 [PSI].



Figura 3.26: Presóstato hidráulico

- b) Manómetro**

Los manómetros son usados para la detección y muestreo de presión relativa. El medidor de presión más común es el medidor de Bourdon. Este tipo de manómetros analógicos cuentan con un muelle tubular espiralado que tiende a enderezarse cuando existe incremento de la presión, transfiriendo movimiento por medio de un sistema de rueda dentada-varilla a una aguja indicadora en una escala graduada. (Madrigal, 2019)

Los manómetros que se emplearon para detectar presión en dos puntos del sistema de acumulación son de tipo Bourdon marca LEO (Figura 3.27), con dos escalas comparativas y rango de 0 -10 [bar].



Figura 3.27: Manómetro

c) Tanque hidroneumático

Un tanque hidroneumático es un recipiente hermético y cerrado que se utiliza para contener presurizadamente agua y aire. La compresión en estos dispositivos se realiza de manera sencilla, permitiendo el suministro de líquido a presión uniforme.

Estos equipos funcionan gracias a las propiedades moleculares del gas que otorgan gran capacidad de compresibilidad. El tanque posee las siguientes partes: una recámara de aire, una membrana para almacenamiento de agua, una carcasa y un orificio de entrada y salida de líquido. Cuando no hay presencia de agua en el tanque, el aire contenido se expande ocupando el espacio que está por encima membrana. Una vez que empieza a llenarse el tanque con agua, el aire se comprime de a poco hasta que la membrana se amplía a su máxima capacidad, en ese punto se acumula la mayor presión posible hasta que es distribuida a la red del sistema por la presión adquirida. (Health, 2011)

La parte principal de la estructura didáctica es el sistema de presurización, que consta de una bomba, un tanque hidroneumático y una red de tuberías con accesorios. Para obtener una acumulación de presión de líquido eficaz, se usó un tanque hidroneumático marca LEO (Figura 3.28) de 24 [lt].



Figura 3.28: Tanque hidroneumático

- **Válvulas**
 - a) **Racor de 5 vías**

El racor roscado de 5 vías con cuerpo de latón, acero inoxidable o bronce es usado para la unión y montaje de grupos de presión y bombas para control de fluidos. Se presenta en diferentes tamaños y medidas, su uso está condicionado al diámetro de los componentes a enlazar.

Para efectuar el montaje del grupo bomba, manómetro, presóstato e hidrósfera se usó un racor LEO de 5 vías con extremos roscados tipo hembra de 90 [mm] (Figura 3.29).



Figura 3.29: Racor de 5 vías

- b) **Electroválvula**

Llamada también como “válvula solenoide” es un dispositivo de automatización o seguridad, con aplicación en manejo de fluidos, sean gases o líquidos. Consta de dos unidades: un paquete electromagnético que contiene el núcleo y un cuerpo que consta de orificios de entrada y salida. Sobre los orificios actúan obturadores tipo guillotina, aguja o discos elastómeros. (Jefferson, 2016)

Cuando la bobina de una electroválvula es energizada se realiza la acción de desplazamiento del mecanismo obturador, de esta forma impide o permite el paso del fluido. Las electroválvulas se clasifican por el número de vías y sus estados: normalmente abiertas (NA) y normalmente cerradas (NC).

Para control de flujo del sistema de presión se utilizará una electroválvula monoestable de dos vías normalmente cerrada (NC) de 1”, así como se muestra en la Figura 3.30.



Figura 3.30: Electroválvula

c) Válvula antiretorno (check)

Esta válvula permite el paso del fluido en un solo sentido, cerrando automáticamente el sentido opuesto para evitar contraflujos. Estas válvulas se fabrican en bronce y canastilla de acero inoxidable para distintas secciones.

En el sistema de control de presión se usó una válvula check (Figura 3.31) para precaver un retorno de líquido hacia la bomba y así eludir problemas en el cebado y un posible aflojamiento del impulsor.



Figura 3.31: Válvula check

d) Válvula de compuerta

La válvula de compuerta posee un disco de cara plana con cierre vertical que se desliza en ángulo de 90° con respecto a su asiento. Estas válvulas son multivoltas y bidireccionales, usadas para servicios de cierre y apertura total sin estrangulación en líquidos con bajo y elevado coeficiente de viscosidad, gases y vapores.

En el sistema de control de presión se utilizó una válvula de compuerta de 1" (Figura 3.32) para el alivio de presión acumulada en una sección de la red de tuberías, es decir opera como una perturbación externa del sistema.



Figura 3.32: Válvula de compuerta

e) Válvula de bola

Las válvulas de bola permiten el control de fluido circulante mediante una esfera agujerada que gira sobre su eje un ángulo 90° a $\frac{1}{4}$ de vuelta. Debido a la forma esférica del obturador, se consigue un excelente y uniforme sellado sobre el asiento de la válvula. Este tipo de válvulas se usan para la función todo o nada, sin estrangulación en líquidos limpios.

Se utilizó en el sistema una válvula de bola (Figura 3.33) para excluir a la bomba en caso de que se efectúe mantenimiento en el tanque reservorio. Otra válvula de bola es destinada como medio de desagüe del tanque para labores de mantenimiento y limpieza.



Figura 3.33: Válvula de bola

○ Flotador

El interruptor flotador es un elemento que sirve para detectar nivel de agua en un depósito. Se lo puede utilizar como indicador, alarma o como un medio de bloqueo. Estos dispositivos operan utilizando el principio de flotabilidad y gravedad, cuando empieza a subir el nivel del tanque, una esfera metálica aislada que funciona como contacto eléctrico, se desliza a un determinado ángulo, tocando el punto de cierre eléctrico permitiendo arrancar o desconectar una máquina hidráulica. (KRIPAL, 2015)

Se utilizó un sensor de nivel con cable tipo boya (Figura 3.34) para controlar el nivel del tanque de la unidad didáctica ante fugas imprevistas a causa de roturas.



Figura 3.34: Sensor de nivel con cable tipo boya

- **Tanque de reserva**

Para abastecimiento y suministro continuo de agua en el sistema de control de presión, se empleó un tanque fabricado a partir de planchas de acero de 2 [mm] (Figura 3.35) sometido a un tratamiento anticorrosivo y antioxidación con el uso de la técnica inmersión de zinc (galvanizado). Además, este material proporcionará rigidez, durabilidad y alta resistencia mecánica que responde correctamente a las exigencias estructurales. El volumen aproximado el recipiente es de 40 [lt].



Figura 3.35: Láminas de Acero inoxidable

- **Elementos de maniobra y protección**
 - a) **Contactador**

Es un dispositivo electromecánico accionado a distancia que se destina para permitir o interrumpir el flujo de corriente en circuitos de alta potencia. Cuando existe circulación de corriente en el interior del contactor, un bobinado (a modo de báscula) es activado, cuyo comportamiento es similar a un electroimán, en donde su función es forzar la atracción de los contactos. Cuando la corriente es cero, los contactos regresan a su estado de reposo, abriendo el circuito.

Para la conexión y desconexión de la bomba del circuito de fuerza, se asoció un contactor dimensionado al consumo de corriente de esta. Se inicia obteniendo los datos de placa de la bomba (Tabla 3.6).

Tabla 3.6: Datos de placa Bomba Jet autocebante marca LEO

Dato	Valor
Potencia (P)	1 [HP]
Voltaje (V)	220 [V _{AC}]
Caudal (Q)	860 [L/min]
Corriente (I _N)	5,5 [A]
Factos de potencia (Cos φ)	0,8

Se transforma la potencia a [kW]

$$P = 1[HP] \times \frac{746 [W]}{1 [HP]} \times \frac{1 [kW]}{1000 [W]} = 0,746 [kW]$$

Se calcula la corriente de Línea

$$P(KW) = V_L \times I_L \times \text{Cos } \varphi$$

$$I_L = \frac{P}{V_L \times \text{Cos } \varphi}$$

$$I_L = \frac{0,746 \text{ k}}{220 \times 0,8} = 4,24 [A]$$

Se procede a multiplicar por un rango de seguridad de 1,5

$$I_L = 1,5 \times 4,24 = 6,36 [A]$$

Con esta corriente de 6,36 [A] se puede seleccionar el contactor que se encuentra disponible comercialmente (Figura 3.36), el cual posee las siguientes características: 220 [V_{AC}] a 9 [A].

**Figura 3.36:** Contactor Schneider Electric

b) Guardamotor

Actúa como elemento de protección contra cortocircuitos, sobrecargas, fallas de fase de un motor eléctrico, además de cubrir las funciones complementarias de arranque-parada y señalamiento.

Un guardamotor posee varias láminas metálicas con distinto coeficiente de dilatación que se calientan debido al paso de corriente hacia el receptor, de forma que se dilatan cuando alcanzan la temperatura de reacción disparando el mecanismo de desconexión. La rapidez de corte es menor en comparación con un interruptor termomagnético. (Ruiz, 2019)

De acuerdo a las características eléctricas inherentes a la bomba y el cálculo realizado anteriormente para dimensionar el contactor se seleccionó un guardamotor de 6 a 10 [A], así como se muestra en la Figura 3.37.



Figura 3.37: Guardamotor Schneider Electric

c) Relé

El principio de funcionamiento de estos dispositivos es muy similar a la de un contactor, sin embargo, la diferencia radica en sus dimensiones, cantidad de contactos y la intensidad de corriente que soportan. Como regla general los relés están diseñados para tolerar cargas de baja potencia. (Moreno Gil, Lasso Tarraga, & Fernández García, 2016)

En el sistema de presión se emplearon dos relés electromecánicos auxiliares (Figura 3.38) para establecer el accionamiento del cuadro eléctrico principal con el circuito de control. La operación se condicionó por la maniobra del flotador y la activación de la bobina de la electroválvula. Para este fin se usarán dos relés de 8 pines con bobinas a 220 [V_{AC}].

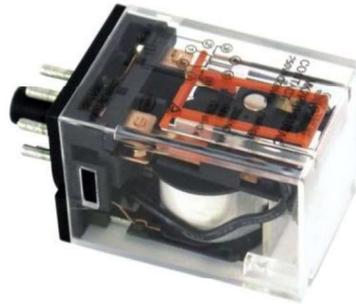


Figura 3.38: Relé electromecánico

d) Disyuntor

A partir de los datos de placa obtenidos en la Tabla 3.6 para calcular la corriente de protección (I_p) se tiene:

$$I_p = 1,5 \times I_N$$

$$I_p = 1,5 \times 5,5 [A] = 8,25 [A]$$

Para la protección eléctrica de los elementos del circuito de fuerza se utilizó un breaker bipolar (Figura 3.39) de 10 [A] / 220 [V_{AC}] con tecnología de disparo tipo magnetotérmica.



Figura 3.39: Disyuntor

Para ubicar los componentes de accionamiento del circuito de fuerza (llámense disyuntores, relés, contactores, guardamotores, entre otros.) se utilizó un gabinete metálico liviano de 31x31x20 [cm] (Figura 3.40). Además, se utilizó un gabinete de las mismas dimensiones para el alojamiento del circuito acondicionador para el tratamiento de la señal del transmisor. Ambos

tableros se instalaron en un espacio estratégico, tomando en cuenta las medidas de seguridad pertinentes.



Figura 3.40: Gabinete metálico liviano

En el sistema se adaptó en un sitio accesible y visible del tablero eléctrico de conexiones un pulsador de “paro de emergencia” tipo hongo para suspender en caso de peligro el suministro de energía durante las condiciones de trabajo, dos luces piloto para indicar el funcionamiento de la bomba (verde: en marcha; rojo: reposo) y borneras que operarán como puntos de conexión entre los distintos dispositivos y el módulo PLC.

Para el soporte y fijación de los componentes del sistema se utilizó una estructura metálica de tubo cuadrado (25x25 [mm]) utilizando como base para asentamiento tablas triplex de 10 [mm]. La estructura es fácilmente transportable hacia distintos lugares ya que se acoplaron en la parte inferior ruedas de hule.

3.4. Construcción del módulo PLC

Se consideró el diseño ya establecido dentro del laboratorio de Tecnología Industrial, al mismo tiempo se tomó medidas y la disposición de cada dispositivo en el gabinete eléctrico. Para la parte frontal y lateral derecha del módulo educativo es necesario disponer de orificios (circulares y rectangulares) de distintas medidas para colocar cada uno de los dispositivos, por lo cual se diseñó un plano estructural que indica la medida y distribución exacta de cada orificio en el gabinete eléctrico, así como se muestra en la Lámina 1 del Anexo B. El gabinete eléctrico se adquirió según las medidas establecidas.

- **Disposición de los elementos en el módulo PLC**

- Interna

Se consideró 3 filas de riel DIN acopladas a la superficie interna del gabinete (Figura 3.41). En la fila 1 se encuentra el PLC S7-1200 que según el Anexo A, el cual describe el montaje del mismo, debe ir montado dentro de un armario eléctrico sobre un riel DIN, además no debe estar expuesto a altas temperaturas y tener 25 [mm] por encima y por debajo para garantizar un enfriamiento por convección natural. En la fila 2 se encuentra el dispositivo de protección (breaker de 2 puntos de 1 [A]) y en la fila 3 se encuentra el circuito de acondicionamiento dentro de una caja plástica electrónica.

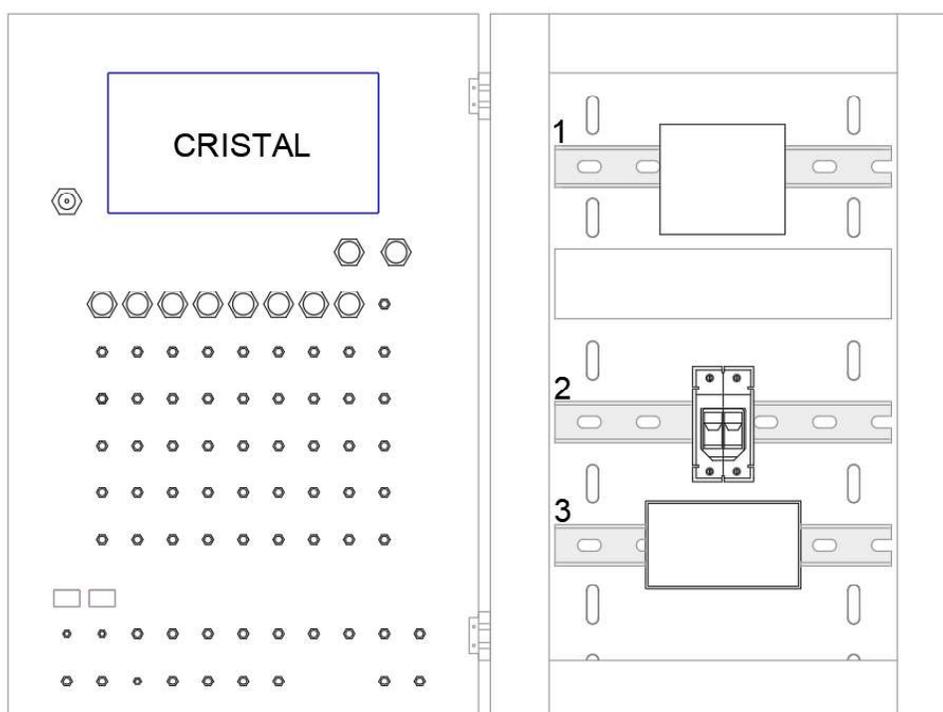


Figura 3.41: Vista interna del módulo PLC

- **Frontal y lateral derecha**

En la parte frontal del módulo se encuentran las entradas (analógicas y digitales) y salidas (analógicas y digitales) las cuales están dispuestas mediante borneras bananas jacks de dos colores negras y rojas. Además, se tiene dos conectores de 24 [V_{DC}] de la fuente interna del PLC para alimentar sensores externos. En la parte lateral derecha se tiene 1 conector RJ45 y 3 fusibles

(salidas digitales y fuente 24 [V_{DC}]. La distribución de elementos se muestra en la Lámina 2 del Anexo B y se realiza de la siguiente manera:

1. **Interruptor y luz de indicación:** permite el encendido del Módulo PLC y la verificación del estado ON-OFF mediante la luz de indicación color verde.
2. **Entradas digitales:** dispone de 1 bornera banana Jack roja para 24 [V_{DC}] y 8 elementos de mando (%I0.0 hasta %I0.7).
3. **Módulo de ampliación para entradas digitales SM1223:** dispone de 1 bornera banana Jack roja para 24 [V_{DC}] y 8 negras para futuras expansiones o utilizarlas como entradas externas (%I8.0 hasta %I8.7).
4. **Salidas digitales:** dispone de 8 borneras banana Jack rojas y 8 negras (%Q0.0 hasta %Q0.5).
5. **Módulo de ampliación para salidas digitales SM1223:** Dispone de 10 borneras banana Jack rojas y 10 negras (%Q8.0 hasta %Q8.7).
6. **Salidas análogas:** Dispone de 3 borneras banana Jack rojas y 3 negras. Módulo de ampliación SM1234 (%QW112 y %QW114) y SIGNAL BOARD (%QW80).
7. **Entradas análogas:** Dispone de 6 borneras banana Jack rojas y 6 negras. Además, tiene un selector (S2) el cual permite seleccionar entre una señal externa (sensores) y otra señal de voltaje proveniente del circuito de acondicionamiento (0-10 [V_{DC}]). Cuando el selector esté en la posición del circuito de acondicionamiento y mediante los potenciómetros, se puede variar el voltaje de entrada. En ambas posiciones del selector se podrá observar el voltaje de entrada mediante voltímetros digitales. Las principales entradas son %IW64 y %IW66, además mediante el módulo de expansión SM1223 se tiene %IW12, %IW14, %IW16 y %IW18.
8. **Fusibles y conexiones:** Dispone de 3 fusibles (F1, F2 y F3), 1 conexión Ethernet mediante Jack RJ45 y 1 conexión para el cable de poder.

- **Montaje**

Se procedió a la adquisición de elementos y material eléctrico, para ello se dispuso de proformas y se analizó cual era la mejor opción dependiendo de la calidad y precio total. En el Anexo C se muestra todos los elementos adquiridos con su respectivo precio en el mercado.

Una vez adquirido el gabinete eléctrico se procedió a realizar el troquelado automático del diseño de la Lámina 1 del Anexo B sobre la superficie de este. Después de haber finalizado el proceso de troquelado automático se realizó el diseño de una señalética (Figura 3.42) la cual se

colocó sobre la parte frontal del módulo y ayudó a la identificación de elementos de mando, señalización y conexiones.

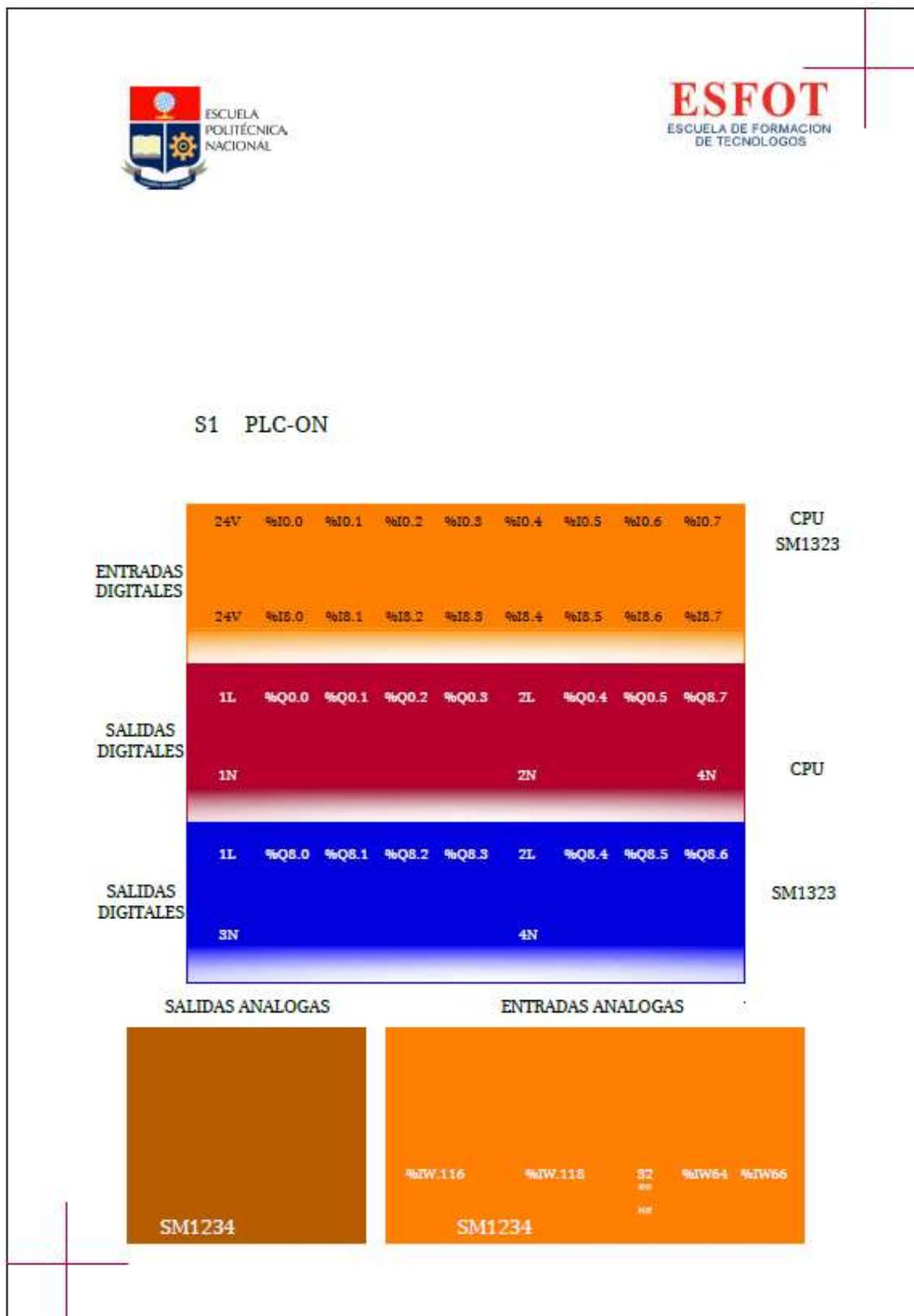


Figura 3.42: Señalética del Módulo PLC

Se procedió desmontando la parte interna del gabinete eléctrico, es decir la superficie electrostática. A continuación, se cortó la canaleta ranurada (2 pedazos de 55 [cm] y 3 de 28 [cm] para la organización interna de los conductores eléctricos) y riel DIN (3 pedazos de 27 [cm] para el montaje interno de los dispositivos), para sujetar estas partes se utilizaron pernos #10 de $\frac{1}{4}$ de pulgada con su respectiva arandela para garantizar la sujeción contra la superficie electrostática, así como se muestra en la Figura 3.43.



Figura 3.43: Montaje de la riel DIN y canaleta ranurada sobre la superficie electrostática

Se procedió a montar la superficie electrostática dentro del módulo. Además, se colocó la señalética sobre la superficie frontal y se montaron todos los dispositivos como se indica en la Figura 3.44.



Figura 3.44: Montaje de elementos

○ **Conexión eléctrica del módulo PLC**

Las conexiones eléctricas se realizaron de acuerdo a la Figura 3.45. En la Tabla 3.7 se muestra el detalle de los conductores y los terminales que se usaron, dependiendo la selección que se realizó anteriormente.

Tabla 3.7: Calibre y terminales de los conductores del módulo PLC.

Conexión	Color	AWG	Terminales	Descripción
1.Alimentación (110 [V _{AC}] o 220 [V _{AC}])	Negro	#14	Punta-Punta	Representa la fase del PLC
	Blanco	#14	Punta-Punta	Representa el neutro o fase del PLC
2.Entradas digitales	Amarillo	#18	Punta-Horquilla	La horquilla se soldará mediante soldadura blanda (cautín y estaño)
3.Entradas análogas	Amarillo	#18	Punta-Horquilla	Se usará para distribuir la fuente interna de 24 [V _{DC}] para el circuito de acondicionamiento y conectar las entradas análogas (%IW64 Y %IW66)
	Rojo	#22		Fuente de 5 [V _{DC}] de los voltímetros digitales
	Negro			
4.Salidas digitales	Amarillo	#18	Punta-Horquilla	La horquilla se soldará mediante soldadura blanda (cautín y estaño)

Además, para la conexión de los potenciómetros hacia el circuito de acondicionamiento se usó cable UTP CAT 5 ya que por su baja resistencia es ideal para manejar la variación de voltaje de entrada. A continuación, se procedió a conectar la comunicación del PLC mediante el conector Jack RJ45 y a realizar una soldadura blanda sobre los fusibles F1, F2, F3 y sobre el conector de alimentación del PLC (Figura 3.46).

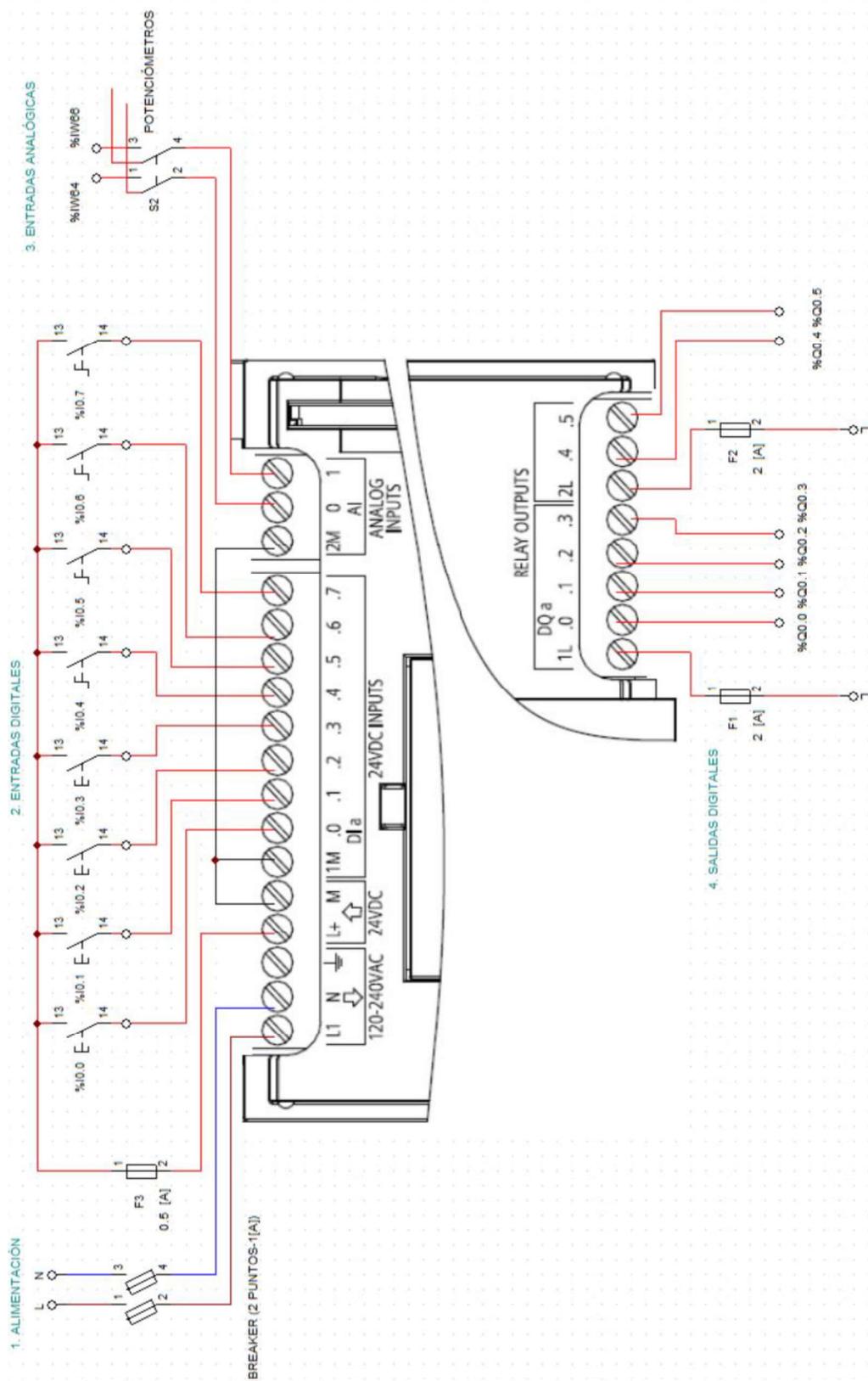


Figura 3.45: Conexiones eléctricas del módulo PLC



Figura 3.46: Montaje del PLC

A continuación, para asegurar los conductores se colocó manguera anillada de color negro y blanco, amarras plásticas y plaquetas adhesivas. Para la entrada analógica mediante el circuito de acondicionamiento de 0-10 [V_{DC}] se efectuaron las conexiones en la placa para posteriormente fijarla a la caja plástica eléctrica usando silicón (Figura 3.47 y Figura 3.48).



Figura 3.47: Conexión eléctrica de la parte interna



Figura 3.48: Conexión eléctrica de la parte frontal

Una vez finalizada la instalación eléctrica completa del módulo PLC se procedió a fijar el cristal en la parte frontal usando silicón transparente. También se efectuaron tareas de limpieza en la parte interna del módulo para eliminar los restos de conductor eléctrico y otros excesos de material. Finalmente, se colocaron las cubiertas sobre la canaleta ranurada (Figura 3.49), también se verificó el estado de la chapa para poder abrir/cerrar el módulo y se presentó el acabado final del módulo educativo con todas sus características de diseño (Figura 3.50).



Figura 3.49: Colocación de cubiertas sobre la canaleta ranurada

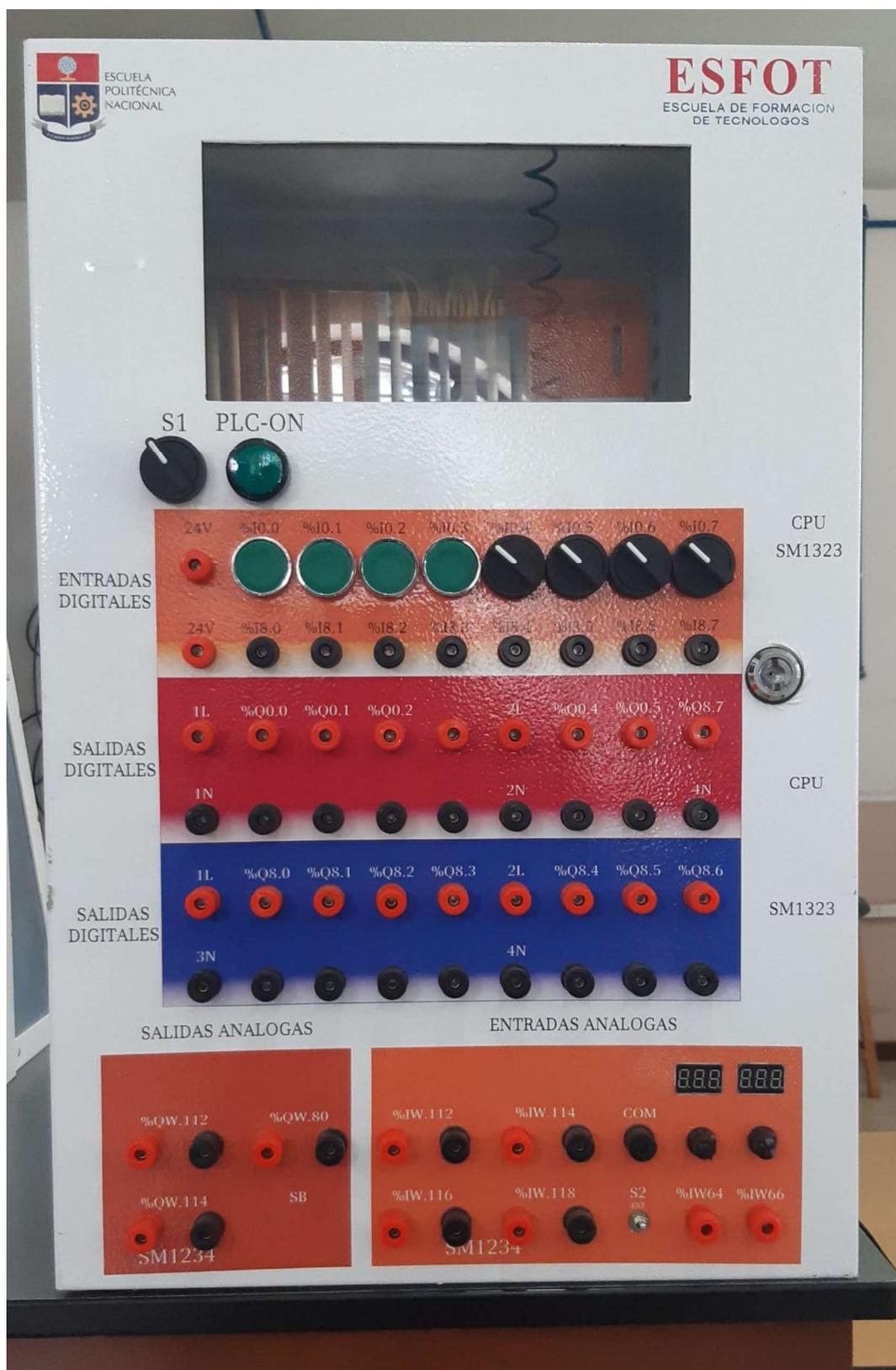


Figura 3.50: Acabado final del módulo PLC

3.5. Construcción del sistema de control biestable de presión

- **Diseño**

Para el diseño se tomó como punto de inicio los elementos que se podían reutilizar y al mismo tiempo la viabilidad para obtener un control biestable de presión. También se tomaron las siguientes consideraciones:

- ✓ El sistema tiene que ser robusto para soportar las variaciones continuas de presión.
- ✓ Se debe disponer de un tanque de almacenamiento que resista descargas de presión continuas.
- ✓ El sistema debe tener la facilidad de moverse a cualquier lugar para realizar demostraciones y exposiciones
- ✓ El sistema hidroneumático debe estar acorde a la bomba reutilizada.
- ✓ El agua se transporta del tanque de almacenamiento a la zona de presión mediante la bomba de succión.
- ✓ La tubería deber estar acoplada a las uniones de manera eficaz para garantizar que no exista pérdidas por fugas de agua.
- ✓ La tubería y los elementos deben estar fijados correctamente a la estructura para evitar vibraciones o sonidos inesperados al estar sometidos a presión.
- ✓ Para realizar tareas de mantenimiento o limpieza sus partes principales deben ser removibles.
- ✓ El sistema debe incorporar indicadores en 2 puntos en la zona de presión, esto para observar las pérdidas de presión en la tubería.
- ✓ Disponer de 2 gabinetes eléctricos: 1 para los elementos de fuerza (disyuntor, contactor, guardamotor y relés) y 1 para poder realizar las conexiones (alimentación y comunicación PLC-Sistema biestable de presión).
- ✓ Para la organización de cables por todo el sistema se debe disponer de canaleta ranurada, fijada a la estructura en lugares donde se encuentran los dispositivos.

Con estas consideraciones se realizó el diseño del sistema biestable de presión como se muestra en la Lámina 3 y Lámina 4 del Anexo D.

Se realizó el diseño del acabado final del sistema biestable de presión tomando en consideración las medidas y la disposición de cada elemento (Figura 3.51 y Figura 3.52).



Figura 3.51: Diseño del sistema biestable de presión (vista frontal)

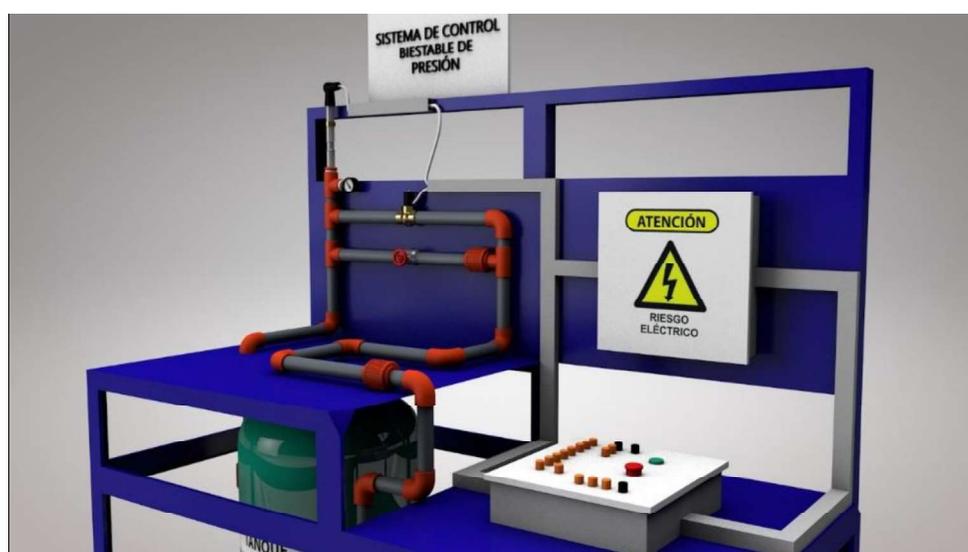


Figura 3.52: Diseño del sistema biestable de presión (vista lateral)

- **Renovación de la estructura**

Se inició realizando un proceso de lijado sobre la estructura de tubo cuadrado y sobre las superficies de madera para eliminar exceso de residuos e impurezas. Luego se procedió a pintar de color azul (Figura 3.53).



Figura 3.53: Renovación de la estructura para el sistema biestable de presión

A continuación, y mediante el uso de eles metálicas de 4x2.54 [cm] se colocaron ruedas de goma de una resistencia de 50 [kg] de peso en las 6 salientes de la base de la estructura de tubo cuadrado, esto garantizará que el sistema biestable de presión pueda moverse a distintos lugares donde se requiera (Figura 3.54).



Figura 3.54: Estructura del sistema biestable de presión

- **Construcción del depósito de almacenamiento**

Se realizó mediante el diseño de la Lámina 5,6,7 del Anexo D. Se procedió cortando la plancha de acero inoxidable de 2 [mm] de espesor y mediante soldadura eléctrica se armó el depósito. A continuación, se reforzó con material de alisado (Mustang) en los vértices internos y las aristas externas y finalmente cubrirlo con material aislante (silicón) para garantizar que no existan fugas. Adicionalmente se pintó de color azul y sus bordes se cubrieron con cinta adhesiva (Figura 3.55). También se elaboró una tapa de acrílico para garantizar que el agua no contenga impurezas.



Figura 3.55: Construcción del depósito del sistema biestable de presión

- **Montaje de elementos y dispositivos**

Los elementos utilizados se describen en el Anexo C. Se procedió a colocar a ambos lados del depósito adaptadores del tanque a 14.2 [cm] desde la parte inferior del depósito (altura de succión de la bomba autocebante LEO), un adaptador para succión y el otro para purgar el líquido cuando se realicen tareas de mantenimiento (Figura 3.56).



Figura 3.56: Implementación de adaptadores de tanque al depósito

Al lado izquierdo del depósito se colocó una válvula tipo bola de metal (Figura 3.57) para permitir el paso del fluido cuando se tenga que cebar la bomba y al lado izquierdo una válvula tipo bola de plástico (Figura 3.58) para purgar el líquido almacenado. Para acoplar los adaptadores con las válvulas se utilizó teflón para evitar que exista pérdidas de fluido.



Figura 3.57: Fijación de la válvula tipo bola de metal al depósito.



Figura 3.58: Fijación de la válvula tipo bola de plástico al depósito.

Después se procedió a fijar el depósito mediante el uso de 4 pernos #10 de 2 pulgadas con su respectiva arandela para garantizar la sujeción del depósito a la superficie de madera de la estructura. Además, se llenó de agua el depósito de almacenamiento para comprobar que no exista ninguna fuga por el depósito o alguno de los adaptadores (Figura 3.59).



Figura 3.59: Fijación del depósito en la estructura

A continuación, se procedió a fijar la bomba sobre la superficie de madera de la estructura mediante 3 pernos #14 de 2 pulgadas (Figura 3.60). Para conectar el depósito de almacenamiento con la bomba (zona de succión) se utilizó una unión universal para que el desmontaje de ambos sea sencillo para tareas de limpieza. Además, se cebó la bomba mediante el principio de vasos comunicantes y a través de la apertura de la válvula tipo bola de metal de la parte derecha del depósito garantizando que no existan problemas de cavitación durante el funcionamiento del sistema biestable de presión (Figura 3.61). También se instaló la válvula check en la parte superior de la bomba.



Figura 3.60: Fijación de la bomba a la estructura



Figura 3.61: Cebado de la bomba

Después se instaló el sistema hidroneumático (tanque hidroneumático, presóstato, manómetro, T de 5 vías y bomba) mediante el uso de teflón y neplos, así como se muestra en la Figura 3.62.



Figura 3.62: Instalación del sistema hidroneumático

Después se procedió a colocar:

- ✓ Electroválvula: posee un accionamiento automático y el sistema pierde presión.

- ✓ Válvula tipo compuerta: cuando se acciona de manera manual el sistema debe detectar una perturbación y corregirla de manera inmediata.
- ✓ Manómetro: visualización de presión en el sistema cuando el fluido ha alcanzado su altura máxima.

Se realizó el montaje tomando en consideración el diseño establecido en la Lámina 3 y 4 del Anexo D. Para realizar este acople se usaron uniones (3 codos, 3 T, 2 neplós y 2 reducciones), tubos de 1 pulgada (proceso de mecanizado de rosca usando tarraja) y teflón para garantizar que no exista fugas. Se utilizó una unión universal para que el desmontaje de estos elementos se realice de manera sencilla. Además, se fijó a la estructura mediante argollas de sujeción y pernos #11 de 1 ½ pulgadas (Figura 3.63).



Figura 3.63: Fijación de la electroválvula y válvula tipo compuerta a la estructura

El transmisor de presión se colocó en la parte más alta de la tubería de manera vertical como se indica en el Anexo A mediante 2 reducciones y el uso de teflón para garantizar que no exista fugas. Además, se procedió a acoplar el sistema hidroneumático a la zona de presión mediante una unión universal para poder desmontar de manera sencilla los elementos cuando estos requieran mantenimiento o limpieza (Figura 3.64).



Figura 3.64: Instalación del transmisor de presión

A continuación, se procedió a conectar la zona de presión con el depósito de almacenamiento para que exista una retroalimentación del líquido. Se usó una unión universal para que en caso de fugas se puede desmontar cada uno de los elementos y se logre corregir de manera sencilla y rápida. Se aseguró las tuberías a la estructura mediante el uso de argollas de sujeción y pernos #11 de 1 ½ pulgadas. Luego se colocaron los gabinetes eléctricos (control y fuerza) y la canaleta ranurada con la ayuda de tornillos autoperforantes y pernos #10 de 2 pulgadas (Figura 3.65).

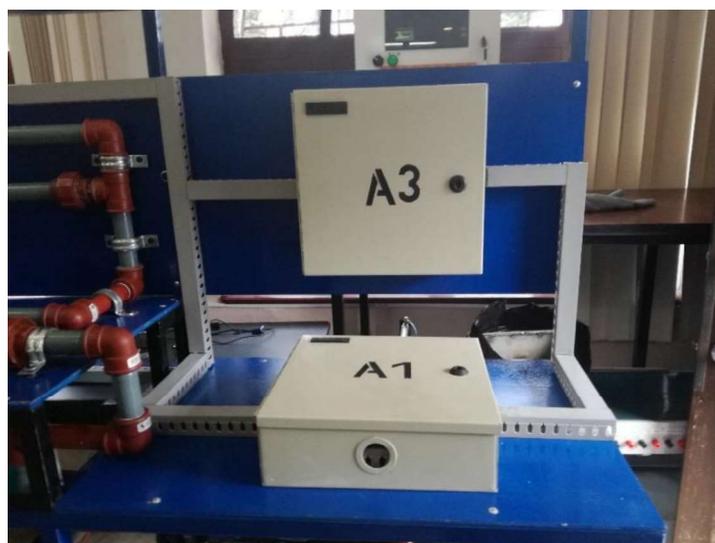


Figura 3.65: Instalación de gabinetes eléctricos y canaleta ranurada

Se procedió a instalar las superficies electrostáticas dentro de cada gabinete y sobre este se colocó canaleta ranurada para que los conductores estén de manera ordenada (Figura 3.66). También dentro del depósito de almacenamiento se instaló un flotador, el cual estará censando constantemente el nivel de líquido y emita una señal cuando el sistema no posea agua por fugas o evaporización (Figura 3.67). Además, se estableció el nivel correcto de funcionamiento del sistema biestable de presión que corresponde a una altura superior a la de succión de la bomba.



Figura 3.66: Instalación de canaleta ranurada dentro de los gabinetes



Figura 3.67: Instalación de flotador

Se procedió a realizar dos señaléticas para los gabinetes eléctricos (Figura 3.68 y Figura 3.69). El gabinete de control tendrá las conexiones necesarias para controlar el sistema biestable de presión.



Figura 3.68: Señalética del tablero de fuerza



Figura 3.69: Señalética del tablero de control

- **Conexión eléctrica**

La conexión eléctrica se realizó de acuerdo a la Figura 3.71 y la selección de calibre de los conductores depende de la corriente de trabajo de cada elemento (Tabla 3.4: Amperaje en los conductores). La Tabla 3.8 nos describe el color, calibre y el uso de los conductores del sistema biestable de presión.

Tabla 3.8: Conductores, calibres y terminales del sistema biestable de presión

Conexión	Color	AWG	Terminales	Descripción
Alimentación	R (Rojo)	#10	Ojal-Punta	Conexión bomba
	S (Azul)	#10	Ojal-Punta	Conexión bomba
	T (Amarillo)	#12	Ojal-punta	Conexión electroválvula
	N (Blanco)	#12	Ojal-punta	Conexión electroválvula
Control	L1 (Negro)	#14	Ojal-punta Ojal-Horquilla	Conexión de las luces de indicación y relé C3 (flotador)
	L2 (Azul)	#14	Ojal-punta Ojal-Horquilla	Conexión de luces de indicación, Contactor C1 (bomba), relé C2 (electroválvula) y relé C3 (flotador)
	%Q0.0 y %Q0.1 (Rojo)	#14	Ojal-Punta Ojal-Horquilla	Conexión contactor C1 (bomba) y relé C2 (electroválvula)
Fuentes	24 [V _{DC}] (Verde)	#14	Ojal-punta	Energizar el transmisor de presión
	COM (Negro)	#14	Ojal-Punta	Punto común entre la fuentes de 24 [V _{DC}], 12 [V _{DC}] y -12 [V _{DC}]
	12 [V _{DC}] (Rojo)	#14	Ojal-Punta	Energizar el circuito de acondicionamiento
	-12 [V _{DC}] (Verde)	#14	Ojal-Punta	Energizar el circuito de acondicionamiento
Salidas	Nivel (Celeste)	#14	Ojal-Horquilla	Conexión del relé del flotador
	Presóstato (Negro)	#14	Ojal-horquilla	Conexión contacto NC del presóstato
	Transmisor (Verde)	#14	Ojal-Punta	Voltaje del circuito de acondicionamiento

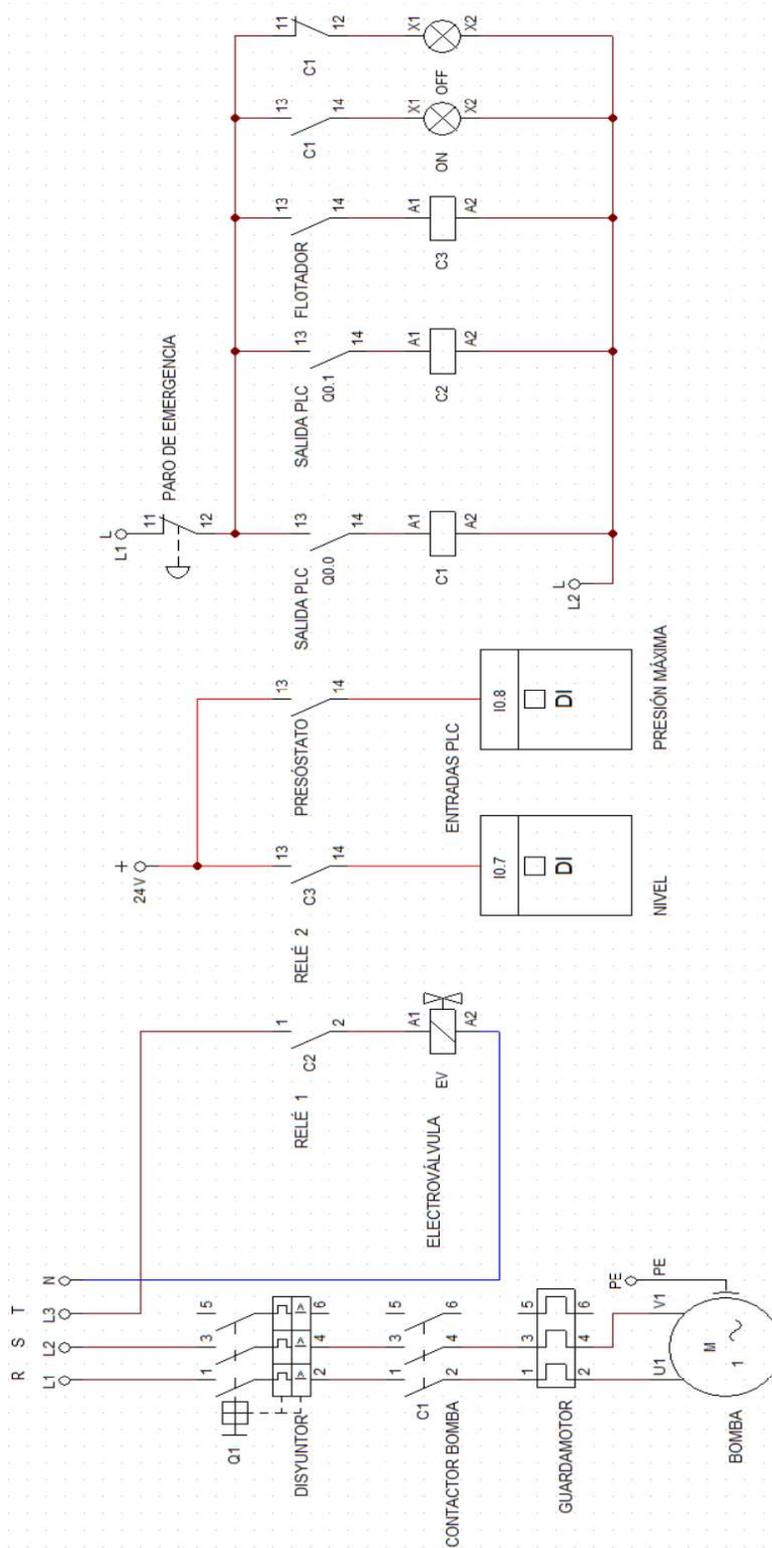


Figura 3.71: Conexión eléctrica

Se realizó las conexiones eléctricas a través de la canaleta ranurada, así como se muestra en la Figura 3.72.

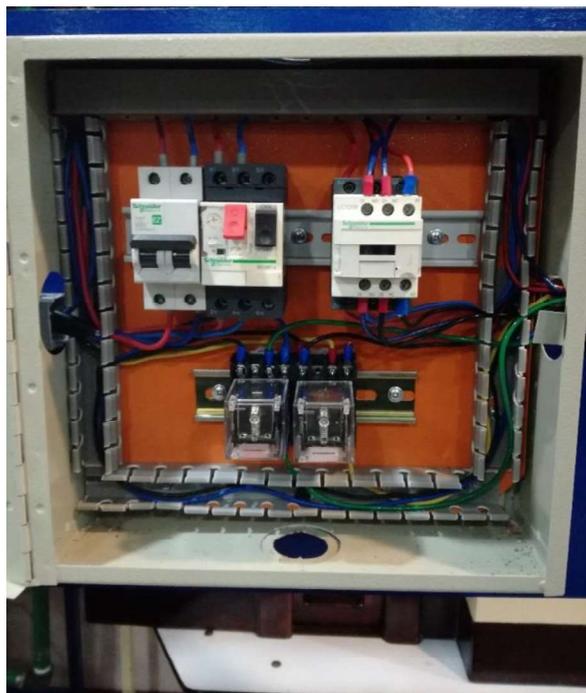


Figura 3.72: Instalación eléctrica del gabinete de fuerza

También se procedió a asegurar y ordenar los conductores mediante manguera anillada (Figura 3.73) y se colocó la caja plástica eléctrica para el circuito de acondicionamiento (Figura 3.74).

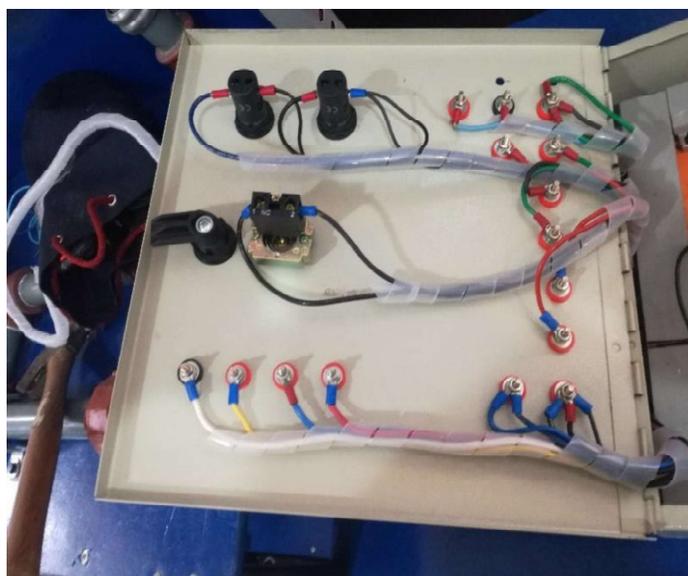


Figura 3.73: Instalación eléctrica del gabinete de control

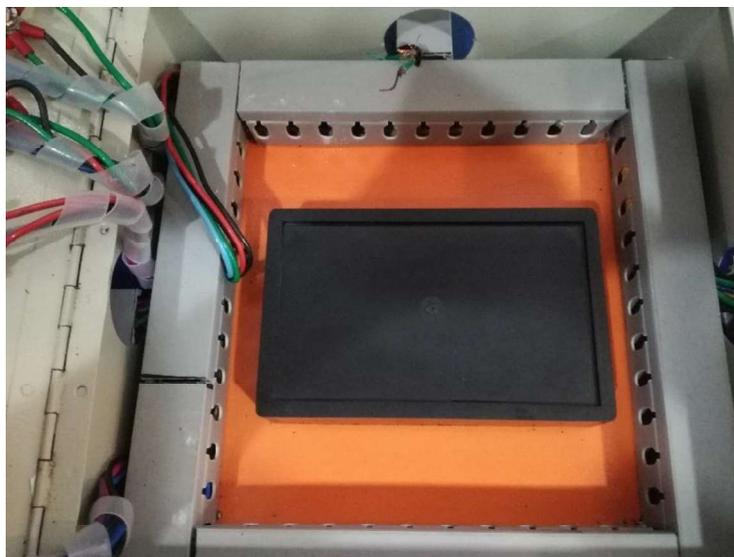


Figura 3.74: Instalación caja plástica eléctrica

Se realizó el etiquetado completo de cada conductor del sistema biestable de presión para que cualquier persona calificada pueda realizar tareas de mantenimiento o localizar averías de manera rápida (Figura 3.75 y Figura 3.76).



Figura 3.75: Etiquetado gabinete de control



Figura 3.76: Etiquetado gabinete de fuerza

Se procedió a realizar el diagrama de instrumentación P&ID del sistema biestable de presión (Figura 3.77) para que se pueda observar el proceso gráficamente. Además, se colocó en un lugar visible sobre la estructura utilizando tornillos autoperforantes (Figura 3.78). El diagrama consta de:

1. **FHV:** Válvula manual de caudal (A)
2. **LI:** Indicador de nivel
3. **FHV:** Válvula manual de caudal (B)
4. **FV:** Válvula de caudal
5. **PZ:** Elemento final de presión (A)
6. **PI:** Indicador de presión (A)
7. **PV:** Válvula de presión
8. **PR:** Registrador de presión
9. **PHV:** Válvula manual de presión
10. **PI:** Indicador de presión (B)
11. **PT:** Transmisor de presión
12. **PZ:** Elemento final de presión (B)

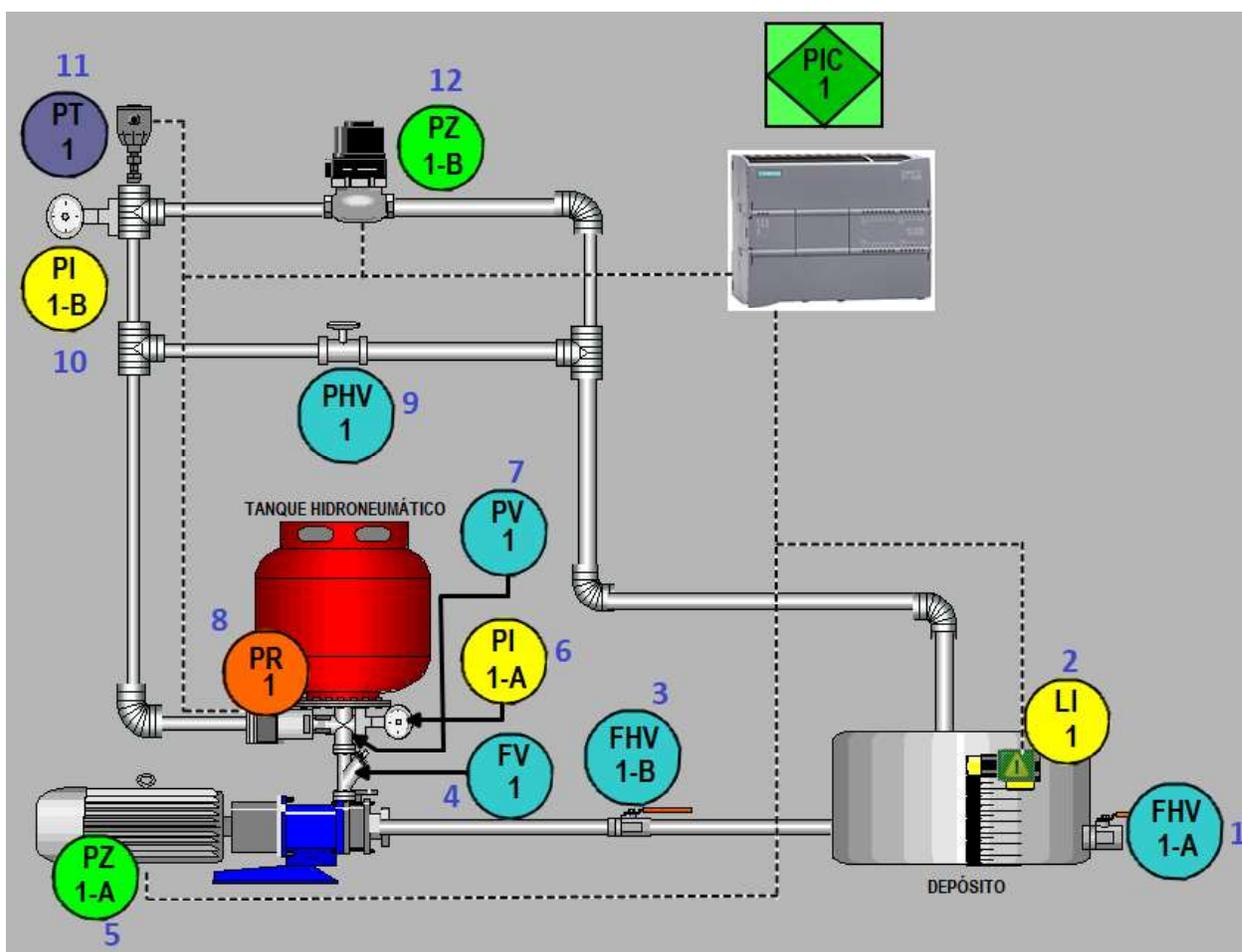


Figura 3.77: Diagrama de instrumentación P&ID

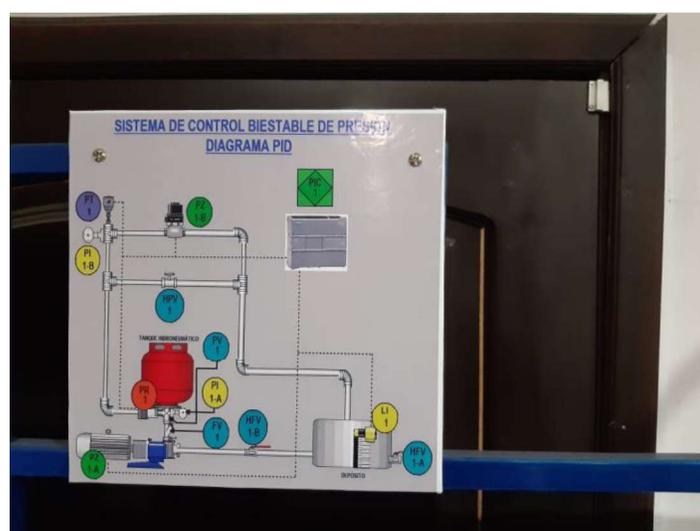


Figura 3.78: Colocación del diagrama de instrumentación P&ID sobre la estructura

Finalmente, se fijó la tapa de acrílico sobre el depósito de almacenamiento según el diseño de la Lámina 7 del Anexo D mediante el uso de 2 eles metálicas y 4 pernos #8 de 1 ½ pulgadas (Figura 3.79 y Figura 3.80). También se colocó el título “SISTEMA DE CONTROL BIESTABLE DE PRESIÓN” sobre la estructura mediante el uso de tornillos auto perforantes y se muestra el acabado final del sistema biestable en la Figura 3.81.



Figura 3.79: Instalación de la tapa en el depósito



Figura 3.80: Fijación de las eles metálicas entre la tapa y el depósito



Figura 3.81: Acabado final del sistema biestable de presión

- **Diseño del circuito de acondicionamiento**

Inicialmente se estableció un rango de funcionamiento el cual se obtuvo mediante pruebas de encendido de la bomba. Cuando la bomba se enciende de manera inmediata la presión es de 30 [PSI] y al tenerla encendida la presión máxima que alcanza el sistema es de 60 [PSI]. Entonces el sistema es apto para acumular presión de un fluido (agua) con un rango de 30 a 60 [PSI]. Se comprobó la respuesta del transmisor a cambios de presión, de la siguiente manera:

- Idealmente: Se procedió a tomar los datos técnicos del Anexo B cuando se producen cambios de presión, a continuación, se realiza la curva de respuesta del instrumento.

$$\text{Corriente: } 4 \text{ [mA]} - 20 \text{ [mA]}$$

$$\text{Presión: } 0 \text{ [bares]} - 100 \text{ [bar]}$$

Transformación de bares a PSI

$$\text{Presión} = 100 \text{ [bares]} \times \frac{14,5 \text{ [PSI]}}{1 \text{ [bares]}} = 1450 \text{ [PSI]}$$

Mediante estos valores se obtuvo la función de la recta (Figura 3.82) de la siguiente manera:

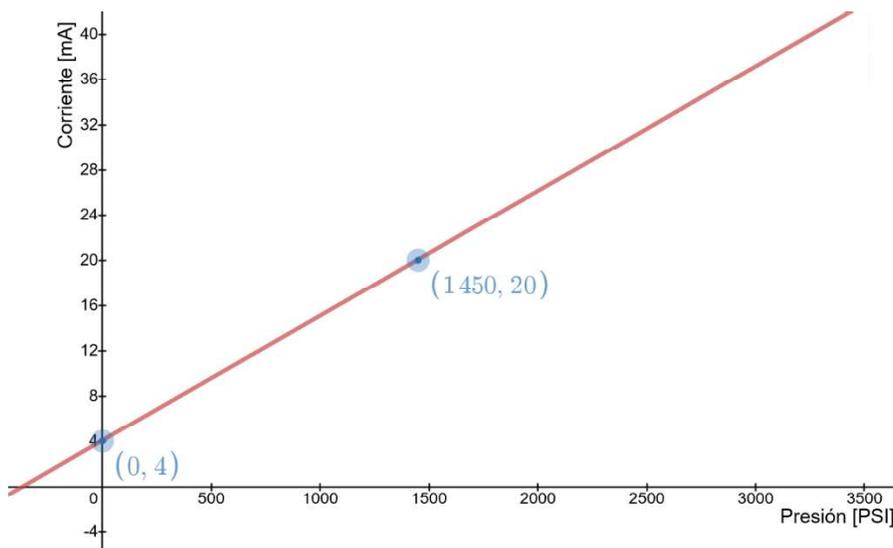


Figura 3.82: Gráfica de recta corriente en función de la presión

$y = mx + b$ (Ecuación de la recta donde $m =$ pendiente y $b =$ ordenada de origen)

$$\text{Se reemplazó los datos : } I = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} P + b$$

$$I = \frac{20 - 4}{1470 - 0} P + 4$$

$$I = \frac{16}{1470}P + 4$$

Mediante esta función se calculó la corriente ideal para algunos valores de presión, de la siguiente manera:

$$\text{Para: } 0 \text{ [PSI]} \rightarrow I = \frac{16}{1450} \times 0 + 4 = 4 \text{ [mA]}$$

$$\text{Para: } 30 \text{ [PSI]} \rightarrow I = \frac{16}{1450} \times 30 + 4 = 4,331 \text{ [mA]}$$

$$\text{Para: } 35 \text{ [PSI]} \rightarrow I = \frac{16}{1450} \times 35 + 4 = 4,386 \text{ [mA]}$$

$$\text{Para: } 40 \text{ [PSI]} \rightarrow I = \frac{16}{1450} \times 40 + 4 = 4,41 \text{ [mA]}$$

$$\text{Para: } 45 \text{ [PSI]} \rightarrow I = \frac{16}{1450} \times 45 + 4 = 4,96 \text{ [mA]}$$

$$\text{Para: } 50 \text{ [PSI]} \rightarrow I = \frac{16}{1450} \times 50 + 4 = 4,55 \text{ [mA]}$$

$$\text{Para: } 55 \text{ [PSI]} \rightarrow I = \frac{16}{1450} \times 55 + 4 = 4,607 \text{ [mA]}$$

$$\text{Para: } 60 \text{ [PSI]} \rightarrow I = \frac{16}{1450} \times 60 + 4 = 4,662 \text{ [mA]}$$

- Experimentalmente: se procedió a conectar un amperímetro digital (DIGITAL MULTIMETER 13038038) en serie con el transmisor (Figura 3.83 y Figura 3.84), a continuación, se encendió la bomba y mediante los manómetros se observó la presión a la cual se encuentra el sistema (Tabla 3.9).



Figura 3.83: Conexión del amperímetro digital al transmisor



Figura 3.84: Visualización del amperímetro digital

Se pudo evidenciar que la respuesta del transmisor en el sistema biestable de presión es lineal (Tabla 3.9 y Figura 3.85) y el error entre las mediciones es mínimo. Además, se comprobó la efectividad del transmisor al trabajar con una presión extremadamente baja y la velocidad de respuesta al variar la presión.

Tabla 3.9: Corriente Ideal y experimental del transmisor de presión

Presión [PSI]	Corriente Ideal [mA]	Corriente Experimental [mA]	Error relativo
0	4	3,99	0,25%
30	4,331	4,29	0,95%
35	4,386	4,35	0,82%
40	4,441	4,41	0,70%
45	4,496	4,47	0,59%
50	4,55	4,53	0,44%
55	4,607	4,58	0,59%
60	4,662	4,64	0,47%

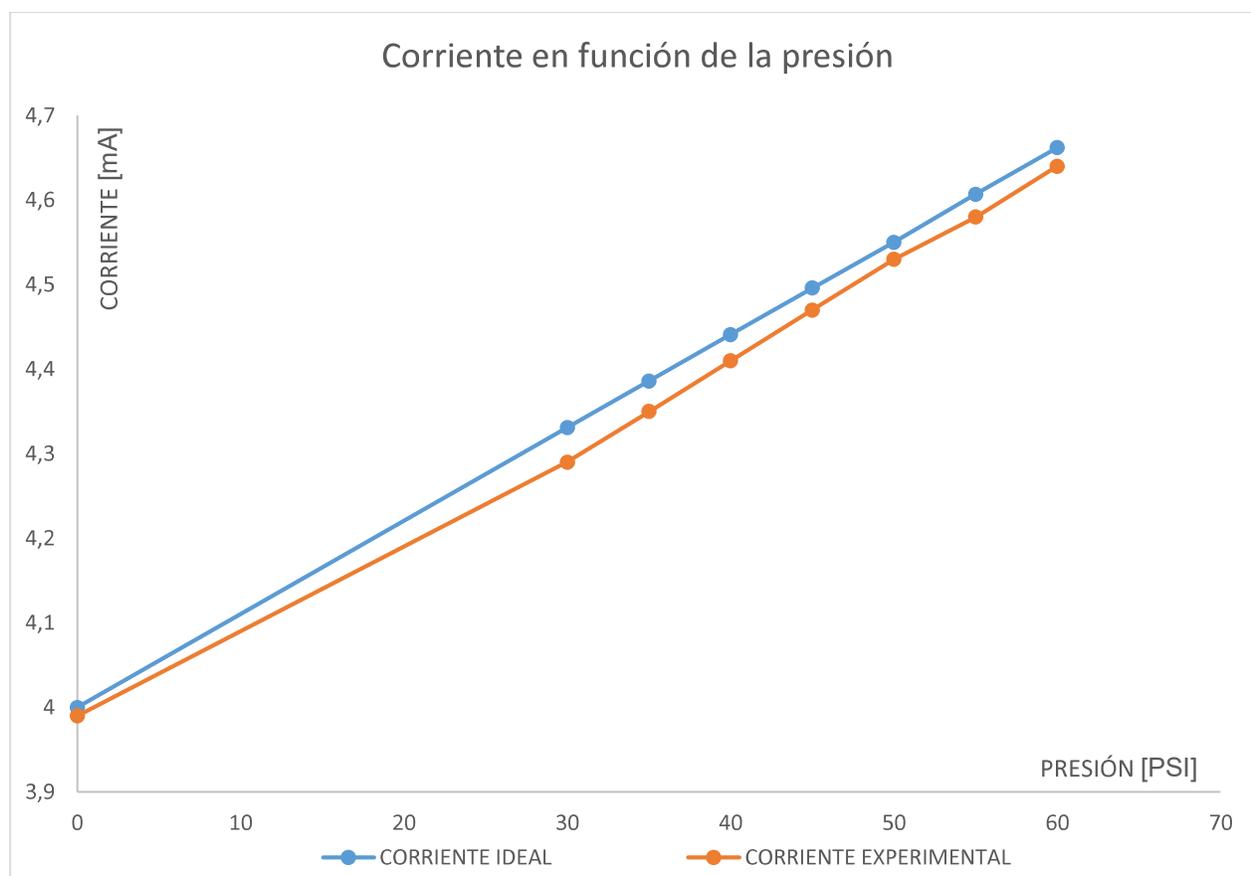


Figura 3.85: Gráfica corriente en función de la presión

Para realizar el circuito de acondicionamiento se tomaron en cuenta algunas consideraciones:

- ✓ El nivel de variación de corriente con la presión es muy bajo por lo cual el acondicionamiento debe amplificar la señal.
- ✓ El circuito debe ser sencillo.
- ✓ La entrada analógica del módulo PLC funciona en el rango de 0 [V_{DC}] a 10 [V_{DC}].
- ✓ El circuito de acondicionamiento debe estar protegido dentro de una caja plástica eléctrica.

A partir de estas consideraciones se procedió a colocar una resistencia de carga de 220 [Ω] (Anexo A) para trabajar con la magnitud voltaje. Además, se realizaron 2 etapas de amplificación mediante el uso de operacionales LM741 (Figura 3.86).

En la primera etapa se realiza un amplificador con inversión de fase, el cual sirve para amplificar el voltaje en la resistencia de carga. Se obtuvieron los datos de corriente máxima y mínima experimental de la Tabla 3.9.

En la segunda etapa se realizó un amplificador con inversión de fase de ganancia unitaria para que el voltaje de la salida sea positivo y alimente a la entrada analógica del módulo PLC.

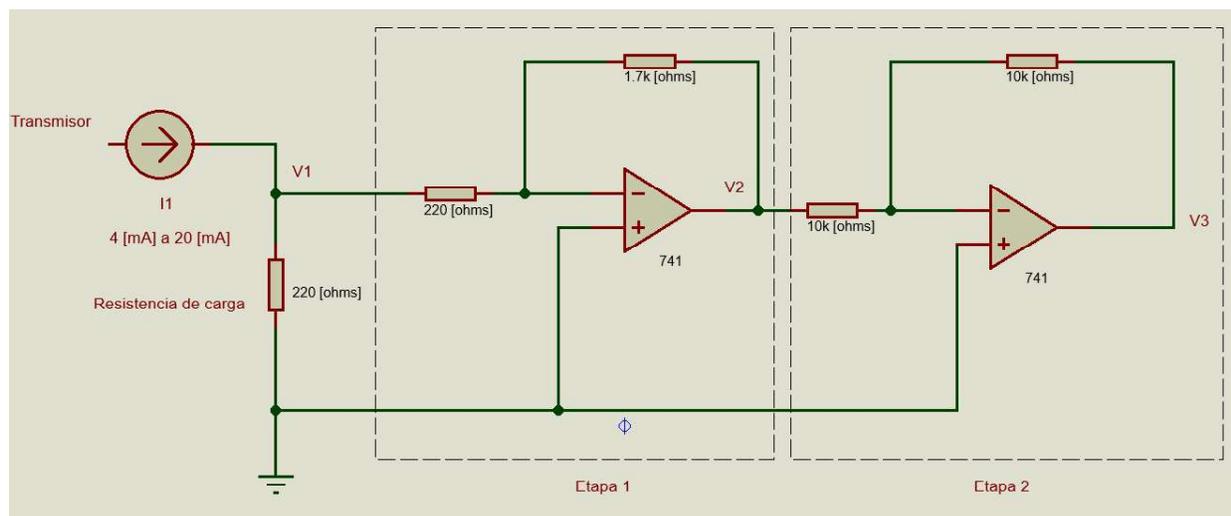


Figura 3.86: Circuito de acondicionamiento

Se inicia se calcula el voltaje ($V1_{m\acute{a}x.}$ y $V1_{m\acute{i}n.}$) sobre la resistencia de carga cuando el sistema se encuentra a 30 o 60 [PSI] respectivamente.

$$V1_{m\acute{i}n} = 4,29 \text{ m} \times 330 = 1,4157 \text{ [V]}; \text{ para } 30 \text{ [PSI]}$$

$$V1_{m\acute{a}x} = 4,64 \text{ m} \times 330 = 1,5312 \text{ [V]}; \text{ para } 60 \text{ [PSI]}$$

A continuación, se calcula el voltaje de salida ($V2_{m\acute{i}n.}$ y $V2_{m\acute{a}x.}$) de la primera etapa de acondicionamiento.

$$V2_{m\acute{i}n} = -\frac{1200}{220} \times 1,415 = -7,71 \text{ [V]}$$

$$V2_{m\acute{a}x} = -\frac{1200}{220} \times 1,5312 = -8,352 \text{ [V]}$$

Finalmente, se calcula el voltaje de salida ($V3_{m\acute{i}n.}$ y $V3_{m\acute{a}x.}$) de la segunda etapa de acondicionamiento que servirá de alimentación para la entrada analógica módulo del PLC.

$$V3_{m\acute{i}n} = -\frac{10 \text{ k}}{10 \text{ k}} \times -7,71 = 7,71 \text{ [V]}$$

$$V3_{m\acute{a}x} = -\frac{10 \text{ k}}{10 \text{ k}} \times -8,352 = 8,352 \text{ [V]}$$

El circuito de acondicionamiento se simuló en PROTEUS 8 (Figura 3.87) con las principales borneras para conexiones externas hacia la placa. Se usó el diagrama PCB (Figura 3.88) para

realizar la construcción de la placa y al mismo tiempo se muestra la visualización final del circuito de acondicionamiento (Figura 3.89).

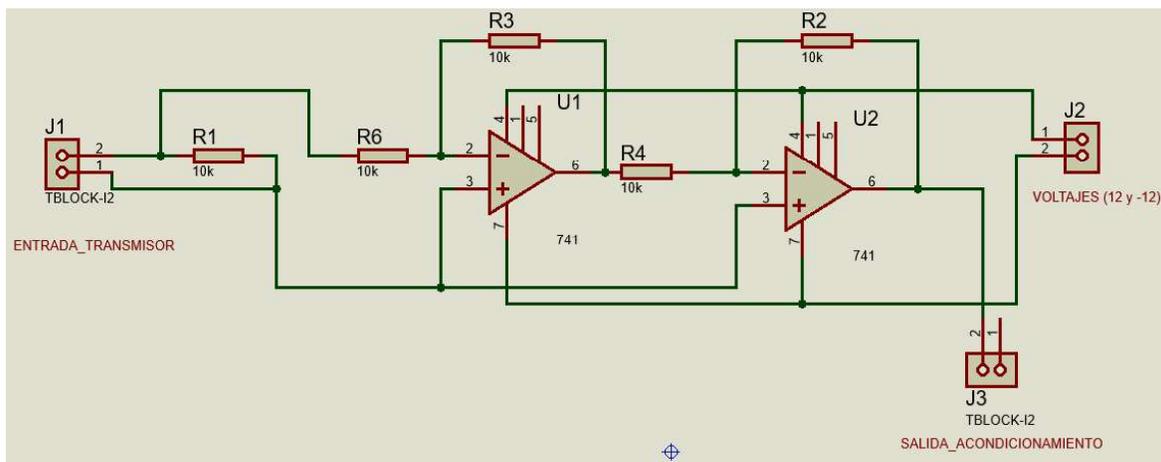


Figura 3.87: Simulación circuito de acondicionamiento del sistema biestable de presión

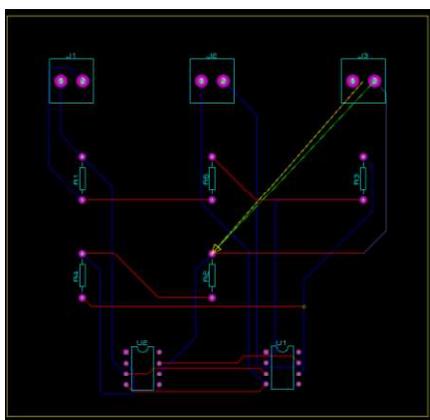


Figura 3.88: Diagrama PCB del circuito de acondicionamiento

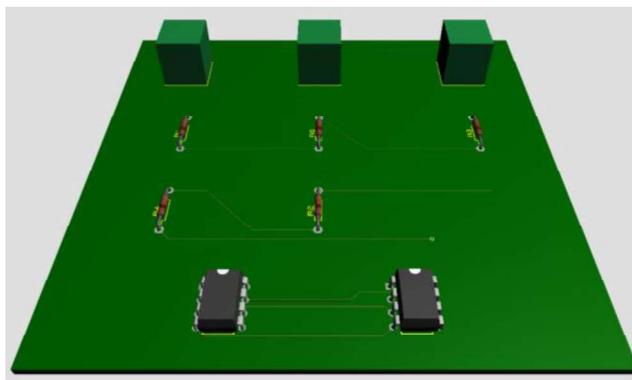


Figura 3.89: Modelo del circuito de acondicionamiento

Una vez finalizada la construcción del circuito de acondicionamiento, se procedió a colocar la placa dentro de la caja plástica eléctrica y se realizó sus respectivas conexiones (Figura 3.90).



Figura 3.90: Instalación del circuito de acondicionamiento

A continuación, se conectó la salida del circuito de acondicionamiento a la entrada analógica del módulo PLC. Luego se encendió el sistema de presión, y se observó la variación de voltaje entre: presión mínima (Figura 3.91) y presión máxima (Figura 3.92).



Figura 3.91: Voltaje mínimo de la señal del transmisor



Figura 3.92: Voltaje máximo de la señal del transmisor

El rango de trabajo es de 1,1 [V] (diferencia entre el voltaje máximo y mínimo del transmisor), aunque sea un rango reducido cabe destacar que la entrada del PLC lee unidades crudas de procesamiento (ucp).

A continuación, se realizó la conversión de voltaje a unidades crudas de procesamiento mediante una regla de tres, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Si: } 10 [V_{DC}] &\rightarrow 27648 [ucp] \\ 1,1 [V_{DC}] &\rightarrow x [ucp] \\ x &= \frac{1,1 \times 27648}{10} = 3041,28 [ucp] \end{aligned}$$

El rango de trabajo es de 3041,28 [ucp] para una presión de 30 a 60 [PSI], lo cual es suficiente para controlar el sistema biestable de presión.

3.6. Algoritmo de control e Interfaz Humano- Máquina (HMI)

- **Algoritmo de control**

El sistema debe cumplir las siguientes consideraciones importantes:

- ✓ Se dispone un flotador dentro del depósito de almacenamiento el cual debe bloquear el sistema si no existe un nivel mínimo de líquido.
- ✓ Se debe disponer de dos modos de funcionamiento: manual y automático.
- ✓ En el modo manual se debe activar la bomba y la electroválvula.
- ✓ El sistema debe tener mandos locales y mandos remotos.
- ✓ El sistema debe bloquear el funcionamiento cuando se alcance el valor máximo de presión.
- ✓ Se debe parar el proceso en cualquier instante cuando se accione el pulsador de emergencia.
- ✓ El fluido se transporta del depósito de almacenamiento a la zona de presión mediante la activación de la bomba y retorna al depósito al activar la electroválvula o abrir la válvula tipo compuerta.
- ✓ El sistema hidroneumático almacena presión cuando se activa la bomba y pierde presión al activar la electroválvula o abrir la válvula tipo compuerta.
- ✓ El sistema debe responder cuando se introduzca un valor de referencia (set point) dentro del rango de funcionamiento (30 hasta 60 [PSI]) y debe bloquearse si se introduce un valor incorrecto.

- ✓ La variable de instrumentación es la señal del transmisor de presión por lo cual este valor debe ser medido constantemente.
- ✓ El sistema debe disponer de una banda de seguridad, para cuando la variable de instrumentación este fuera de rango se pueda tomar acciones de corrección.
- ✓ El sistema debe tener una HMI para supervisar, monitorear y controlar el proceso.

El algoritmo se realizó en el software PORTAL TIA V15 y mediante el uso de lenguajes Ladder y FBD se desarrollaron 5 segmentos de programación como se indica en el Anexo E. En estos segmentos se emplearon variables tipo: Int, Real, Bool y Time (Figura 3.93).

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
1	PRESIÓN	Int	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	PRESIÓN ESCALADA	Real	%MD20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	PRESIÓN NORMALIZADA	Real	%MD24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	ON BOMBA PLC	Bool	%IO.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	BOMBA	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	ON BOMBA HMI	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	OFF BOMBA PLC	Bool	%IO.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	OFF BOMBA HMI	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	SET POINT	Real	%MD50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	VARIABLE ENTERA CONTROLAB...	Int	%MW125	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	VARIABLE DEL TRANSMISOR	Int	%MW128	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	ACTIVACIÓN BOMBA	Bool	%M699.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	OFF	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	OFF SECUNDARIO	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	RESET	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	VARIABLE DE CONTROL FINAL	Real	%MD150	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	CONSIGNA MÍNIMA	Real	%MD154	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	CONSIGNA MÁXIMA	Real	%MD158	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	ACTIVACIÓN ELECTROVÁLVULA...	Bool	%M162.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	RT1	Bool	%M162.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	RT2	Bool	%M162.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	T1	Time	%MD35	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	DESACTIVACIÓN	Bool	%M40.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	T2	Time	%MD40	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	ELCTROVÁLVULA	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	ENCLAVE_1	Bool	%M7.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	OFF_ELECTROVÁLVULA	Bool	%M7.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	AUX	Bool	%M7.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	APAGADO_FINAL	Bool	%M7.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	PERTURBACIÓN	Bool	%M202.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.93: Variables del algoritmo de control

- **HMI**

Para controlar, supervisar y monitorear el sistema biestable de presión se procedió a diseñar su respectiva interfaz humana máquina. Esto se consiguió realizando cuatro pantallas en las

cuales gráficamente se muestra el proceso y funcionamiento del sistema. Además, se tomaron en cuenta algunas consideraciones:

- ✓ La interfaz debe poseer un botón de emergencia el cual debe detener el sistema cuando se produzca un error.
- ✓ Se debe visualizar el nivel correcto del sistema y la presión máxima.
- ✓ Durante la activación de los modos de funcionamiento en la interfaz se debe visualizar una señal de indicación para que el operador observe lo que está realizando.
- ✓ Se debe mostrar el tiempo de activación de la electroválvula y el tiempo de reposo hasta que el sistema se reinicie y empiece a acumular presión.

La pantalla principal y las demás pantallas constan de un menú de selección el cual permite la navegación a otras pantallas o desactiva el RUNTIME. La pantalla PRINCIPAL (Figura 3.94) consta de:



Figura 3.94: Pantalla PRINCIPAL del HMI

1. El botón PROCESO permite acceder directamente a la pantalla PROCESO en donde se inicia el funcionamiento del sistema biestable de presión.

2. El botón VISOR f(t) permite acceder a la pantalla VISOR DE CURVAS en donde se puede observar la evolución de la presión en función del tiempo según el modo de funcionamiento seleccionado.
3. El botón DESACTIVAR RUNTIME permite salir del HMI cuando se ha finalizado la utilización del sistema biestable de presión.

En la pantalla PROCESO (Figura 3.95) se inicia con el funcionamiento del sistema biestable de presión y consta de las siguientes partes:

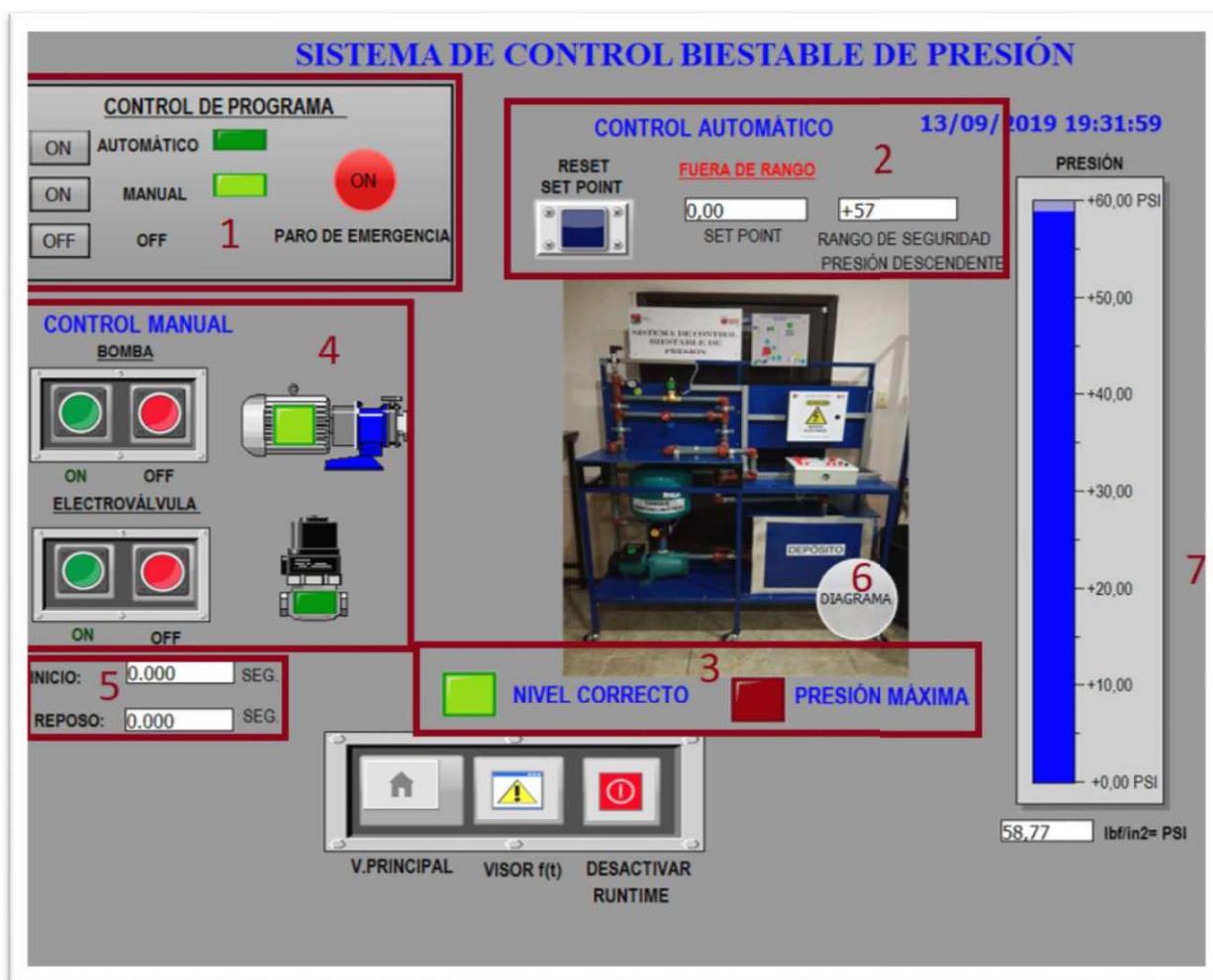


Figura 3.95: Pantalla PROCESO del HMI

1. Menú de selección para los modos de funcionamiento del sistema (manual o automático) y su visualización. También se encuentra el paro de emergencia total del sistema.
2. Modo de funcionamiento automático:
 - ✓ RESET SET POINT: el sistema adquiere el valor de referencia.

- ✓ FUERA DE RANGO: mensaje cuando se coloca un valor de referencia menor a 30 o superior a 60 [PSI].
 - ✓ SET POINT: presión que se solicita al sistema.
 - ✓ RANGO DE SEGURIDAD DE PRESIÓN DESCENDETE: es el límite al que el sistema responde para una presión inferior al valor de referencia.
3. Visualización de nivel correcto y presión máxima.
 4. Modo de funcionamiento manual: activa y desactiva la bomba o la electroválvula.
 5. Indicación del tiempo de funcionamiento de la electroválvula y el reposo del sistema.
 6. Botón que permite acceder a la pantalla DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN P&ID del sistema biestable de presión.
 7. Indicación de la variable de proceso del sistema de presión.

Además, se integra el diagrama de instrumentación P&ID (Figura 3.96) del sistema para que el operador tenga una referencia gráfica del proceso que se realiza, consta de las siguientes partes:

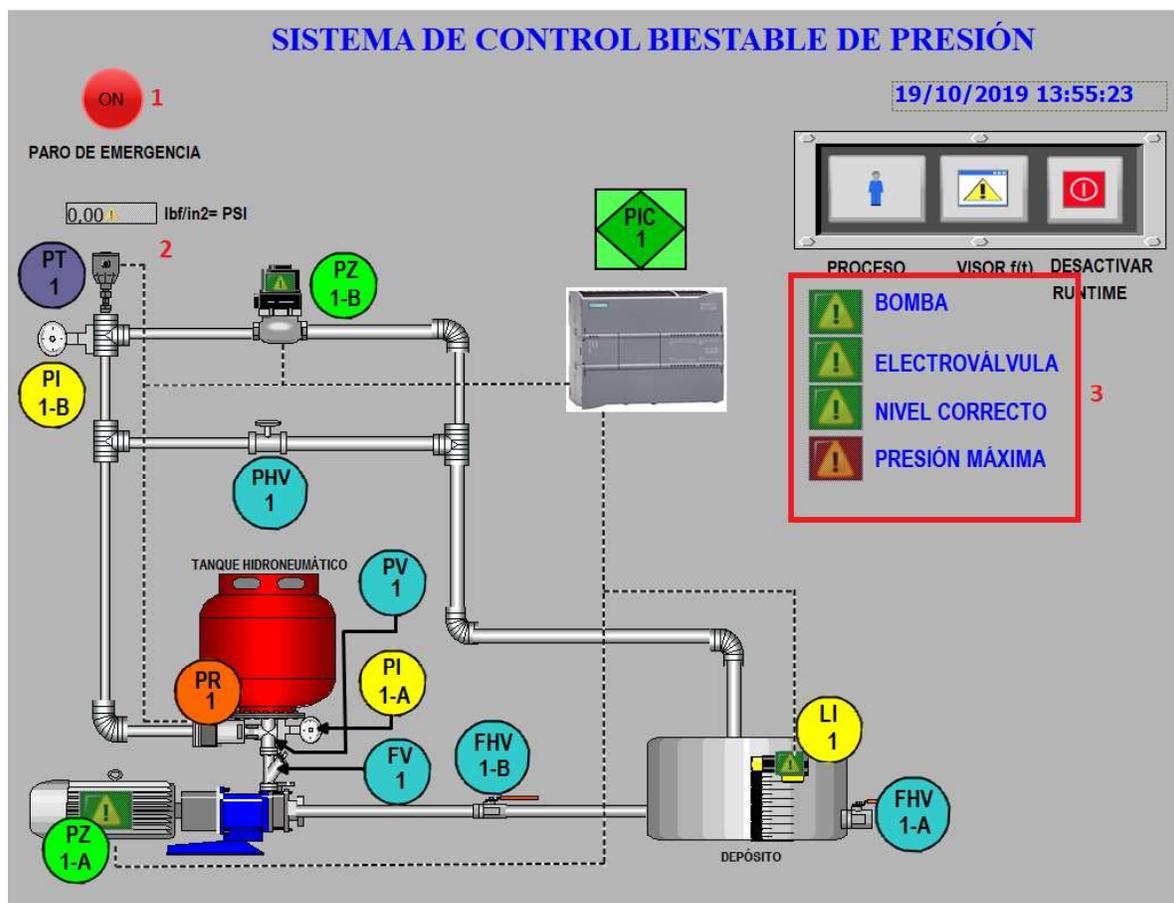


Figura 3.96: Diagrama de instrumentación P&ID del HMI

1. Paro de emergencia total del sistema.
2. Indicación de la variable de proceso del sistema de presión.
3. Visualización de estados del sistema.

Se coloca una pantalla en la cual se observa la curva de la presión en función del tiempo (Figura 3.97), la cual varía según el modo de funcionamiento. Sus partes son:

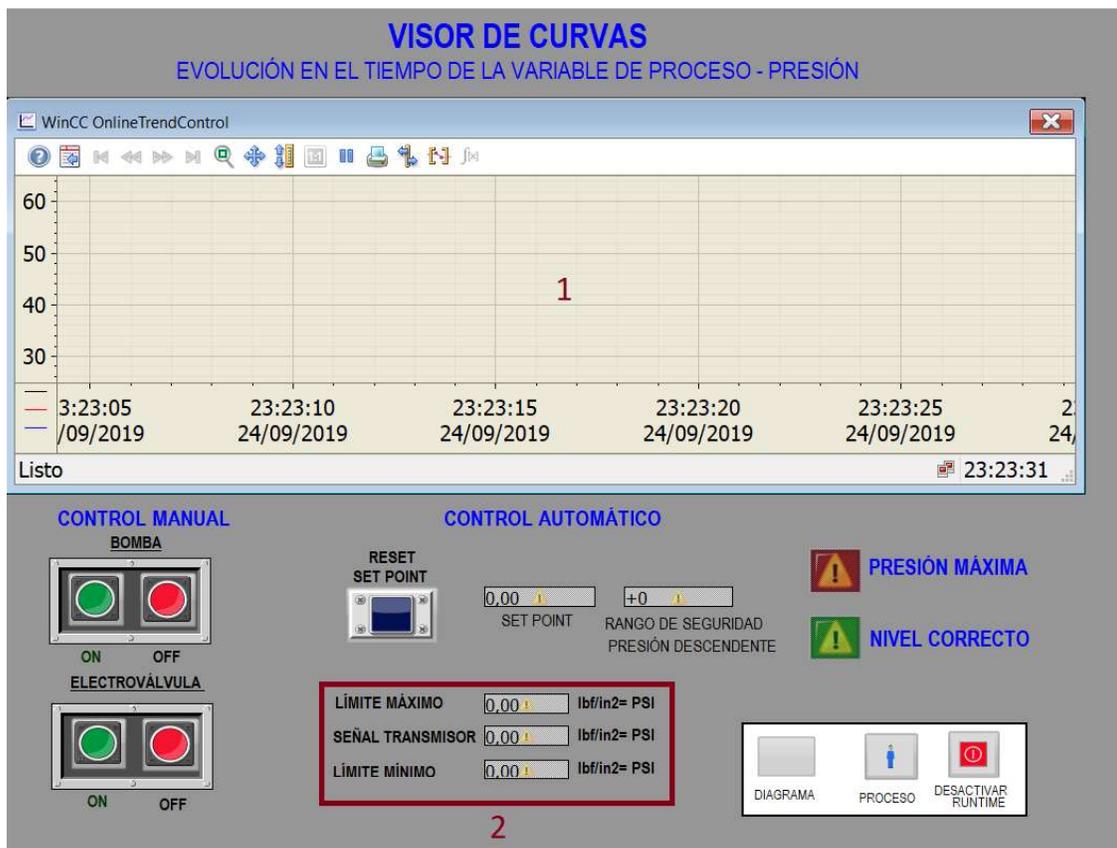


Figura 3.97: Pantalla VISOR DE CURVAS del HMI

1. Visualización de la evolución de la presión en función del tiempo.
2. Esta parte corresponde a la banda de seguridad y consta de:
 - ✓ LÍMITE MÁXIMO: límite superior de la variable principal del proceso.
 - ✓ SEÑAL DEL TRANSMISOR: variable de proceso.
 - ✓ LÍMITE MÍNIMO: límite inferior de la variable del proceso.

3.7. Pruebas de funcionamiento

La verificación funcional de los componentes que constituyen el módulo PLC y el sistema de presión es crucial para determinar y asegurar que cada elemento se encuentre operando de forma

correcta y que la configuración funcione de acuerdo a los requerimientos establecidos. Para ello se consideran las siguientes medidas:

- ✓ Aplicación de comprobaciones de operatividad y evaluación individual de dispositivos para determinar la satisfacción en los criterios de prueba.
- ✓ Pruebas en condiciones reales de laboratorio.
- ✓ Aplicación de pruebas de simulación.
- ✓ Realización de pruebas de funcionamiento continuo e intermitente del sistema.

De este modo, se expone a continuación las pruebas de funcionamiento realizadas en las implementaciones.

- **Módulo educativo**
 - **Conexiones eléctricas**

Se realizaron pruebas de continuidad multipunto (Figura 3.98) entre los terminales de conexión de los dispositivos (pulsadores, selectores, borneras, etc. y la CPU). Adicionalmente se corroboró el adecuado funcionamiento de los potenciómetros de regulación y la lectura de los voltímetros digitales en un rango permisible de tensión de 0 a 10 [V_{DC}].



Figura 3.98: Pruebas de conexiones eléctricas en el módulo PLC

- **Maniobra E/S del PLC**

En esta prueba se contempló el accionamiento físico independiente y en conjunto de los indicadores luminosos de entradas y salidas del PLC por medio de señales externas provistas por los pulsadores y selectores montados en el gabinete. Para efectuar esta prueba se asignó de forma secuencial mediante un algoritmo de control, la dirección de entrada que acciona a la salida correspondiente y a su vez, para mejorar la apreciación, se asoció las borneras de salida digital a varias luces piloto de un tablero de control electromecánico (Figura 3.101).

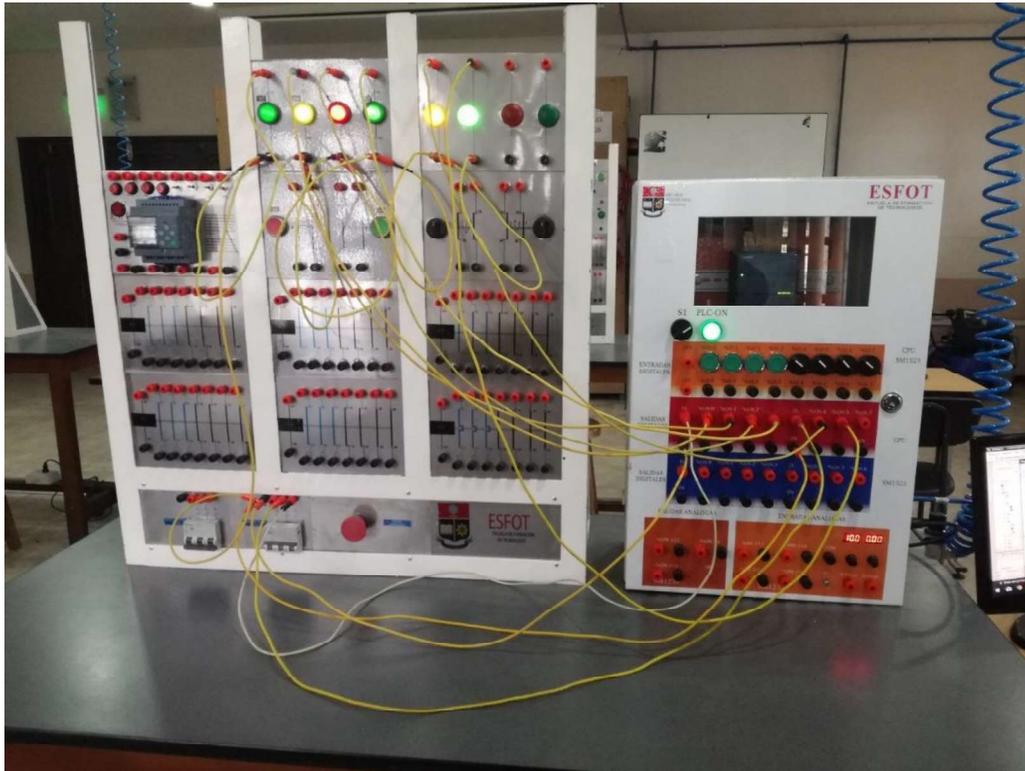


Figura 3.101: Pruebas de circuitos de maniobra del módulo PLC

- **Entradas analógicas**

Para estas pruebas se elaboró un programa de control que contenga bloques de instrucción de normalización y escalamiento para procesamiento de señal analógica con adaptación a valores de tensión normalizados usados en la muestra de la relación y correspondencia entre el valor de entrada leído por los voltímetros y el valor de tensión receptado por la CPU mediante dos formas:

- ✓ Por medio de la simulación de un sensor mediante una fuente externa de voltaje variable (Figura 3.102). Se utilizó dos bloques de conversión (NORM_X y SCALE_X)

para comprobar que el voltaje en la entrada analógica sea la misma que utiliza en el software durante el desarrollo del algoritmo (Figura 3.103).



Figura 3.102: Prueba de entradas analógicas mediante fuente variable

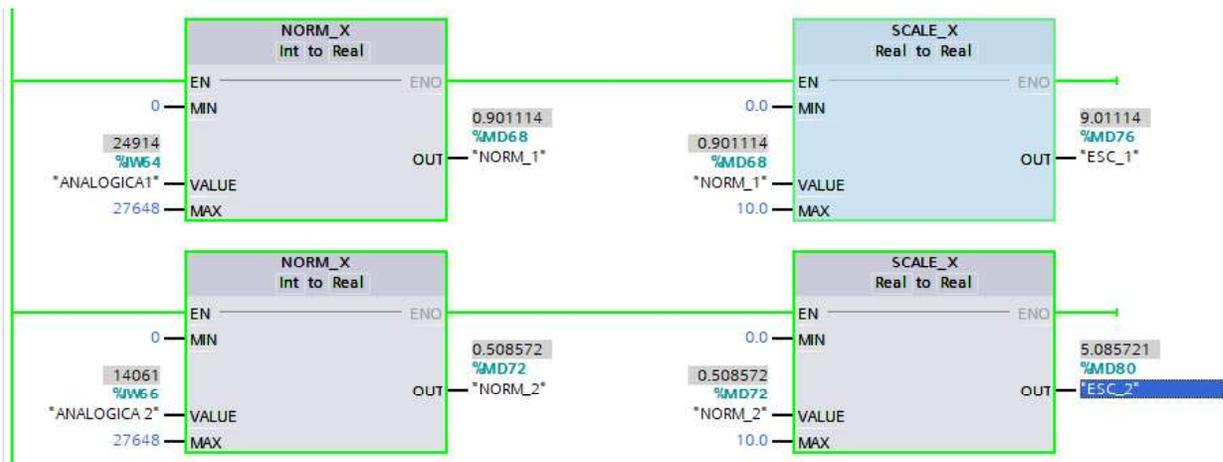


Figura 3.103: Procesamiento del voltaje externo mediante software

- ✓ Por medio del potenciómetro (Figura 3.104). Se utilizó dos bloques de conversión (NORM_X y SCALE_X) para comprobar que el voltaje en la entrada analógica sea la misma que utiliza en el software durante el desarrollo del algoritmo (Figura 3.105).



Figura 3.104: Prueba de entradas analógicas mediante potenciómetro

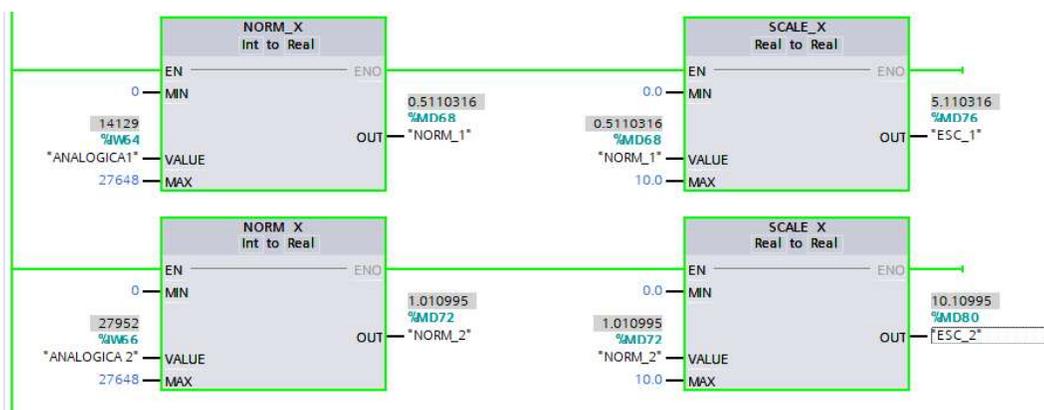


Figura 3.105: Procesamiento del voltaje del potenciómetro mediante software

- **Sistema de control biestable de presión**

En esta sección se evalúa la respuesta del sistema de control de presión sincronizándolo con el módulo PLC y con el mando remoto de la interfaz desarrollada en TIA PORTAL V15 que proporciona un gráfico de proceso visual para aportar contexto y significado del tiempo, activación de una bomba, accionamiento de una electroválvula, establecimiento de un valor de referencia de trabajo, selección de un modo de funcionamiento, indicación del estado del nivel de líquido del depósito y presión máxima alcanzada (Figura 3.106).

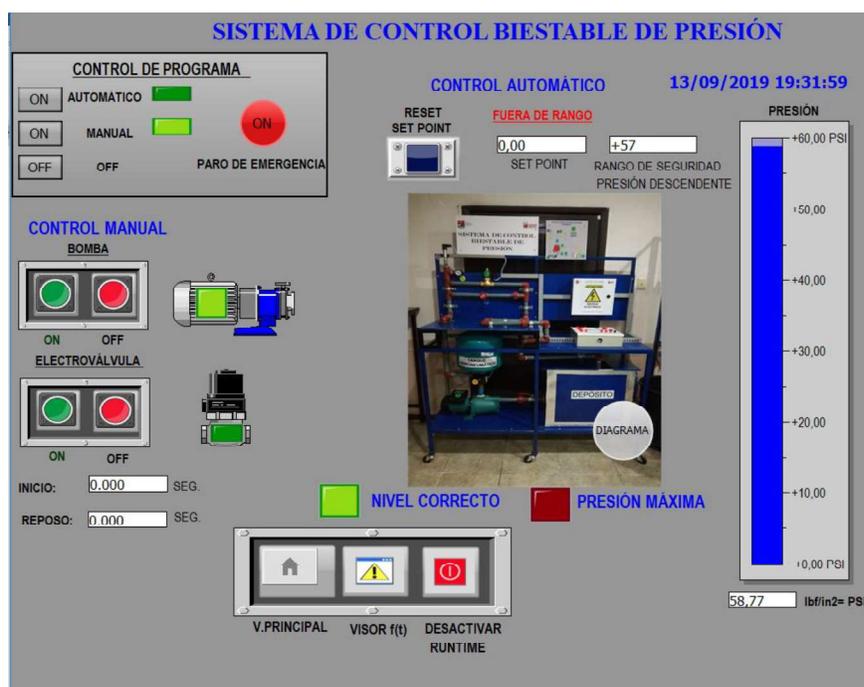


Figura 3.106: Sincronización HMI con el módulo PLC

Una vez elegido el modo de operación (manual o automático) se procede a accionar la unidad, en caso de haber seleccionado el modo manual en el sistema únicamente se podrá realizar la activación de la bomba para el proceso de acumulación de presión (hasta 60 [PSI]). En esta función si la presión alcanzada corresponde exactamente a 60 [PSI], el sistema automáticamente se apagará gracias al pulso eléctrico que otorga el presóstato. Luego de ello se podrá hacer labores de apertura/cierre de la electroválvula para aliviar el contenido almacenado en la sección de alta presión y finalmente se podrá reiniciar el ciclo. Cabe indicar que en cualquier momento se podrá detener el proceso independientemente de la presión acumulada.

Alternativamente escogiendo el modo de operación automático se puede ingresar un valor numérico de presión en el campo de entrada ubicado en un rango de 30 a 60 [PSI] (incluyendo decimales), empezando por el estado de reposo. Al establecer el valor de consigna, el sistema aguardará por un breve periodo de tiempo (alrededor de 4 segundos) para interpretar y procesar el dato prefijado en la memoria del PLC e inmediatamente arrancará el proceso de acumulación de presión como se puede evidenciar en la Figura 3.107.

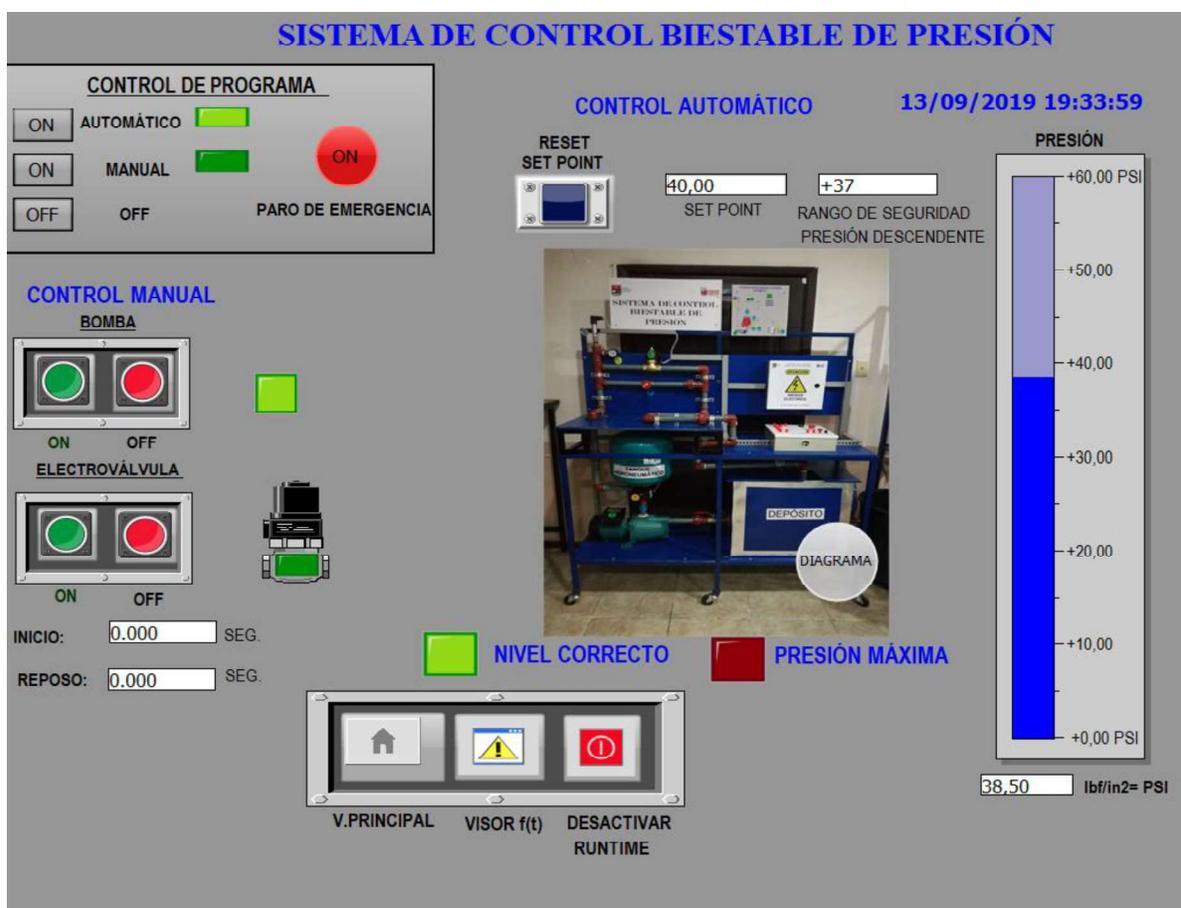


Figura 3.107: Acumulación de presión del sistema biestable de presión

Para verificar el adecuado funcionamiento del transmisor de presión visualizando su evolución en el tiempo, el valor de la variable de proceso programado y la banda de seguridad para evitar la degradación prematura de los elementos finales de control por oscilaciones frecuentes del valor de referencia, se incorporó un visor de curvas $f(t)$ donde se constata la equivalencia entre el valor actual de la variable de proceso y el valor de la consigna (Figura 3.108).

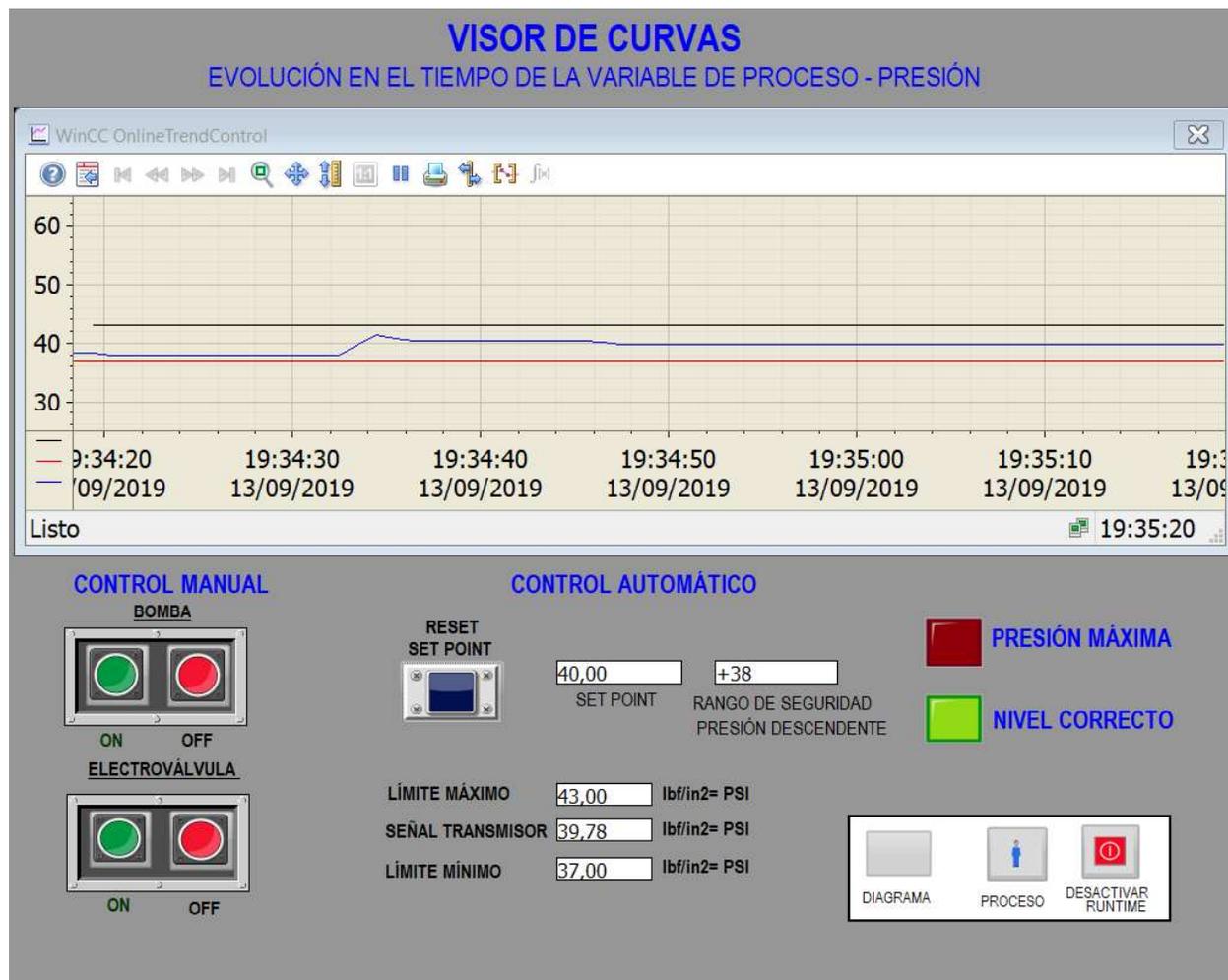


Figura 3.108: Visualización del funcionamiento del transmisor en el visor de curvas

Al introducir un valor un valor de consigan inferior que el precedente (siempre que no sea menor a 30 [PSI]), se generara una caída abrupta de presión como consecuencia de la apertura total de la electroválvula, como se aprecia en el diagrama de proceso (Figura 3.109), luego el sistema se coloca en condiciones iniciales y se reactiva instantáneamente hasta alcanzar el nuevo dato. En esta situación se visualiza la oscilación inherente a las características de la señal de control.

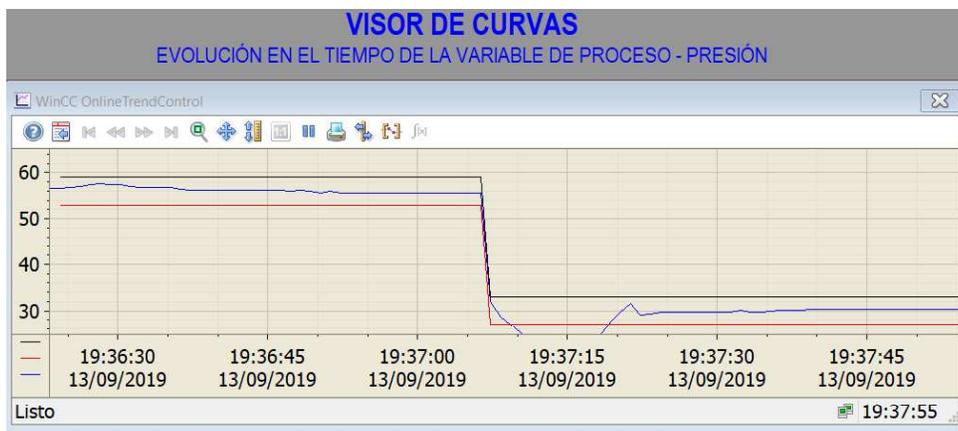


Figura 3.109: Curva de funcionamiento para valores menores al set point

Para ampliar el campo de evaluación del comportamiento de la señal de la variable física, se indican en breve las gráficas de presión en función del tiempo para distintos valores entre enteros puros y decimales del valor de referencia asignados de manera ascendente a partir de 30 [PSI]. Además, el sistema será invulnerable a cualquier cambio con un valor fuera del límite superior e inferior de funcionamiento presentando un texto parpadeante de color rojo indicando que el valor ingresado se encuentra fuera de rango, para esta comprobación se utilizó un valor de referencia de 99,99 [PSI], así como se indica en la Figura 3.110.

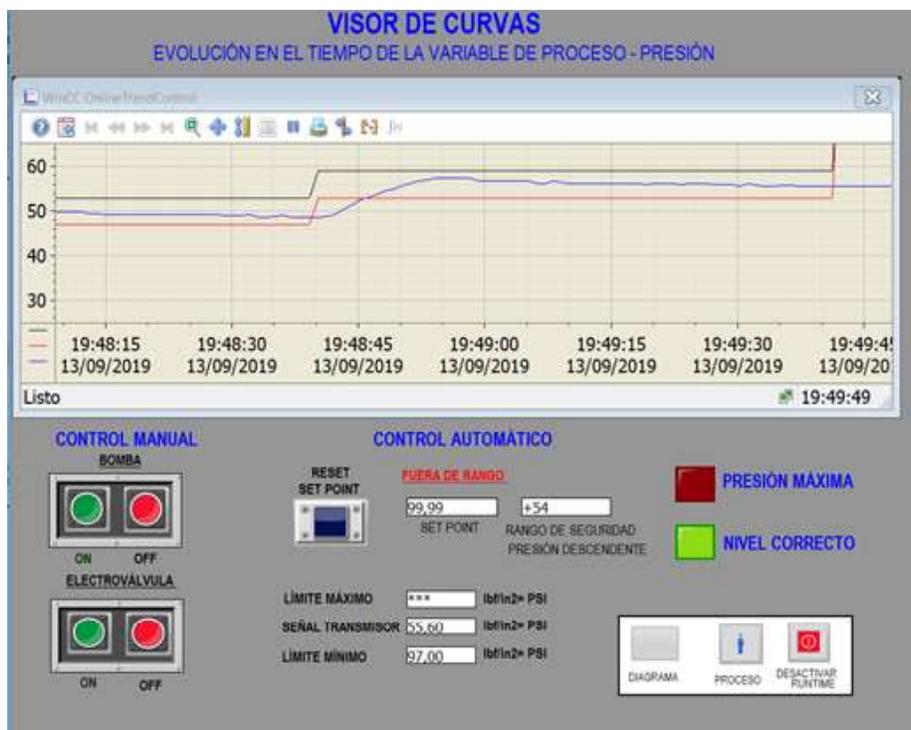


Figura 3.110: Valor de referencia (SET POINT) fuera de rango

Ahora para analizar el tiempo que transcurre desde la estabilización de la señal, hasta el descenso por debajo de la franja mínima, se estableció un valor de referencia de 60 [PSI], así como se indica en la Figura 3.111, desde este momento se tomó el tiempo cronometrado hasta la reactivación automática del sistema.

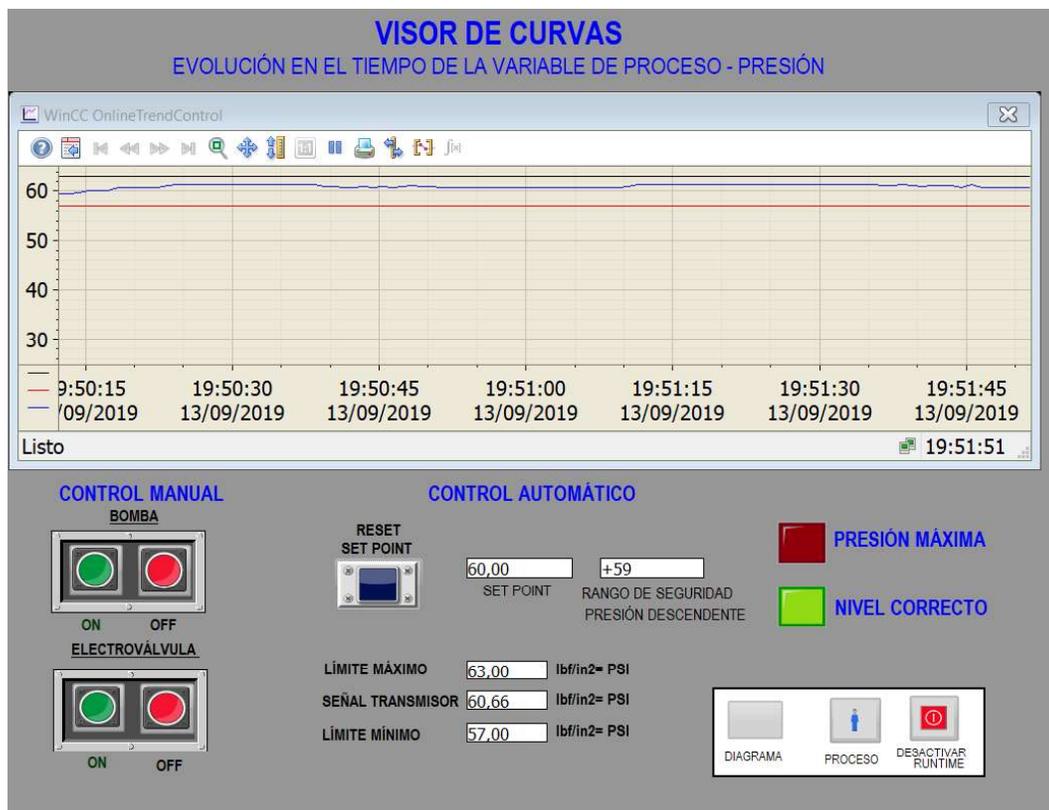


Figura 3.111: Valor de referencia de 60 [PSI]

Como se puede observar en la Figura 3.112, el tiempo transcurrido desde la consigna establecida en un inicio, la presión decreció hasta la franja mínima y se produjo la reactivación del sistema hasta alcanzar el mismo valor de entrada (Figura 3.113).



Figura 3.112: Tiempo de reactivación de la bomba

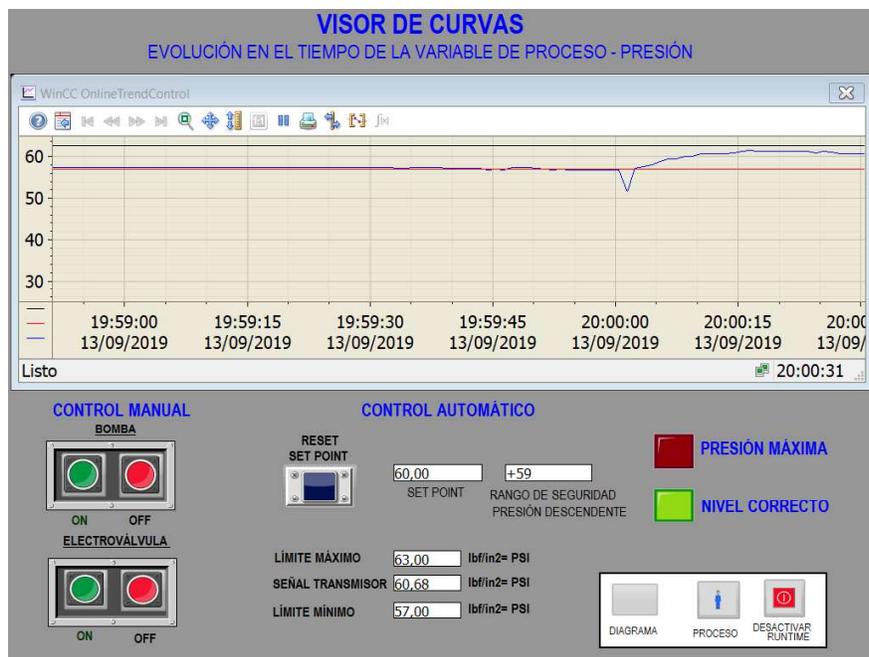


Figura 3.113: Reactivación del sistema biestable de presión

Finalmente se verificaron las condiciones de funcionamiento del módulo PLC al trabajar con el sistema de control biestable de presión.

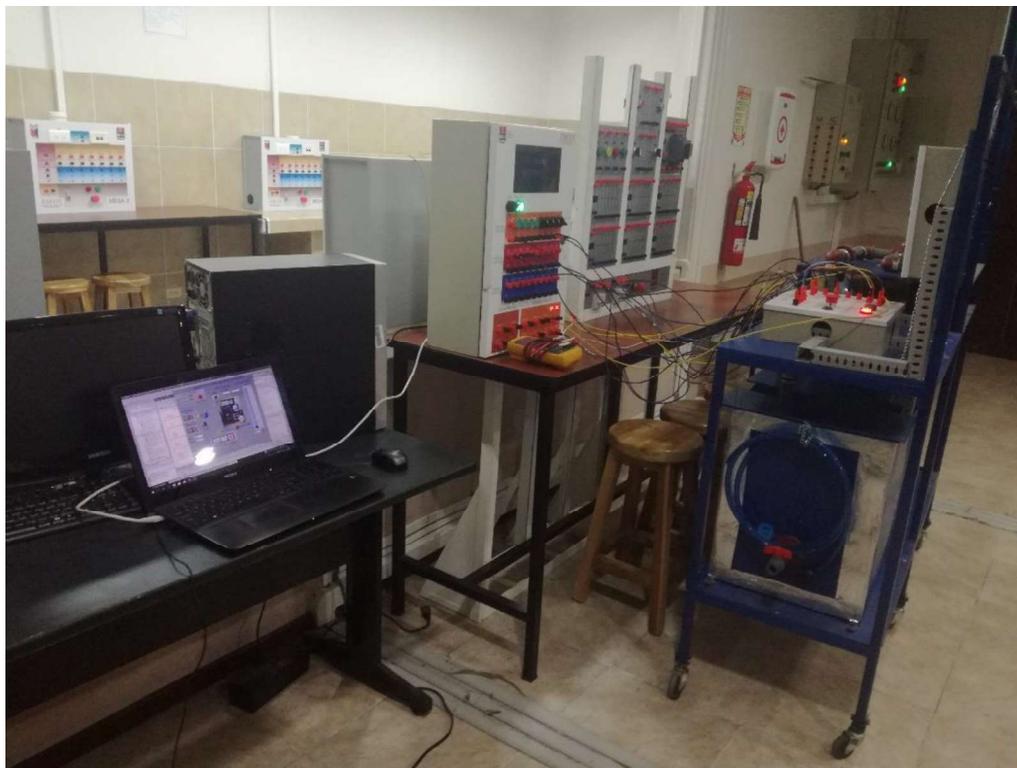


Figura 3.114: Operación del Módulo PLC y Sistema biestable de presión

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El presente proyecto se desarrolló fundamentándose en los principios y criterios de los sistemas de control automático e instrumentación industrial, utilizando para ello un Controlador Lógico Programable y un módulo didáctico para la medición y control de la magnitud física presión, cumpliéndose así con el objetivo principal planteado, tomando en cuenta que el sistema construido con equipamiento industrial robusto y de vanguardia podrá ser aprovechado como un medio de enseñanza para los estudiantes.
- Previo a la implementación se realizó un estudio de componentes que conforman ambos módulos con el objeto de seleccionar los más apropiados para el desarrollo de la aplicación. Para el diseño del módulo didáctico (PLC) se contemplaron parámetros de estandarización de equipos y accesorios acorde a los existentes en el laboratorio.
- El módulo educacional PLC fue construido en base a las prestaciones que este puede entregar de forma continua e intermitente, como la integración progresiva de bloques de expansión y tarjetas plug – in o “Signal Board” que funcionan como mecanismo agregado para ampliar las entradas / salidas digitales y análogas, e inclusive protocolos de comunicación, dotando de esta manera al dispositivo más capacidad para realizar tareas de mayor complejidad.
- El módulo educativo PLC permite ejercer acciones de control de forma sencilla a través de 8 dispositivos de mando, 4 pulsadores y 4 selectores que habilitan y deshabilitan las entradas digitales (8) de acuerdo a las necesidades del operador y del diseño del programa para activar las salidas digitales (6) asociadas. También dispone de 2 potenciómetros conectados a una fuente regulable de tensión continua, 2 entradas de señal externa y un conmutador para manejo de variables analógicas.
- Para el control de presión del fluido se utilizó una acción de control ON/OFF o también denominado todo o nada, pues es un método básico en adaptaciones que no requieren un control muy preciso. El control por retroalimentación o feedback realiza la medición entre la variable de control que tiene solamente dos estados y el punto de consigna. Para evitar un daño en los actuadores, disminuir su desgaste y prolongar su vida útil se agregó una función de histéresis, en donde la salida no produce cambios mientras el error permanece en la zona muerta, lo que se traduce en la reducción de la

fluctuación de la variable y minimización de la conmutación de los elementos finales de control.

- Para mejorar la respuesta del sistema de control en régimen transitorio, reducir el error en estado estacionario y minimizar las perturbaciones y variaciones del sistema se puede utilizar una acción de control PID, incluyendo un variador de frecuencia que permita manejar de forma precisa la velocidad de la bomba y con ello la presión generada de acuerdo con los requerimientos, no obstante el perfeccionamiento implicaría elevados costos económicos, además de un diseño estructural y de ingeniería mucho más complejo.
- Se utilizó la herramienta WinCC professional para desarrollar la interfaz humano-máquina (HMI) que permitió supervisar, monitorear, registrar en tiempo real y efectuar cambios del valor de consigna. Esta herramienta permitió diseñar ventanas eficientes e integradas con amplia gama de recursos para su utilización.
- El sistema implementado será capaz de proporcionar una solución útil y de amplia duración, en lo referente al manejo de sistemas de presión constante, pues fue proyectado para minimizar técnicamente los impactos generados por golpes de ariete, cargas dinámicas y diferenciales de presión en la red, lo que permite reducir la degradación física de los elementos y accesorios instalados que están en contacto directo con el medio físico, así como prolongar la etapa de servicio de cada componente.

4.2. Recomendaciones

- En caso de que se requiera la ampliación por bloques terminales desmontables de expansión y tarjetas plug-in para potenciar el PLC, se sugiere realizar un análisis inicial y cálculo de valor en cuanto al consumo de corriente, debido a que estos accesorios pueden llegar a sobrepasar en conjunto, el suministro de corriente del propio PLC, de ser necesario se tendrá que integrar una fuente extra con su respectivo mecanismo de protección. Cabe indicar que el armario eléctrico posee las dimensiones y espacio suficiente para la incorporación de los elementos mencionados.
- Se recomienda efectuar labores de inspección periódicas exhaustivas y pruebas de funcionamiento en el módulo PLC para detectar con antelación cualquier anomalía que pueda repercutir en el desarrollo normal de una práctica de laboratorio, o a su vez determinar y confirmar la avería de algún componente para su posterior corrección.

Las tareas de mantenimiento preventivo se deberán realizar en conformidad al cronograma establecido.

- Comprobar las conexiones entre dispositivos según el diagrama establecido en el Manual de Usuario previo a la puesta en marcha del sistema con el objeto de prevenir percances y destrucciones totales o parciales de los elementos producidos por cortocircuitos, con esta simple acción se pretende ampliar la vida útil de los componentes que constituyen el módulo PLC y la estación de control de presión para que la instalación en general funcione correctamente y sin inconvenientes.
- Para obtener una correcta respuesta del sistema y simultáneamente tener un control más preciso de presión, tomando en cuenta las cualidades de la bomba, se sugiere colocar un sensor de caudal de forma coordinada con el transmisor de presión.
- Revisar regularmente en vacío la tensión mínima y máxima generada en bornes del circuito convertidor corriente/voltaje del transmisor de presión y ajustarlo a los valores de entrada del bloque de normalización de la variable de proceso para guardar sincronía entre los valores de la magnitud física y la lectura de voltaje del PLC, evitando así descalibraciones.
- Para apreciar en un mayor rango el incremento y disminución de voltaje del circuito de acondicionamiento de la señal de proceso, se recomienda agregar varias etapas con amplificadores operacionales con ganancia variable dadas por las distintas configuraciones, previo a la determinación de la ecuación lineal de transformación en función de los puntos referenciales de voltaje que se desea obtener, la sensibilidad del medidor y los límites de presión, para esto se considerará según convenga, el uso de amplificadores típicos o un amplificador de instrumentación.
- Previo al accionamiento del modo de operación automático del sistema de control de presión se recomienda siempre constatar que el valor de referencia (set point) y los límites de histéresis de presión superior e inferior se encuentren dentro del rango de funcionamiento.
- En un sistema de control con acción ON/OFF (todo o nada) se aconseja reducir el tiempo de respuesta del sistema, que no sea demasiado considerable debido a que un incremento desproporcionado de esta variable ocasionará mayores desviaciones con relación al punto de consigna pese a que la histéresis sea prácticamente nula.
- Revisar periódicamente el nivel de agua y comprobar que no existan impurezas en suspensión que alteren o dañen el sistema.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (2010). *Summa Energía S.A.* Obtenido de Summa Energía S.A.: <https://www.abbmexico.com/>
- ADAJUSA. (2019). *ADAJUSA*. Obtenido de ADAJUSA: <https://adajusa.es/disyuntores-guardamotors-proteccion-motor/disyuntor-guardamotor-4-a-63-a-tipo-gv2-schneider.html>
- AG, S. (Abril de 2013). *SIEMENS*. Obtenido de SIEMENS: https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/es/brochure_simatic-controller_overview_es.pdf
- AIRSOFT. (2019). *AIRSOFT*. Obtenido de AIRSOFT: <https://puertogun.com/es/fusibles/30035-acm-fusible-encapsulado-de-vidrio-30mm-30a.html>
- AliExpress. (2019). *AliExpress*. Obtenido de AliExpress: <https://es.aliexpress.com/item/32828395200.html>
- Amelero. (2018). *Amelero*. Obtenido de Amelero: <https://www.amelero.com/recursos/instalaciones-electrotécnicas/step-7-tia-portal-v-15/>
- ANTECH. (20 de Agosto de 2019). *ANTECH*. Obtenido de ANTECH: <https://www.antechsv.com/2013/02/sistema-de-bombeo-de-agua-presion.html>
- Balcells, J., & Romeral, J. (1997). *Autómatas Programables*. Marcombo.
- Carrod. (2014). *Carrod electrónica*. Obtenido de Carrod electrónica: <https://www.carrod.mx/products/jack-banana-para-chasis-mediano-rojo-y-negro>
- Charre-Ibarra, S. M.-R.-L.-F. (2014). *Formación universitaria*. Obtenido de Formación universitaria: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50062014000500005
- COMOFUNCIONA. (5 de Enero de 2018). *COMOFUNCIONA*. Obtenido de COMOFUNCIONA: <https://como-funciona.co/una-bomba-centrifuga/>
- Cortés, P. (2011). *InfoPLC*. Obtenido de InfoPLC: http://www.infoplcn.net/files/descargas/siemens/infoPLC_net_guia2.pdf
- Creus, J. A. (1963). *Tratado práctico de refrigeración automática*. Marcombo.
- CRN TECNOPART S.A. (2017). *TECNOPART*. Obtenido de TECNOPART: http://www.crntecnopart.com/images/pdf/ESP/catalog/dopres_es.pdf
- ELECTROINDUSTRIA. (Marzo de 2013). *ELECTROINDUSTRIA*. Obtenido de ELECTROINDUSTRIA: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2020>

- Feu, J. I. (2019). *Junta de Andalucía*. Obtenido de Junta de Andalucía: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700502/moodle/course/view.php?id=78>
- Fing, U. d. (Agosto de 2019). *Fing*. Obtenido de Fing: <https://ie.fing.edu.uy/ense/asign/iiee/Documentos/Teorico/Sobrecorrientes.pdf>
- GLISMAR. (2016). *GLISMAR*. Obtenido de GLISMAR: <http://glismar.com/automatizacion-y-control/>
- Gutiérrez, M., & Iturralde, S. (2017). *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control*. Santa Elena: UPSE.
- Health. (Mayo de 2011). *Washington State Department of Health*. Obtenido de Washington State Department of Health: <https://www.doh.wa.gov/portals/1/Documents/pubs/331-380s.pdf>
- Homer TLC. (2019). *Homer TLC*. Obtenido de Homer TLC: http://www.homedepot.com.mx/plomeria/tuberias-y-conexiones/valvulas-y-llaves/valvula-check-columpio-tipo-piston3-4-107454?productId=59506&pageGroup=CatalogEntry&errorViewName=ProductDisplayErrorView&DM_PersistentCookieCreated=true&storeId=10351&storeId=10
- INPROCESS. (2017). *INPROCESS*. Obtenido de INPROCESS: <https://inprocess.com.pe/product/manometro-leo-1-ei/>
- Jefferson. (2016). *Jefferson*. Obtenido de Jefferson: <http://www.jefferson.com.ar/en/down/Catalogo%20Neumatica-Hidraulica.pdf>
- KRIPAL. (2015). *KRIPAL*. Obtenido de KRIPAL: <http://spanish.industrialswitchsocket.com/sale-3524025-water-pump-3-wire-cable-float-level-switch-high-temperature-float-switch-3m-5m-10m.html>
- LEO GROUP. (2019). *CER*. Obtenido de CER: <https://cer.com.ar/producto/1885/tanque-hidroneumatico-esferico-leo-24-lts>
- lesa. (2015). *lesa*. Obtenido de lesa: <http://www.bombaslesa.com/sitio-wp/productos-por-marca-leo/>
- Lozada, J. (03 de Diciembre de 2014). *CIENCIAMÉRICA Universidad Tecnológica Indoamérica*. Obtenido de CIENCIAMÉRICA Universidad Tecnológica Indoamérica: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6163749.pdf>
- Madrigal, A. P. (2019). *INEA*. Obtenido de INEA: <http://lan.inea.org:8010/web/materiales/web/riego/anuncios/trabajos/grupos%20de%20bombeo%20actuales.pdf>

- MM, E. (2019). *ELECTROMECAÁNICA MM*. Obtenido de ELECTROMECAÁNICA MM: <https://www.electromecanicamm.com.ar/productos/accesorios-33/presostatos-294/>
- Mora Culqui, G. (Noviembre de 2013). *Biblioteca Digital EPN*. Obtenido de Biblioteca Digital EPN: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7066/1/CD-5245.pdf>
- Moreno Gil, J., Lasso Tarraga, D., & Fernández García, C. (2016). *Instalaciones eléctricas interiores*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Padilla, N. F. (Abril de 2000). *Repositorio Digital EPN*. Obtenido de Repositorio Digital EPN: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10552/1/T1593.pdf>
- PROINCO. (2017). *PROINCO*. Obtenido de PROINCO: <https://www.proinco.es/tubos-y-accesorios-inoxidable-sanitario/7180-racor-5-vias-de-acoplamiento-bombas-genebre-002018020667.html>
- PROMART. (2019). *PROMART*. Obtenido de PROMART: <https://www.promart.pe/valvula-compuerta-1-2-/p>
- PURIFICATEC. (2019). *PURIFICATEC*. Obtenido de PURIFICATEC: <http://www.purificatec.cl/producto/2806/vlvula-de-bola-1-14>
- REAICSA. (2013). *REAICSA*. Obtenido de REAICSA: <http://www.reaicsa.com/productos/laminas-de-acero-inoxidable/>
- RETENA S.A. (2019). *RETENA S.A.* Obtenido de RETENA S.A.: <https://retena.ec/>
- RS. (2019). *RS*. Obtenido de RS: <https://es.rs-online.com/web/p/contactores/3949807/>
- Ruiz, J. (2019). Obtenido de <https://w3.ual.es/~jmruiz/PRACTICA6.pdf>
- S7-1200, S. (Noviembre de 2009). *SIEMENS*. Obtenido de SIEMENS: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>
- Sanitarios Viamonte. (2019 de Agosto de 2019). *Sanitarios Viamonte*. Obtenido de Sanitarios Viamonte: <http://www.sanitariosviamonte.com.ar/detalle-producto/124148>
- ShareApps. (2019). *ShareApps*. Obtenido de ShareApps: <https://shareappscrack.com/tag/siemens-tia-portal-software/>
- SIEMENS. (10 de Agosto de 2019). *SIEMENS*. Obtenido de SIEMENS: https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/Documentacion-Didactica/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf
- SIMATIC. (Abril de 2011). *SIEMENS*. Obtenido de SIEMENS: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200%20Manual%20sistema%200411.pdf>

- SODIMAC. (2019). *SODIMAC*. Obtenido de SODIMAC: <https://www.sodimac.com.uy/sodimac-uy/product/2176173/disuntor-easy-9-de-6k-2p-16-a>
- Solé, A. C. (2005). *Instrumentación Industrial*. Marcombo.
- Support, I. O. (05 de Marzo de 2012). *Siemens*. Obtenido de Siemens: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/19292127/simatic-profinet-system-description?dti=0&lc=en-WW>
- Support, I. O. (14 de Agosto de 2017). *Industry Online Support*. Obtenido de Industry Online Support: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109739999/creación-de-visualización-de-recetas-estándar-e-imágenes-de-recetas-utilizando-wincc-\(tia-portal\)?dti=0&lc=es-PA](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109739999/creación-de-visualización-de-recetas-estándar-e-imágenes-de-recetas-utilizando-wincc-(tia-portal)?dti=0&lc=es-PA)
- TIA, P. (2011). *SIEMENS*. Obtenido de SIEMENS: https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/soluciones/Documents/314%20SCE%20-%20CF%20-%20TIA%20Portal.pdf
- UAB, U. A. (10 de Agosto de 2019). *VAM INDUSTRY*. Obtenido de VAM INDUSTRY: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v03.pdf
- UNED. (2019). *PAC Performance Center Adaptive*. Obtenido de PACPerformance Center Adaptive: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_I SE6_1_2.pdf
- Veloso, C. (9 de Marzo de 2016). *ETOOLS*. Obtenido de ETOOLS: <https://www.electrontools.com/Home/WP/2016/03/09/regulador-de-voltaje-7805/>

6. ANEXOS

ANEXO A: Hojas técnicas

ANEXO B: Diseño del módulo educativo

ANEXO C: Lista de materiales y costos

ANEXO D: Diseño del sistema biestable de presión

ANEXO E: Algoritmo de control del sistema biestable de presión

ANEXO F: Diagrama de conexión del sistema biestable de presión

ANEXO G: Manual de usuario

ANEXO H: Certificado de donación

ANEXO A
HOJAS TÉCNICAS

Tabla A.1: Especificaciones básicas del módulo PLC

PLC-S7 1200		
		
FUNCIÓN	ESPECIFICACIÓN	
Propiedades de la CPU		
Dimensiones físicas	9x10x7,5 [cm]	
Memoria de usuario	Trabajo	25KB
	Remanente	2KB
	Carga	1MB
ENTRADAS (I) /SALIDAS (Q) incorporadas	Digital	8I / 6Q
	Analógico	2I
Capacidad de memoria de proceso	Entradas	1024 bytes
Área de marcas (M)	4096 bytes	
Ampliación con módulo de señales	2	
Signal Board (SB) o placa de comunicación	1	
Módulo de comunicación (CM)	3	
Contadores rápidos	4 fase simple (3 a 100 [kHz] y 1 a 30 [kHz])	
Generadores de impulsos	2	
Velocidad de procesamiento de funciones matemáticas con reales	18 [μs] p/c instrucción	
Velocidad de ejecución booleana	0,1 [μs] p/c instrucción	

Interfaz de comunicación Profinet	1 puerto ETHERNET con velocidad de transferencia de datos de 10 a 100 [Mb/s]	
Suministro eléctrico		
Rango de tensión	85 - 264 [V _{AC}]	
Frecuencia	47 - 63 [Hz]	
Intensidad de entrada (carga máxima)	Sólo CPU	80 [mA] a 120 [V _{AC}]
		40 [mA] a 120 [V _{AC}]
Alimentación de sensores		
Rango de tensión	20,4 a 28,8 [V _{DC}]	
Corriente de salida nominal	300 [mA]	
Entradas digitales		
Tensión y corriente nominal	24 [V _{DC}] a 4 [mA]	
Entradas analógicas		
Rango	0 - 10 [V _{DC}]	
Rango total (palabra de datos)	0 - 27648	
Resolución	10 bits	
Salidas digitales		
Rango de tensión	5 a 30 [V _{DC}] y 5 a 250 [V _{AC}]	
Corriente máxima	2 [A]	

ANEXO B
DISEÑO DEL MÓDULO EDUCATIVO

ANEXO C
LISTA DE MATERIALES Y COSTOS

ANEXO D
DISEÑO DEL SISTEMA BIESTABLE DE PRESIÓN

ANEXO E
ALGORITMO DE CONTROL DEL SISTEMA BIESTABLE DE PRESIÓN

ANEXO F
DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SISTEMA BIESTABLE DE PRESIÓN

ANEXO G
MANUAL DE USUARIO

○ **MANUAL DE USO DEL SISTEMA BIESTABLE DE PRESIÓN**



Figura G.1: Operación del sistema biestable de presión

Para cargar en la memoria de la CPU la información del proyecto es necesario establecer un enlace online entre la CPU y el PLC, para ello se deberán seguir los pasos que se describen a continuación:

1. Iniciar desde el escritorio o desde una ruta específica de la PC con Siemens TIA PORTAL V15 el programa base correspondiente a la unidad didáctica denominado “Sistema de control biestable de presión”.
2. Realizar las respectivas conexiones entre las borneras de entradas/salidas del módulo PLC, los terminales que accionan los dispositivos del sistema de control de presión y la fuente principal de alimentación de acuerdo al diagrama de la Lámina 8 del Anexo F.

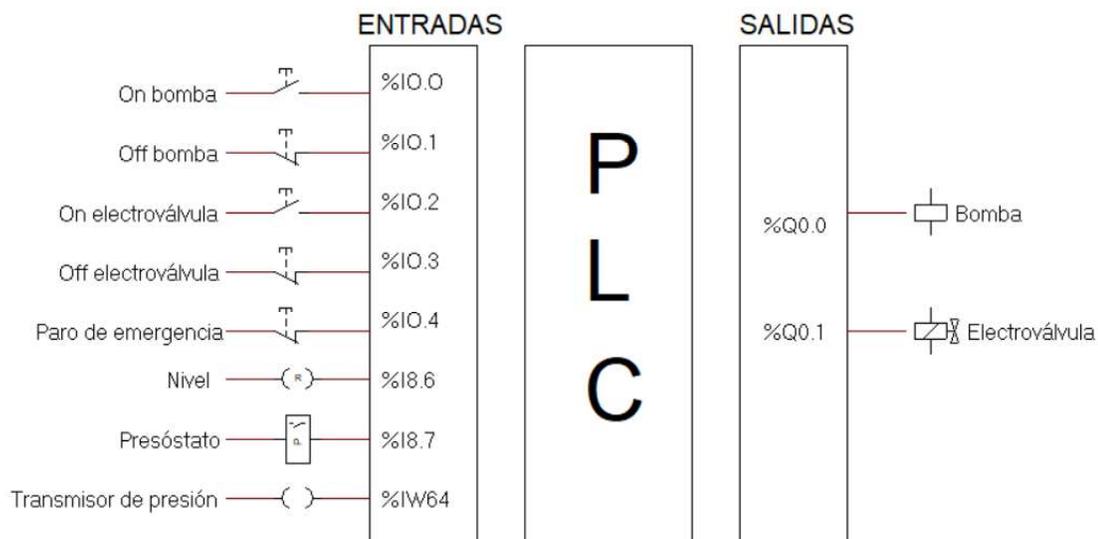


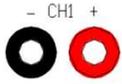
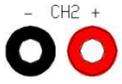
Figura G.2: Diagrama de entradas y salidas del sistema biestable de presión

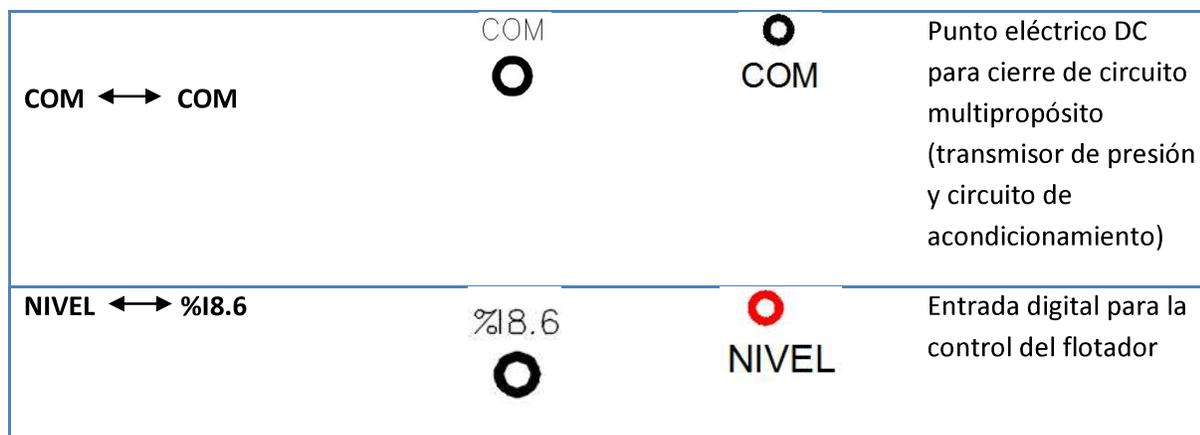
A continuación, se indica detalladamente las interconexiones entre las salidas del PLC Y los terminales eléctricos (borneras) de la caja principal del sistema de control de presión.

Atención: Obligatoriamente cumplir con el esquema de conexiones indicado, un descatto pondría poner en riesgo el sistema y posiblemente a corto plazo comprometerá el estado físico de los diferentes dispositivos de la unidad de control.

Tabla G.1: Resumen de conexiones del sistema biestable de presión

Interconexión	Nomenclatura fuente de alimentación, E/S PLC	Nomenclatura caja de conexiones del sistema de control de presión	Función
L1 - L2 - L3 - N ↔ R - S - T - N	N L1 L2 L3	R S T N	Alimentación trifásica del sistema de presión
L1 - L2 ↔ L1- L2	L1 L2	L1 L2	Fuente de alimentación del sistema de presión con dos fases adicionales para activación de componentes

L2 ↔ 1L	 L2	 1L	Fase compartida para energización de salidas del PLC
BOMBA ↔ %Q0.0	%Q0.0 	 BOMBA	Salida digital del PLC para activación de la bomba
ELECTROVÁLVULA ↔ %Q0.1	%Q0.1 	 ELECTROVÁLVULA	Salida digital del PLC para activación de la electroválvula
TRANSMISOR ↔ %IW64	%IW64 	 TRANSMISOR	Entrada análoga para recepción de datos del transmisor de presión
PRESÓSTATO ↔ %I8.7	%I8.7 	 PRESÓSTATO	Entrada digital destinada para la activación del interruptor de presión
+12V ↔ Fuente regulable de tensión DC		 +12V	Conexión de fuente de voltaje para polarización de amplificadores operacionales del circuito de acondicionamiento
-12V ↔ Fuente regulable de tensión DC		 -12V	Conexión de fuente de voltaje para polarización de amplificadores operacionales del circuito de acondicionamiento
24V ↔ 24V	24V 	 24V	Fuente de alimentación para el transmisor de presión



3. Conectar el cable de red ETHERNET en puertos correspondientes de la PC y el PLC para establecer comunicación
4. Arrancar la CPU
5. Configurar la red local ISO asignando una dirección IP para el PC/PG, la interfaz Ethernet del computador en esta situación deberá estar en la misma banda IP del PLC.
6. Desplegar el árbol del proyecto, buscar el directorio de bloques de programa y seguir la rutina normal de compilación y carga del programa al PLC.
7. Dependiendo del modo de funcionamiento, si es manual entregar el pulso de arranque local o remoto para la activación del sistema, si es automático introducir un valor numérico de set point de presión para obedecer las condiciones de operación establecidas.

○ PRECAUCIONES GENERALES DE SEGURIDAD

Estas precauciones de seguridad se han preparado pensando en brindar ayuda y asistencia al usuario. Toda persona que manipule el sistema de control debe leer previamente dichas precauciones antes de la puesta en funcionamiento o realización de tareas de mantenimiento. El incumplimiento del instructivo de seguridad puede causar falencias en los componentes del sistema, así como causar lesiones.

- **Seguridad personal:** Evitar movimientos altamente bruscos ya que pueden ser causa de caídas y ocasionar la pérdida de dispositivos. Tener en cuenta que el sistema funciona con alimentación trifásica (alta tensión), para ello se deberán considerar las normas eléctricas de seguridad pertinentes. Pese a que el sistema es fácilmente transportable, no está por demás hacerlo con cuidado, existe riesgo de aplastamiento.

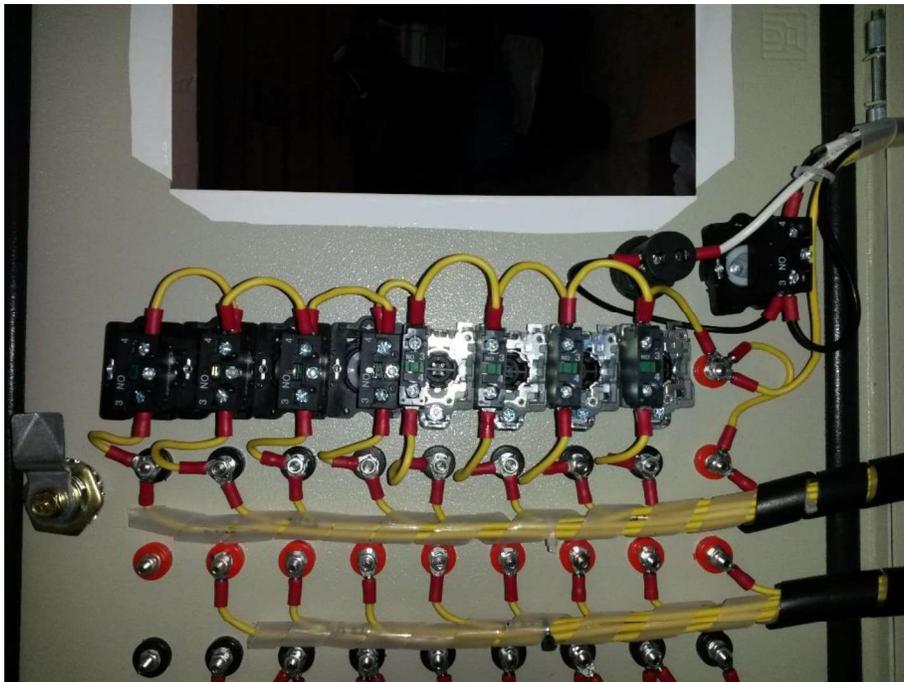
- **Seguridad en la zona de uso:** Mantener la zona de trabajo limpia y libre de líquidos.
- **Seguridad en la puesta en marcha:** Siempre cerciorarse antes de poner en funcionamiento el diagrama de conexiones del sistema. Tener presente que una conexión defectuosa puede generar cortocircuitos que afectarán a los dispositivos. Evitar abrir las cajas de conexiones del sistema cuando éste se encuentra trabajando, un descuido puede causar lesiones por contacto eléctrico (principalmente borneras). Evitar mover del sitio de trabajo cuando el sistema está operando.
- **Seguridad en labores de mantenimiento:** Tomar las debidas precauciones antes de realizar mantenimientos, ya sean correctivos o preventivos. Como fundamento para realizar estos trabajos siempre el sistema debe estar desconectado.

○ **MANUAL DE MANTENIMIENTO**

Para garantizar un buen funcionamiento de los dispositivos que constituyen los módulos, mejorar la optimización de los recursos, extender su vida útil y mantener las condiciones de seguridad es indispensable elaborar un programa de mantenimiento preventivo en donde se consignen todas las normas y procedimientos que se deben ejecutar. De esta manera en los siguientes cuadros se presentan las tareas de mantenimiento preventivo para el módulo PLC y el sistema de control biestable de presión.

 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS (ESFOT) GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO 	
EQUIPO: Módulo PLC	
INTERVALO DE MANTENIMIENTO: Trimestral	
MATERIALES Y HERRAMIENTAS <ol style="list-style-type: none"> 1. Juego de destornilladores punta plana y estrella 2. Llave hexagonal o dado #8 3. Multímetro 4. Pinza 5. Paños de limpieza 6. Brocha 7. Líquido para limpieza de placas electrónicas y aire comprimido (opcional) 	
PROCEDIMIENTO <ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar el selector del módulo PLC en modo OFF y desconectar el cable de la alimentación eléctrica por medio de la clavija (es facultativo bajar o desactivar los breakers) 	
	

2. Ajustar los tornillos con sus respectivos cables de conexión con las E/S del CPU
3. Ajustar los tornillos y tuercas de las borneras tipo Jack con los terminales de los cables de conexión interna con la CPU



4. Realizar pruebas de continuidad entre los terminales propios del PLC y las borneras de conexión exterior
5. Limpiar suavemente el exterior del armario con un paño seco y la parte interna (preferiblemente con aire comprimido) para eliminar partículas de polvo acumulado. Además, limpiar la placa electrónica para acondicionamiento de señales de voltaje. Comprobar los niveles de tensión en bornes de salida

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</p> <p>ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS (ESFOT)</p> <p>GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</p> </div>  </div>
<p>EQUIPO: Sistema de control biestable de presión</p> <p>INTERVALO DE MANTENIMIENTO: Trimestral</p>
<p>MATERIALES Y HERRAMIENTAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Juego de destornilladores punta plana y estrella 2. Llaves hexagonales o dados #8 a #13 3. Multímetro 4. Alicata 5. Paños de limpieza 6. Brocha 7. Líquido para limpieza de placas electrónicas y aire comprimido (opcional) 8. Recipientes pequeños para llenado de agua
<p>PROCEDIMIENTO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desconectar completamente el sistema de la fuente de alimentación 2. Limpiar el tanque reservorio, para ello se seguirán los siguientes pasos: <ul style="list-style-type: none"> • Abrir la tapa superior del tanque, extrayendo los tornillos de los ángulos de sujeción. <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <ol style="list-style-type: none"> • Cerrar la válvula de bola para apartar la bomba del tanque para efectuar tareas de limpieza • Vaciar el tanque: Abrir la llave de desfogue ubicada en la parte inferior derecha del depósito y dejar que el agua descienda por gravedad hasta que llegue al nivel mínimo. El remanente de agua será extraído del

tanque por medio de cubetas plásticas pequeñas.



- Limpiar las paredes internas y el fondo del tanque con ayuda de un cepillo de plástico y paños. Esta tarea se realizará cuidadosamente para asegurar la permanencia de la estanqueidad del tanque.

Precaución: En caso de usar líquidos que generen espuma o detergentes, enjuagar y eliminar los residuos en su totalidad. Evitar por completo el uso de líquidos abrasivos o corrosivos que ataquen al acero.

3. Una vez limpio y seco el depósito, inspeccionar la existencia de grietas o fisuras (en el remoto caso de encontrarlas se deberán sellar con masilla)



4. Llenar el tanque con agua limpia hasta el nivel referencial (línea superior de la canaleta ubicada dentro del reservorio) y verificar que el flotador se encuentre en posición semi-sumergida, vertical y perpendicular al nivel del agua.
5. Colocar nuevamente la tapa superior del tanque con los elementos de fijación.



6. Apretar las tuercas de las borneras en las cajas de conexión eléctrica.
7. Comprobar visualmente el estado del cableado eléctrico
8. Realizar pruebas de continuidad entre los terminales de la caja de conexión y los distintos dispositivos de mando y accionamiento.



9. Limpiar la tarjeta electrónica para acondicionamiento de señales análogas.
10. Verificar la generación de ruidos y vibraciones de la bomba.
11. Verificar la existencia de fugas en la red de tuberías, uniones y acoples.

- Detección, diagnóstico y corrección de averías.

La determinación de fallas tiene como objeto establecer las causas por las cuales se ha provocado un inconveniente sistemático para adoptar medidas de rectificación. Las implementaciones no están exentas de sufrir percances, para ello se ha dispuesto esta sección con el fin dar solución a las fallas que pudieren presentarse, su posible causa y las acciones correctivas específicas a realizar.

TABLA DE LOCALIZACIÓN DE FALLAS

MÓDULO PLC



PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN CORRECTIVA
CPU no enciende	Cable de poder defectuoso	Cambiar el cable de poder
	Incorrecta inserción de la clavija del cable de alimentación a la toma de corriente o hacia la toma del módulo	Apretar en los puntos extremos del cable de poder con las tomas correspondientes
	Interruptor de encendido y apagado defectuoso	Reemplazar el interruptor
	Disyuntor en estado inactivo	Conmutar el disyuntor a modo activo
CPU en "error" (luz roja e intermitente)	Configuración de hardware fallida	Cargar configuración de hardware desde TIA PORTAL
CPU en "stop" (luz naranja e intermitente)	Pausa del programa y simulación forzada	Arrancar el programa desde TIA PORTAL
CPU incapaz de receptar y procesar señales de entrada análogas y digitales	Fusible de fuente a 24 V _{DC} quemado	Reemplazar la protección
	Pulsadores y/o selectores defectuosos	Sustituir los dispositivos de mando
	Cable de distribución de tensión a 24 V _{DC} desconectado	Comprobar continuidad en el cable, apretar los terminales
	Cable de distribución de tensión a 24 V _{DC} deteriorado	Comprobar continuidad en el cable, sustituirlo por uno nuevo
	Cables de bornera flojos	Apretar los terminales con las tuercas correspondientes
	Cables de borneras dañados	Reemplazar los cables

No se activan las salidas digitales del CPU	Fusible quemado	Cambiar el fusible
	Cables de conexión hacia las salidas digitales del CPU flojos o cables de contacto con borneras insuficientemente ajustados	ajustar los cables con el tornillo del CPU, apretar los terminales con las tuercas correspondientes de las borneras
	Cables defectuosos	Realizar pruebas de continuidad, cambiar los cables
	El algoritmo de control no está asociado a la dirección de una salida física	Comprobar el algoritmo de control
Imposibilidad de realizar enlace de comunicación PC – PLC	Cable Ethernet deteriorado	Sustituir el cable de red
	Puerto de red RJ45 averiado	Cambiar el puerto
	Incorrecta asignación de direcciones IP (PC - PLC)	Asignar diferentes direcciones IP entre dispositivos PC – PLC
No funcionan los voltímetros digitales	Cable de energización suelto del circuito de regulación	Ajustar los terminales a las borneras correspondientes
	Voltímetros defectuosos	Reemplazar los voltímetros
	Fallas en el circuito de regulación de tensión	Verificar componentes del circuito, de ser necesario reemplazarlos
No es posible regular las fuentes de voltaje	Cables desajustados	Apretar los cables a las borneras del circuito
	Potenciómetros defectuosos	Reemplazar los potenciómetros
	Falla en el circuito de regulación	Verificar estado de resistencias, de ser necesario suplirlas

SISTEMA DE CONTROL BIESTABLE DE PRESIÓN



PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN CORRECTIVA	
No se activa la bomba	Disyuntor en modo inactivo	Activar la protección	
	Guardamotor desactivado	Poner el guardamotor en posición ON	
	Falla en los enclavamientos del contactor	Comprobar el estado del cable de conexión PLC - Bomba (caja de terminales)	Verificar la conexión desde la caja de terminales del sistema de presión hacia el contactor
		Probar la bobina del contactor y sus contactos. Si el daño persiste cambiar el contactor	

No se activa la bomba	Voltaje nominal reducido	Verificar el voltaje de alimentación
	Sobrecalentamiento del motor	Revisar el sistema de ventilación y el voltaje de alimentación
Ruidos exagerados en la bomba	La bomba no está cebada correctamente (luego de la rutina de mantenimiento)	Realizar de manera correcta el proceso de cebado
	La bomba posee juegos internos	Revisar la bomba (especialmente el difusor)
Luces de indicación ON/OFF de la bomba no funcionan	Luces piloto quemadas	Cambiar luces piloto
Deficiente acumulación de presión	Tanque hidroneumático descargado	Recargar el colchón de aire
	Tuberías ocluidas	Revisar por secciones y destaponar las tuberías
No es posible descargar líquido por las tuberías de baja presión	Tuberías ocluidas	Revisar por secciones y destaponar las tuberías
No es posible descargar líquido por el sistema de válvulas	Electroválvula obstruida	Desarmar y limpiar la electroválvula
	Válvula manual de compuerta para perturbación obstruida	Desarmar y limpiar la válvula de compuerta
Nivel de voltaje inadecuado en la entrada análoga del PLC	Cable de conexión bornera transmisor - entrada análoga PLC %IW64 defectuoso	Cambiar el cable de conexión
	Problemas en el circuito para acondicionamiento de señal del transmisor	Revisar el circuito. Examinar las etapas de amplificación con CI 741, de ser necesario reemplazarlos

	Desajuste de datos de entrada del bloque de normalización y escalamiento	Ajustar con los nuevos valores de voltaje
El presóstato no desactiva el proceso cuando se alcanza la máxima presión	Cable de conexión PLC - bornera de presóstato suelto o dañado	Revisar la conexión. Verificar continuidad del cable, reemplazar el cable
	Desajuste del tornillo de regulación de presión	Ajustar el tornillo de regulación de presión
El flotador no desenergiza el sistema cuando se alcanza el nivel mínimo	Cable de conexión PLC - bornera de flotador suelto o dañado	Revisar la conexión. Verificar continuidad del cable, reemplazar el cable
	Sensor de flotación averiado	Cambiar el sensor flotador
Fugas en el tanque reservorio	Golpes o apertura forzosa del tanque	Rellenar las fisuras del taque con resina sintética
No se desplaza las aguja de manómetro cuando existe acumulación de presión	Manómetro dañado	Cambiar el manómetro

ANEXO H
CERTIFICADO DE DONACIÓN