

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL BIESTABLE Y MEDICIÓN DE CAUDAL

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

GUAYASAMÍN VILAÑA CARLOS ANDRÉS

andrus1794@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. ALAN CUENCA Msc.

alan.cuenca@epn.edu.ec

COORDIRECTOR: Ing. CARLOS ROMO

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, Diciembre 2019

DECLARACIÓN

Yo, Guayasamín Vilaña Carlos Andrés declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he 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-, soy titular de la obra en mención y otorgo una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaré 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.

Carlos Andrés Guayasamín Vilaña

CI: 1725267155

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por CARLOS ANDRÉS GUAYASAMÍN VILAÑA, bajo nuestra supervisión.

Ing. Alan Cuenca MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Carlos Romo MSc.

COORDIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis objetivos más deseados.

A mi madre Carmen y a mis abuelos Rosita y Cesar, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy ahora. Ha sido un orgullo ser su hijo, son los mejores padres y siempre los serán.

A mis hermanos Kevin, Patricio, Kerly y Stefany por estar siempre presentes, por su cariño y apoyo incondicional que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Finalmente quiero dedicar este proyecto a todas las personas que me han apoyado y han hecho que este proyecto se realice con éxito especialmente a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Andrés Guayasamín V.

AGRADECIMIENTO

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas, compañeros y amigos me han prestado durante el proceso de investigación, construcción y redacción de este proyecto. En primer lugar, agradecer a Dios por brindarme la salud, sabiduría y todas sus bendiciones para culminar con mi carrera.

A mi madre Carmen quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades.

A mis abuelos Rosita y Cesar, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Mi profundo agradecimiento al Ing. Alan Cuenca, principal colaborador durante este proceso, quien, con su dirección, conocimientos, enseñanzas y colaboración hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias por su paciencia, dedicación y apoyo incondicional para el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimientos. Al cuerpo de docencia de la Escuela de Formación de Tecnólogos que, con su sabiduría, conocimientos y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

Finalmente, mi agradecimiento a todos, mi familia, mis amigos quede una u otra manera me brindaron su colaboración y se involucraron en este proyecto.

Andrés Guayasamín V.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	3
• Objetivo General	3
• Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	4
2.1 Tipo de investigación.....	4
CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	6
3.1 Diseño de la planta didáctica de control de nivel	6
• Controlador SIMATIC S7-1200.....	6
• Expansión de la capacidad de la CPU	7
• Diseño de planos esquemáticos.....	11
3.2 Medición de caudal (Sensor de flujo YF-S201).....	12
3.3 Construcción del sistema	12
3.4 Algoritmo de control e interfaz Humano-Máquina HMI.....	26
• Requerimientos	26
• Tabla de variables.....	27
• Programación	29
• Interfaz Humano Máquina HMI	30
3.5 Pruebas de funcionamiento	34
• Configuración del módulo de expansión SM 1222	34
• Módulo: transmisor de nivel.....	37
• Módulo: transmisor de flujo	39
• Funcionamiento planta de control.....	45
3.6 Prácticas	46
CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
4.1 Conclusiones.....	47
4.2 Recomendaciones	48
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 3

Figura 3. 1 Condiciones de montaje del PLC S7-1200 y módulos de señal, [11].....	8
Figura 3. 2 Montaje del SM 1222.....	9
Figura 3. 3 Disposición en el tablero para el módulo SM 1222.....	9
Figura 3. 4 Colocación de los terminales eléctricos.....	10
Figura 3. 5 Bomba periférica 0.5 [HP].....	13
Figura 3. 6 Electroválvula solenoide.....	14
Figura 3. 7 Luz piloto 220/240 [V] AC.....	14
Figura 3. 8 Selector 3 posiciones CAMSCO.....	15
Figura 3. 9 Pulsador plástico CAMSCO.....	15
Figura 3. 10 Pulsador tipo hongo CAMSCO.....	15
Figura 3. 11 Sensor de nivel de tipo flotador.....	16
Figura 3. 12 Contactor electromagnético.....	16
Figura 3. 13 Relé de 8 pines 110 [V].....	17
Figura 3. 14 Sensor ultrasónico HC-SR04.....	17
Figura 3. 15 Sensor de flujo YF-S201.....	18
Figura 3. 16 Arduino UNO.....	18
Figura 3. 17 Estructura de la planta.....	19
Figura 3. 18 Ensamblaje de contenedores.....	19
Figura 3. 19 Montaje de los contenedores.....	20
Figura 3. 20 Montaje bombas de agua.....	20
Figura 3. 21 Instalación de las tuberías.....	21
Figura 3. 22 Montaje de elementos de maniobra.....	21
Figura 3. 23 Perforación del panel de control.....	22
Figura 3. 24 Conexión de relés y Contactores electromagnéticos.....	22
Figura 3. 25 Conexión de borneras y pulsadores.....	23
Figura 3. 26 Ubicación de los sensores de nivel.....	23
Figura 3. 27 Conexión del sensor ultrasónico.....	24
Figura 3. 28 Conexión del sensor de flujo.....	24
Figura 3. 29 Activación de actuadores.....	25
Figura 3. 30 Planta de control de nivel y medición de caudal.....	25
Figura 3. 31 Lenguaje FBD.....	26

Figura 3. 32 Diagrama de flujo del sistema de control	30
Figura 3. 33 Pantalla inicial HMI	30
Figura 3. 34 Pantalla modo automático	31
Figura 3. 35 Pantalla modo manual.....	31
Figura 3. 36 Registro de curvas	32
Figura 3. 37 Conexión entre el PLC Y el ordenador	35
Figura 3. 38 Configuración del SM 1222	36
Figura 3. 39 Luz indicadora SM 1222	36
Figura 3. 40 Activación de las salidas del SM 1222	37
Figura 3. 41 Algoritmo de control sensor de nivel	38
Figura 3. 42 Calibración del sensor ultrasónico	39
Figura 3. 43 Ubicación del sensor de flujo	40
Figura 3. 44 Algoritmo de control Caudalímetro	40
Figura 3. 45 Visor de caudal.....	41
Figura 3. 46 Curva de rendimiento, [15]	41
Figura 3. 47 Caudal teórico de la bomba.....	44
Figura 3. 48 Medida de caudal.....	44
Figura 3. 49 Pruebas del sistema de control.....	45
Figura 3. 50 Diagrama I/O del PLC	45

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 3

Tabla 3. 1 Características principales PLC S7-1200, [10]	6
Tabla 3. 2 Expansiones del CPU, [10]	7
Tabla 3. 3 Módulos de salidas digitales, [10].....	7
Tabla 3. 4 Detalles de los dispositivos de protección	10
Tabla 3. 5 Variables del sistema de nivel y medición de caudal.....	27
Tabla 3. 6 Variables HMI	32
Tabla 3. 7 Direcciones IP de los elementos del sistema de control	34
Tabla 3. 8 Accesorios hidráulicos del sistema de control	43
Tabla 3. 9 Check list de pruebas de funcionamiento	46

RESUMEN

Se diseñó y construyó un sistema de control de nivel y medición de caudal con un controlador lógico programable (PLC) y un módulo de salidas digitales para el laboratorio de Tecnología Industrial de la Escuela de Formación de Tecnólogos con el fin de capacitar a los estudiantes, tomando en cuenta en su construcción aspectos como normativa, organización y correcta conexión de los diferentes elementos que conforman el sistema de control.

El sistema se compone de dos tanques comunicados entre sí por tuberías, un tanque de control en el que se comanda las variables físicas de nivel y caudal y un segundo tanque de reserva desde el cual se suministra el líquido. Para realizar el control de nivel del líquido el sistema cuenta con electroválvulas todo o nada, sensores e instrumentos de maniobra, además posee dos bombas periféricas instaladas que son las encargadas de trasladar el líquido hacia el tanque de control en donde va a ser monitoreado a través de un sensor ultrasónico colocado en la parte superior del tanque, el retorno del líquido al tanque de reserva se lo realiza por la misma bomba y con ayuda de las electroválvulas, formando así un circuito hidráulico cerrado.

Para la medición de caudal el sistema cuenta con un caudalímetro instalado en la tubería que va desde el tanque de reserva hacia el tanque de control, además de una válvula de compuerta manual que regula el caudal en la tubería.

El control de nivel de líquido se realizó mediante un PLC, SIEMENS S7-1200 y un módulo de salidas digitales SM 1222 que en base a la señal analógica del sensor ultrasónico y al algoritmo de control activan las bombas y las electroválvulas logrando así un control de la variable. Todo el proceso es controlado y monitoreado de forma eficiente mediante una interfaz humano-máquina (HMI).

Los algoritmos de control y la interfaz humano-máquina HMI para el PLC se realizaron a través del software Portal TIA V15 de SIEMENS.

En este sistema, los estudiantes de la carrera de Tecnología en Electromecánica de la Escuela de Formación de Tecnólogos podrán realizar prácticas de laboratorio de control, medición y monitoreo de variables físicas tanto de nivel como de caudal, de igual manera podrán diseñar algoritmos de control más complejos que demande la utilización de hasta 14 salidas digitales.

ABSTRACT

A level control and flow measurement system was designed and constructed with a programmable logic controller (PLC) and a digital output module for the Industrial Technology laboratory of the School of Technologists Training in order to train students, taking into account in its construction aspects such as regulations, organization and correct connection of the different elements that make up the control system.

The system consists of two tanks connected to each other by pipes, a control tank in which the physical level and flow variables are commanded and a second reserve tank from which the liquid is supplied. To perform the liquid level control the system has all or nothing solenoid valves, sensors and maneuvering instruments, it also has two peripheral pumps installed that are responsible for transferring the liquid to the control tank where it will be monitored through of an ultrasonic sensor placed in the upper part of the tank, the return of the liquid to the reserve tank is carried out by the same pump and with the help of the solenoid valves, thus forming a closed hydraulic circuit.

For the flow measurement the system has a flow meter installed in the pipeline that goes from the reserve tank to the control tank, in addition to a manual gate valve that regulates the flow rate in the pipeline.

The liquid level control was carried out by means of a PLC, SIEMENS S7-1200 and a digital output module SM 1222 that, based on the analog signal of the ultrasonic sensor and the control algorithm, activate the pumps and solenoid valves, thus achieving a control of the variable. The entire process is controlled and monitored efficiently through a human-machine interface (HMI).

The control algorithms and the HMI human-machine interface for the PLC were carried out through the SIEMENS TIA V15 Portal software.

In this system, the students of the Electromechanical Technology degree at the Technologists Training School will be able to carry out laboratory practices for the control, measurement and monitoring of physical variables of both level and flow, in the same way they will be able to design control algorithms, complexes that demand the use of up to 14 digital outputs.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) a lo largo de la historia han presentado un papel muy importante en el área industrial, en los procesos de manufactura, ensamblaje, producción, etc., haciendo imprescindible la medición y control de las diferentes variables físicas (temperatura, nivel, caudal, etc.). Además, los dispositivos de control y automatización en las grandes industrias ofrecen al usuario distintas características dependiendo de la demanda del proceso a automatizar.

Una de las características más importantes es que el controlador disponga de varias salidas digitales para controlar los diferentes actuadores que tiene el proceso industrial, es por ello que cada controlador dispone de una variedad de módulos de expansión para complementar al PLC y que éste satisfaga la necesidad del proceso.

El presente trabajo tiene como objetivo el complementar el CPU 1212C AC/DC/RELAY del PLC S7-1200 que se dispone en el Laboratorio de Tecnología Industrial de la Escuela de Formación de Tecnólogos con un módulo de salidas digitales SM 1222 logrando así disponer de 8 salidas digitales extras que ayudarán al estudiante que cursa la carrera de Tecnología en Electromecánica desarrollar y diseñar algoritmos de control más complejos que demanden la utilización de hasta 14 salidas digitales.

Además, la construcción de un sistema didáctico de control de nivel y medición de caudal facilitará el estudio de medición y control de variables físicas reales y el manejo del módulo de expansión SM 1222 del PLC.

1.1 Planteamiento del Problema

El Laboratorio de Tecnología Industrial de La Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT) cuenta con módulos PLC (Controlador Lógico Programable), los cuales ayudan a los estudiantes de la carrera de Tecnología en Electromecánica a realizar prácticas de control industrial. Los PLC's cuentan con 8 entradas y 6 salidas digitales, los cuales limitan a los estudiantes a trabajar con un determinado número de salidas digitales.

Los PLC's se utilizan para la automatización industrial, para controlar el funcionamiento de diversas máquinas, actuadores, plantas y procesos industriales. Los controladores programables reciben y procesan señales analógicas y digitales y en base a estas señales aplican estrategias de control. [1]

El número de salidas digitales que disponen los PLC's del Laboratorio de Tecnología Industrial son mínimos comparados con los sistemas más complejos de control de los procesos industriales a escala real. Hoy en día en las grandes industrias la automatización de procesos ha ayudado al funcionamiento óptimo de los mismos mejorando así la calidad y reduciendo los costos de producción. [2]

Por este motivo a través del presente proyecto se establece la utilización de 14 salidas digitales mediante un módulo de expansión para la realización de prácticas de procesos de control mucho más complejas y con un número más amplio de salidas digitales.

Las prácticas que se han realizado hasta ahora solo permiten el control de sistemas sencillos que demandan pocas salidas digitales, es por eso que además con este proyecto de titulación se logrará implementar prácticas que demanden un número más amplio de salidas digitales por medio de un sistema de control de nivel biestable y medición de caudal.

1.2 Justificación

Toda industria funciona a base de procesos, ya sean de: producción, ensamblaje, etc., por lo tanto, la automatización de estos procesos es muy común hoy en día. Los PLC's pueden considerarse el cerebro de un proceso industrial, ya que, son los encargados de recibir y procesar la información de las entradas analógicas o digitales y mediante un algoritmo lógico ejecutar las estrategias, tomar decisiones y enviar órdenes a los diferentes dispositivos de control o actuadores conectados a su salida. [3]

El PLC S7-1200 que se dispone en el Laboratorio de Tecnología Industrial cuenta con 6 salidas digitales lo cual establece un límite al estudiante para realizar prácticas destinadas al control y monitoreo de un proceso. En el mercado existen PLC's que cuentan con más salidas digitales debido a que cuentan con módulos de expansión sin embargo su precio es excesivamente alto.

Es por ello que se plantea la utilización de un módulo de expansión de salidas digitales SM 1222 [4] en el PLC S7-1200 para disponer 14 salidas digitales. Esto permitirá que los estudiantes de la carrera de Tecnología en Electromecánica desarrollen prácticas que conlleven a utilizar una mayor cantidad de salidas digitales y algoritmos de control mucho más complejos.

Adicionalmente, para justificar la necesidad de utilizar un mayor número de salidas digitales se diseñará y construirá un sistema de control de nivel biestable y medición

de caudal. Para la implementación de este sistema de control se aplicarán conocimientos fundamentales adquiridos en la carrera de Tecnología en Electromecánica en las áreas de Bombas y compresores, Instrumentación y Control Industrial.

1.3 Objetivos

- **Objetivo General**

Construir un sistema de control de nivel biestable y medición de caudal.

- **Objetivos Específicos**

- Diseñar una planta didáctica de control de nivel biestable utilizando entradas y salidas digitales.
- Utilizar un sistema básico de medición de caudal en la planta desarrollada.
- Implementar el sistema de control de nivel biestable y medición de caudal utilizando las salidas del PLC y del módulo de expansión de salidas digitales SM 1222.
- Desarrollar algoritmos de control y una interfaz Humano-Máquina (HMI) para controlar el sistema de forma eficiente.
- Validar el sistema de control desarrollado ejecutando pruebas de funcionamiento.
- Realizar dos hojas guías de laboratorio orientadas al manejo del sistema de control construido.
- Elaborar un manual de usuario.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

Este proyecto se realizó en base a dos tipos de investigación: Aplicada y Experimental.

Al ser un tema teórico práctico la investigación aplicada y experimental son una buena metodología para la realización del mismo. Se aplicaron los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera de Tecnología en Electromecánica, además se analizó y estudio nuevos conceptos, mecanismos y/o estrategias que permitieron la realización del sistema de control de nivel y medición de caudal utilizando el PLC S7-1200 con el módulo de salidas digitales SM 1222.

El estudio experimental se lo llevó a cabo durante el control y medición de las variables de nivel y caudal, debido a que se realizó la calibración del sistema.

Se diseñó un sistema de control de nivel biestable en base a los planos esquemáticos desarrollados en el software AUTOCAD utilizando normas técnicas, específicamente la norma ISA-S5.1 [5]. La planta dispone pulsadores, sensores e interruptores (entradas digitales) además de varios actuadores (luces piloto, electroválvulas y dos bombas de agua) para de esta manera utilizar las salidas tanto del PLC S7-1200 y del módulo de expansión SM1222.

Para la medición de caudal se utilizó un sensor de flujo YF-S201, éste envía pulsos eléctricos a un módulo Arduino, en el cual se desarrolló un programa para realizar el respectivo acondicionamiento de la señal de entrada a una salida de voltaje estandarizada en función del caudal medido [6].

En base a los diagramas esquemáticos desarrollados se construyó la planta de control de nivel biestable y medición de caudal. El sistema permite manejar el llenado y vaciado de dos tanques a través de dos bombas periféricas y electroválvulas colocadas en las tuberías en función del nivel del líquido medido a través de sensores interruptores tipo flotador. [7]

Para el control biestable se estableció una banda de histéresis o seguridad para evitar daños en los actuadores.

La acción de control biestable se desarrolló empleando el lenguaje FBD en el software TIA Portal V15 de SIEMENS, además se diseñó una interfaz Humano-Máquina (HMI) la cual permite el monitoreo y control eficiente del sistema de nivel y medición de caudal.

Una vez desarrollado el algoritmo de control y la interfaz Humano-Máquina HMI, se realizó el montaje y comunicación entre el PLC y el sistema de control para su posterior etapa de pruebas de funcionamiento.

Para comprobar el funcionamiento del sistema de control se activaron las salidas digitales del módulo de expansión y se realizaron pruebas de comunicación con el PLC. Además, se tomaron medidas de nivel y caudal para comprobar los circuitos de acondicionamiento de los sensores los cuales proveen valores de voltaje normalizados de 0 [V] a 5 [V]. Adicionalmente se comprobó el correcto accionamiento de los distintos actuadores (luces piloto, electroválvulas y bombas de agua) en función de los valores de referencia establecidos para validar la acción de control biestable [8].

Se plantearon dos hojas guías de laboratorio en las cuales se utilizaron el módulo de expansión de salidas digitales y el sistema de control de nivel biestable y medición de caudal. La primera práctica tiene como objetivo el control de nivel en uno de los contenedores, mientras que la segunda se enfoca en la medición de caudal de las tuberías del sistema de control, normalizando y escalando las señales físicas a través del software TIA Portal V15 [9].

Para finalizar se realizó un manual de usuario del sistema resaltando las principales características, el cual permite una operación correcta y óptima del mismo, además se puntualizaron las respectivas acciones de mantenimiento a tomar en cuenta.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Diseño de la planta didáctica de control de nivel

Para la realización del diseño de la planta de control de nivel y medición de caudal se tomó en consideración los requerimientos del módulo PLC que se dispone en el laboratorio de Tecnología Industrial.

- **Controlador SIMATIC S7-1200**

El CPU 1212C AC/DC/Relé del PLC S7-1200 que se dispone en el laboratorio de Tecnología Industrial ha ayudado en el desarrollo académico de los estudiantes de la carrera de Tecnología en Electromecánica, al estudio del monitoreo y control de variables físicas reales (temperatura, nivel, caudal, presión) de procesos industriales, estos procesos han sido sencillos por su limitado número de salidas digitales.

En la tabla 3.1 se observa las características básicas del CPU 1212C AC/DC/Relé del PLC S7-1200 que se dispone en el Laboratorio.

Tabla 3. 1 Características principales PLC S7-1200, [10]

	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU1214C
Entradas/Salidas Digitales integradas	6 entradas/4 salidas	8 entradas/6 salidas	14 entradas/10 salidas
Entradas/Salidas Analógicas integradas	2 entradas	2 entradas	2 entradas
Max. Entradas/Salidas Digitales	14	82	284
Max. Entradas/Salidas Analógicas	3	19	67
Tamaño de imagen de proceso	1024 Bytes por entradas/1024 Bytes por salida		

Al contar con 6 salidas digitales los algoritmos de control diseñados en el laboratorio de control industrial deben ser sencillos, para utilizar solo las salidas digitales que dispone el PLC, es por ello que estos controladores disponen de expansiones que logran que el PLC adquiera funciones más amplias.

- **Expansión de la capacidad de la CPU**

Gracias a los módulos de señales se puede fácilmente perfeccionar al PLC S7-1200 con salidas y entradas ya sean digitales o analógicas, así como módulos de comunicación logrando así satisfacer las necesidades de cualquier tipo de proceso industrial.

En la tabla 3.2 se observa los módulos de expansión permitidos para cada CPU del PLC S7-1200, en este caso el CPU 1212C.

Tabla 3. 2 Expansiones del CPU, [10]

Expansiones CPU	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Módulo de señal (SM)	Ninguno	2	8
Módulo de comunicación (CM) o Procesador de comunicación	3	3	3
Tablero de señal (SB) o tablero de comunicación (CB)	1	1	1

a) Módulos de señal (SM)

Con los módulos de señal se provee al CPU 1212C con canales de salidas adicionales, como se puede observar en la tabla 3.3 para el CPU 1212C se dispone de 4 módulos diferentes de salidas digitales.

Tabla 3. 3 Módulos de salidas digitales, [10]

Módulos de señales	SM 1222 DC	SM 1222 DC	SM 1222 RLY	SM 1222 RLY
Salida digital	DO 8x24 [V], DC 0.5 [A]	DO 16x24 [V], DC 0.5 [A]	DO 8xRLY 30 [V] DC / 250 [V] AC 2 [A]	DO 16xRLY 30 [V] DC / 250 [V] AC 2 [A]

Para este caso el módulo utilizado es el SM 1222 RLY el cual presenta 8 salidas digitales tipo relé a 30 [V] DC/ 250 [V] AC 2 [A]. En la Tabla A1, Anexo 01 se puede observar los datos técnicos más relevantes del módulo de expansión. La principal razón de la selección de este módulo es que los primeros dos tienen salidas de 24 [v] DC y en el laboratorio se utiliza actuadores de diferentes tipos de voltaje de accionamiento. El cuarto módulo no fue seleccionado debido a su elevado costo.

b) Montaje

El PLC se encuentra en un gabinete construido por los estudiantes de la carrera de Tecnología en Electromecánica por lo que el montaje del módulo SM 1222 se debe realizar tomando en cuenta los aspectos que se muestra en la figura 3.1.

Los requerimientos para el montaje horizontal que se debe considerar son: una distancia de 25 [mm] sobre y debajo del PLC para proveer a la unidad de una zona de disipación de calor, se debe montar en una carcasa, un armario eléctrico o una sala de control. Además, El PLC S7-1200 debe instalarse en un entorno seco.

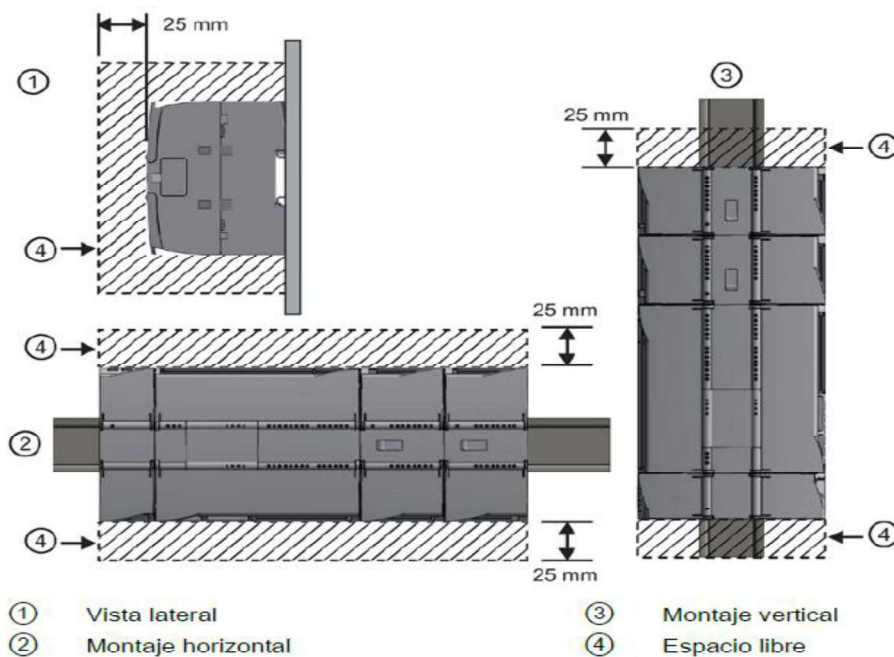


Figura 3. 1 Condiciones de montaje del PLC S7-1200 y módulos de señal, [11]

Al constatar que todos los estándares anteriormente descritos están considerados en los módulos PLC's del laboratorio de Tecnología Industrial se procede a realizar el montaje del módulo SM 1222 en base a los siguientes pasos:

1. Se engancha el módulo de expansión SM sobre el raíl DIN.
2. Se acciona hacia la izquierda la lengüeta de desplazamiento del conector de bus como se observa en la figura 3.2.



Figura 3. 2 Montaje del SM 1222

c) Cableado y esquema eléctrico

Al tener listo un sitio específico para la conexión eléctrica del SM 1222 en el módulo PLC #5 (figura 3.3) se procede a realizar el cableado eléctrico del mismo cumpliendo las siguientes consideraciones:

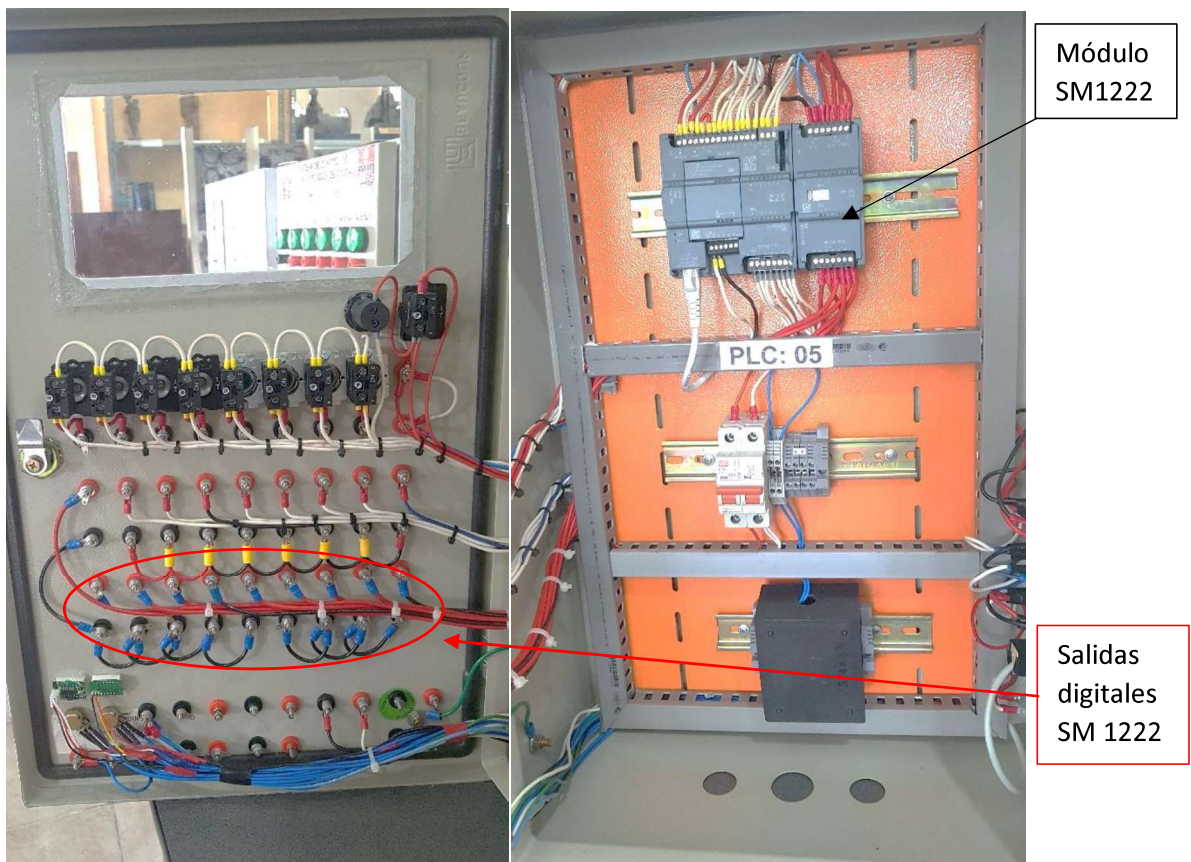


Figura 3. 3 Disposición en el tablero para el módulo SM 1222

- 1) Observar que en las canaletas eléctricas ranuradas no se junten cables de alta y baja tensión, ya que podrían crear corrientes parasitas e interferencias. En este caso no se tienen líneas de alta tensión.
- 2) Dimensionar la longitud del cable tomando en cuenta la disposición de las canaletas dentro del gabinete. El cable para la conexión del SM 1222 hacia las borneras de salida es el #16 AWG de color rojo. Para la selección del cable a utilizar se realizó el cálculo tomando en cuenta el poder de carga de las salidas del SM 1222 (Anexo 01, tabla A1). Con estos datos y con ayuda de la tabla A8 Anexo 01 se obtiene el calibre recomendado para la conexión del SM.
- 3) Se procede a cortar el aislamiento de los extremos de los cables tomando en cuenta una distancia de 6 [mm] para la colocación de los terminales tipo punta y ojo. (Figura 3.4)

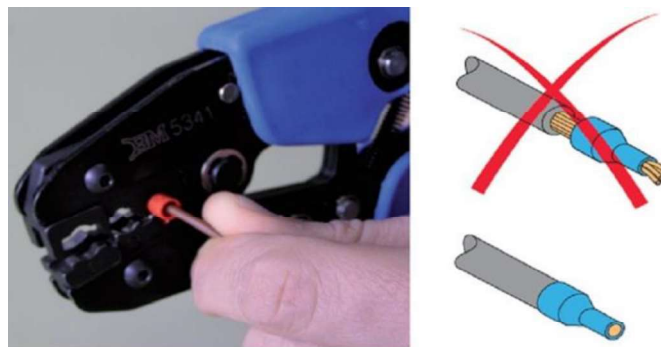


Figura 3. 4 Colocación de los terminales eléctricos

- 4) Una vez colocados todos los terminales se procede a situarlos en cada una de las borneras del SM 1222 y se ajustan con ayuda de un destornillador plano. Tomar en cuenta no exceder en el ajuste de los tornillos en las borneras del SM y en las tuercas de las borneras del gabinete.
- 5) En el Anexo 03, Lámina 01 se observa el diagrama de conexión del SM con las borneras ya dispuestas en el gabinete. Se debe tomar en cuenta que para la conexión de la alimentación del SM y la alimentación de las salidas tipo relé se colocó fusibles de acuerdo a los requerimientos que se observa en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Detalles de los dispositivos de protección

Circuito	Designación	Valor del Fusible [A]
Alimentación del SM	FL+	0.5 [A]
Salida L1	FL1	2.0 [A]
Salida L2	FL2	2.0 [A]

6) Para finalizar, con la ayuda de un multímetro se realizan pruebas de continuidad entre las borneras del SM y las borneras del gabinete.

- **Diseño de planos esquemáticos**

El sistema de control de nivel de fluidos es muy utilizado en la industria: alimenticia, petrolera, etc., así como, el monitoreo del caudal de los respectivos líquidos. Para el diseño del sistema se toma en cuenta los siguientes dispositivos que se utilizan para el sistema de control de nivel y medición de caudal.

- Actuadores:
 - Bomba periférica
 - Electroválvula solenoide
- Indicadores
 - Luz indicadora
- Dispositivos de maniobra
 - Selector 3 posiciones
 - Pulsador
 - Pulsador de emergencia tipo hongo
 - Interruptores de posición
 - Contactores electromagnéticos
 - Relé de 110V AC
- Dispositivos electrónicos
 - Sensor ultrasónico HC-SR04
 - Sensor de flujo de agua YF-S201
 - Arduino UNO

Tomando en cuenta los elementos mencionados se realizó en el software AutoCAD 2019 el esquema de la planta de control de nivel y medición de caudal que se observa en el Anexo 02, Lámina 01. Ahí se detalla todos los elementos que conforman el sistema, así como las medidas principales del mismo, además de una lámina en la cual se especifica las dimensiones de la estructura de la planta de control de nivel y medición de caudal (Anexo 02, Lámina 02).

También se realizó el diagrama P&ID del sistema de control de nivel y medición de caudal (Anexo 03, Lámina 02), en el cual están detallados: lazos de control, líneas de proceso, simbología de cada elemento con su respectiva descripción, logrando así

obtener de una forma estandarizada y fácil una representación gráfica de todo el sistema de control.

Además, se realizó el diagrama de la red de comunicación del sistema de control en donde se observa cómo se comunican cada uno de los elementos del sistema: HMI, PLC, Panel de control, planta de control de nivel y medición de caudal. (Anexo 03, Lámina 03)

Y para finalizar se realizó los planos eléctricos de:

- Conexión del módulo SM 1222 (Anexo 03, Lámina 01).
- Conexión del panel de central (Anexo 03, Lámina 04).
- Conexión de la planta de control de nivel y medición de caudal al PLC (Anexo 03, Lámina 05).

3.2 Medición de caudal (Sensor de flujo YF-S201)

El sensor de flujo o caudalímetro es un dispositivo diseñado para la medición de caudal de un fluido. El caudal es la cantidad de líquido o volumen que circula a través de una tubería por unidad de tiempo y se expresa como: litros por minuto [l/m], litros por hora [l/h], metros cúbicos por hora [m^3/h] [12]. La instalación de estos instrumentos se realiza directamente en la tubería por la cual circula el fluido.

El sensor de flujo YF-S201 es empleado para medir el caudal de agua que circula por tuberías de ½" de diámetro. También es empleado en líquidos de baja viscosidad. Es un caudalímetro electrónico tipo turbina compatible con sistemas digitales como Arduino, Pic, Raspberry Pi, PLC's. [6]

El funcionamiento consiste en que el flujo de agua que circula por la tubería mueve a la turbina del sensor la cual tiene un imán que activa al sensor de efecto Hall, que a su vez emite un pulso eléctrico que puede ser leído por el controlador Arduino UNO.

3.3 Construcción del sistema

En base a lo descrito en la sección de diseño de planos esquemáticos se construyó la planta de control de nivel biestable y medición de caudal para la implementación de prácticas en el laboratorio de tecnología industrial.

La construcción de este sistema cumple con las siguientes características:

- ✓ La estructura de la planta se la realizó en tubo cuadrado de 1 ¼" x 1.5[mm]
- ✓ Cuenta con dos contenedores cuadrados de vidrio de 6[mm] de espesor, que cumplirán con las funciones de control de nivel y reserva.

- ✓ La tubería es de PVC de ½".
- ✓ La planta didáctica también cuenta con un gabinete eléctrico 30x40x20 [cm] donde se colocaron los dispositivos eléctricos y un segundo gabinete en donde se colocó los dispositivos electrónicos de baja potencia.
- ✓ Cuenta con dos modos de funcionamiento: automático y manual.
- ✓ También cuenta con indicadores luminosos y dispositivos de maniobra.
- ✓ El acondicionamiento de la señal eléctrica es de 0 [V] a 5 [V] a un nivel de 0 a 30 litros y caudal de 0 [lts/min] a 40 [lts/min].
- ✓ La operación es de manera local y remota.
- ✓ Posee una interfaz Humano-máquina HMI que permite el fácil control, monitoreo y supervisión del proceso.

Una vez detallada las principales características del sistema de control de nivel y medición de caudal a continuación se detallan cada uno de los elementos que conforman el mismo.

➤ Actuadores

Bomba periférica. - Al ser el agua el líquido que se transporta del contenedor de reserva al contenedor de control, y que se encuentra a una altura diferente, se utiliza una bomba periférica de 0.5 [HP] (ver figura 3.5). El volumen de agua a transportar desde el tanque de reserva al tanque de control es 30 litros. En el Anexo 01, Tabla A2 se detalla las características de la bomba que se utiliza.



Figura 3. 5 Bomba periférica 0.5 [HP]

Electroválvula solenoide. - Para realizar el llenado y vaciado de cada uno de los contenedores se utilizó electroválvulas solenoides NC de accionamiento eléctrico (ver figura 3.6). Para el funcionamiento de dichas válvulas se debe

inyectar 110 [V], que energiza una bobina y permita el paso del líquido, logrando así el vaciado y llenado de los dos contenedores. En el Anexo 01, Tabla A3 se puede observar las características específicas de la válvula instalada.

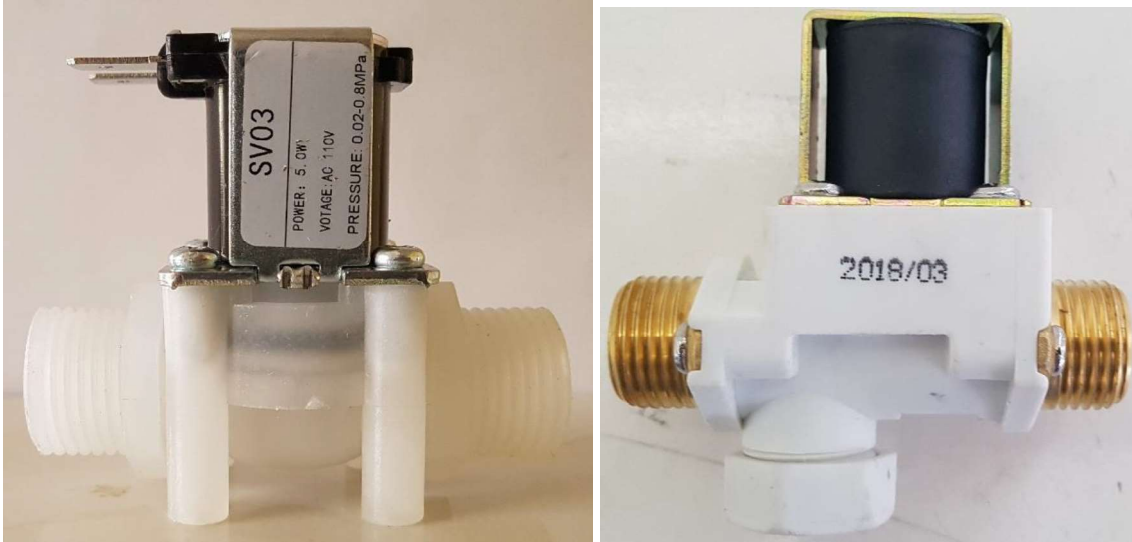


Figura 3. 6 Electroválvula solenoide

➤ Indicadores

Luz indicadora. - Se utilizan luces indicadoras de 220/240 [V] AC para la visualización del modo de trabajo activado (automático y manual) y para la activación de las perturbaciones externas (Ver figura 3.7).



Figura 3. 7 Luz piloto 220/240 [V] AC

➤ **Dispositivos de maniobra**

Selector 3 posiciones. - Se utiliza un selector de tres posiciones (figura 3.8) para activar los diferentes modos de trabajo: modo manual y modo automático.



Figura 3. 8 Selector 3 posiciones CAMSCO

Pulsador. - Se utiliza dos pulsadores (figura 3.9) para la activación de las perturbaciones en el tanque de control. Una activa el vaciado del tanque de control mientras que la otra activa el llenado del mismo.



Figura 3. 9 Pulsador plástico CAMSCO

Pulsador de emergencia tipo hongo. - La planta también cuenta con un pulsador de paro tipo hongo de 22 [mm] (figura 3.10) sostenido con desenclavamiento por giro, 1NC, 1NO. Este permitirá desenergizar toda la planta y enviar una señal al PLC para que detenga y reinicie el proceso.



Figura 3. 10 Pulsador tipo hongo CAMSCO

Interruptores de posición. - La planta cuenta con tres interruptores de nivel tipo flotador (figura 3.11), dos en el tanque de control y uno en el tanque de reserva. Estos interruptores se activan al detectar el nivel mínimo y máximo de los contenedores, logrando así que las bombas se desactiven cuando el nivel de líquido sea mínimo y de la misma forma al detectar el nivel máximo del contenedor. (Especificaciones Anexo 01, tabla A4).



Figura 3. 11 Sensor de nivel de tipo flotador

Contactador electromagnético. - Para el accionamiento de las bombas se utilizó contactores electromagnéticos. Debido a que la bomba consume una corriente máxima de 2.5 [A] al momento del arranque, debido a esto se utilizó un contactor electromagnético de 9 [A] (figura 3.12).



Figura 3. 12 Contactador electromagnético

Relé de 110[V] AC. - Para el accionamiento de las electroválvulas se utilizó relés electromagnéticos de 110 [V] AC a 5 [A], no polarizado, con bobina sin

enclavamiento. Posee dos contactos normalmente abiertos y un contacto normalmente cerrado. En la figura 3.13 se observa este tipo de relé.



Figura 3. 13 Relé de 8 pines 110 [V]

➤ Dispositivos electrónicos

Sensor ultrasónico HC-SR04.- Para realizar el monitoreo continuo del nivel de líquido, los contenedores se construyeron de tal manera que cada centímetro del contenedor representa 1 litro, de tal forma que con la ayuda del sensor ultrasónico y el controlador Arduino UNO se mide la distancia del líquido con respecto a la posición del sensor. En la figura 3.14 se observa el tipo de sensor a utilizar.



Figura 3. 14 Sensor ultrasónico HC-SR04

Sensor de flujo de agua YF-S201.- Para la medición de caudal dentro de las tuberías se utilizó el sensor de flujo YF-201 (figura 3.15) el cual tiene como principio de funcionamiento un sensor de efecto Hall. El sensor cuenta con una turbina con un pequeño imán atado en una de sus aspas y un sensor magnético de efecto Hall el cual mide la cantidad de vueltas que realiza el aspa, cada pulso es aproximadamente 2,25 mililitros. Las características técnicas se observan en el Anexo 01, tabla A5.



Figura 3. 15 Sensor de flujo YF-S201

Arduino UNO. - Para realizar el acondicionamiento del sensor ultrasónico y sensor de flujo se utilizó el controlador Arduino UNO (figura 3.16), de tal forma que la señal que se envía al PLC es de 0 [V] a 5 [V]. Las características técnicas se observan en el Anexo 01, tabla A6.

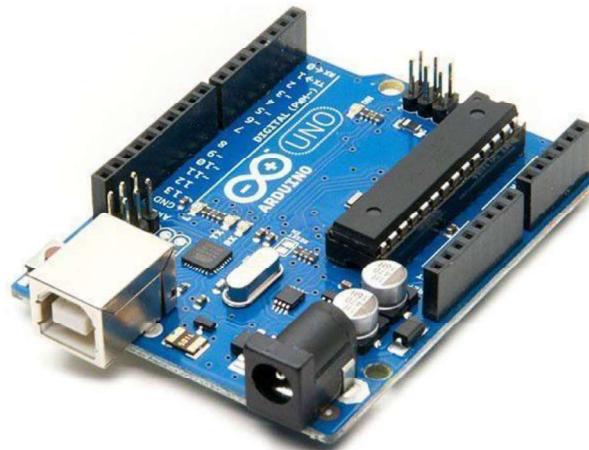


Figura 3. 16 Arduino UNO

El proceso de construcción se describe a continuación:

- a) Se construyó la estructura de metal según el plano del Anexo 02, lámina 02, para ello se adquirió un tubo cuadrado de 1 ¼" x 1.5 [mm], además se realizó el proceso de corte y soldadura del tubo de las diferentes partes. La estructura se observa en la figura 3. 17.



Figura 3. 17 Estructura de la planta

- b) Para los contenedores se utilizó vidrio transparente de 6 [mm] de espesor y con silicona de cartucho transparente se realizó el ensamblaje de los dos contenedores (figura 3.18). El contenedor para el tanque de reserva tiene las siguientes medidas 45x32x32 [cm] mientras que para el tanque de control es de 40x32x32 [cm]. Para determinar las dimensiones de los contenedores se tomó en cuenta que cada centímetro de altura dentro del contenedor represente un litro de líquido. También se realizaron las perforaciones para que ingrese la tubería dentro del contenedor.

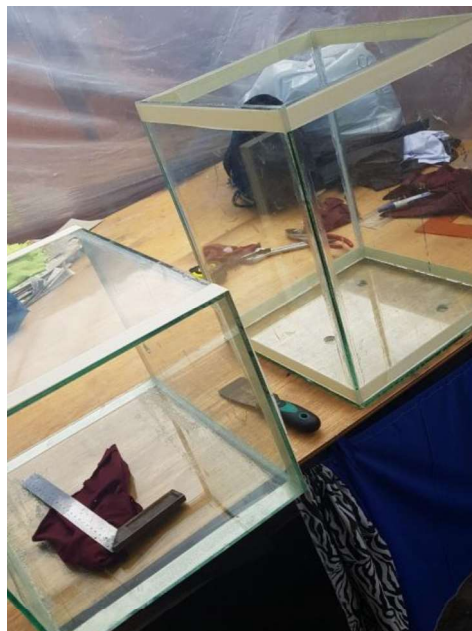


Figura 3. 18 Ensamblaje de contenedores

- c) Una vez pintada la estructura se colocaron los contenedores sobre la misma utilizando silicona blanca para su montaje. La posición de los contenedores se observa en la figura 3.19.



Figura 3. 19 Montaje de los contenedores

- d) A continuación, se procedió a colocar las bombas de agua, se perforaron 4 agujeros para sujetar cada una de ellas sobre la estructura. Ver figura 3.20.



Figura 3. 20 Montaje bombas de agua

- e) Se realizó la instalación de las tuberías PVC de $\frac{1}{2}$ ". Para ello se utilizó una sierra de arco para cortar el tubo y una tarraja para realizar la rosca en el mismo y para la unión del sistema de tuberías se utilizó teflón y accesorios de fontanería (codos, tee's, universales, uniones, reducciones, etc.). Se debe tomar en cuenta que en este proceso se colocaron las electroválvulas y el sensor de flujo ya que estos elementos van situados directamente en el sistema de tuberías. Ver figura 3.21.



Figura 3. 21 Instalación de las tuberías

- f) Una vez terminada la parte del sistema de bombeo se realizó el montaje del panel central de la planta. Primero se realizó la instalación del rail DIN en donde se montarán los contactores electromagnéticos y relés como se ve en la figura 3.22.



Figura 3. 22 Montaje de elementos de maniobra

- g) Se perforaron los agujeros en la puerta del gabinete (figura 3.23) en donde irán colocadas las borneras, pulsadores, luces piloto y el selector.

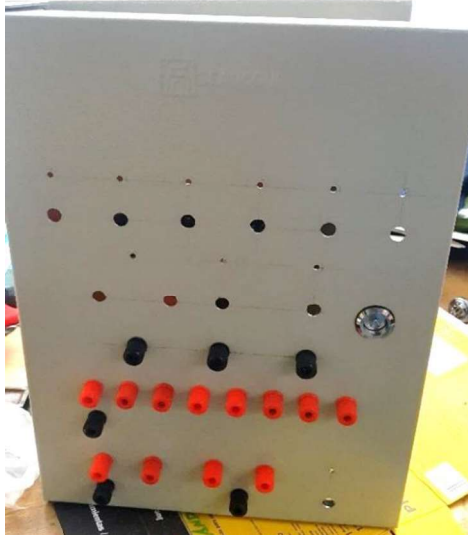


Figura 3. 23 Perforación del panel de control

- h) Se colocaron las canaletas eléctricas ranuradas y se realizaron las conexiones de la alimentación del tablero, contactores electromagnéticos y relés tal como se indica en el Anexo 03, Lámina 04. (ver figura 3.24)

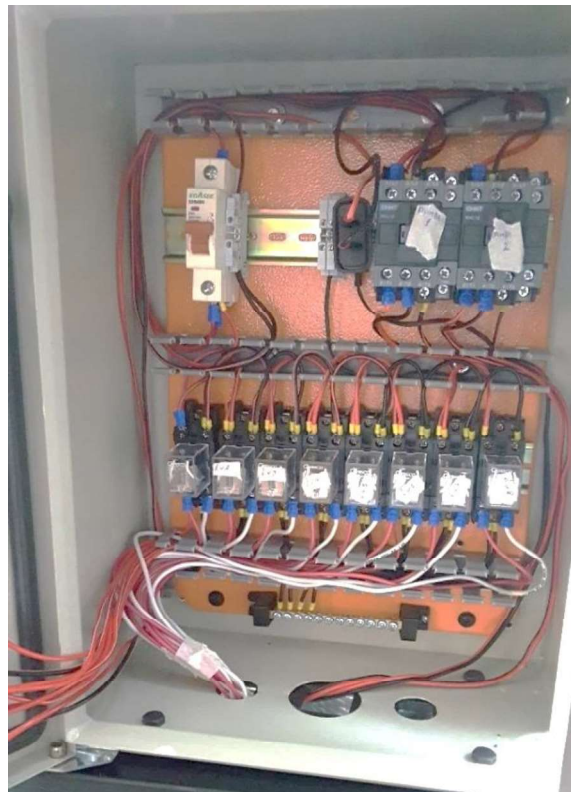


Figura 3. 24 Conexión de relés y Contactores electromagnéticos

- i) Se realizaron la conexión de los actuadores con el panel de control y la conexión de los elementos de la puerta del gabinete como se observa en la figura 3.25

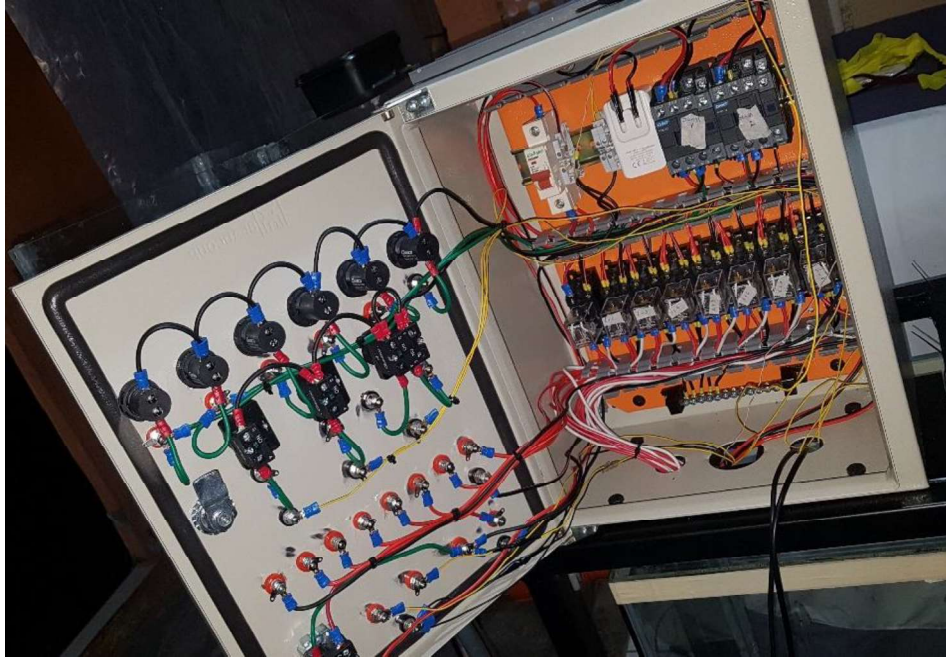


Figura 3. 25 Conexión de borneras y pulsadores

- j) Se colocaron los sensores tipo flotador dentro del tanque de control, en el nivel mínimo y máximo, mientras que en el tanque de reserva se coloca un sensor en el nivel mínimo para evitar la succión de aire si se queda sin agua el tanque. (Ver figura 3.26)



Figura 3. 26 Ubicación de los sensores de nivel

- k) En la parte superior del tanque de control se colocó el módulo de medición de nivel que está conformado por el sensor ultrasónico y el controlador Arduino UNO. El esquema de conexión de este módulo se observa en la figura 3.27.

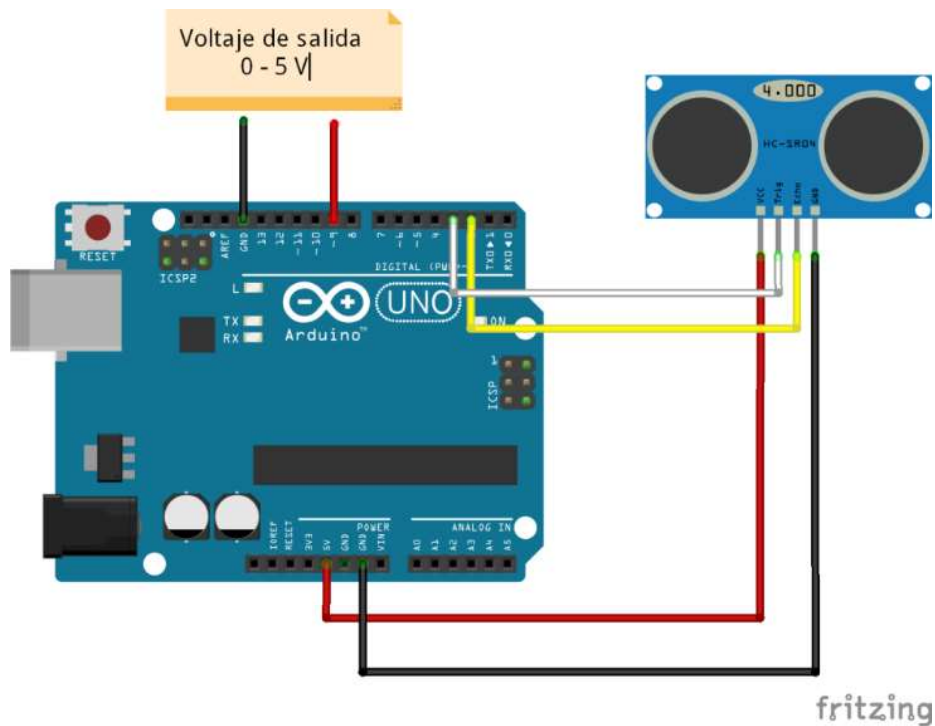


Figura 3. 27 Conexión del sensor ultrasónico

- l) En la parte posterior del panel de control se encuentra una caja en la cual se coloca la alimentación para los dispositivos electrónicos y el circuito de acondicionamiento del sensor de flujo YF-S201. El diagrama de conexión del sensor de flujo se observa en la figura 3.28.

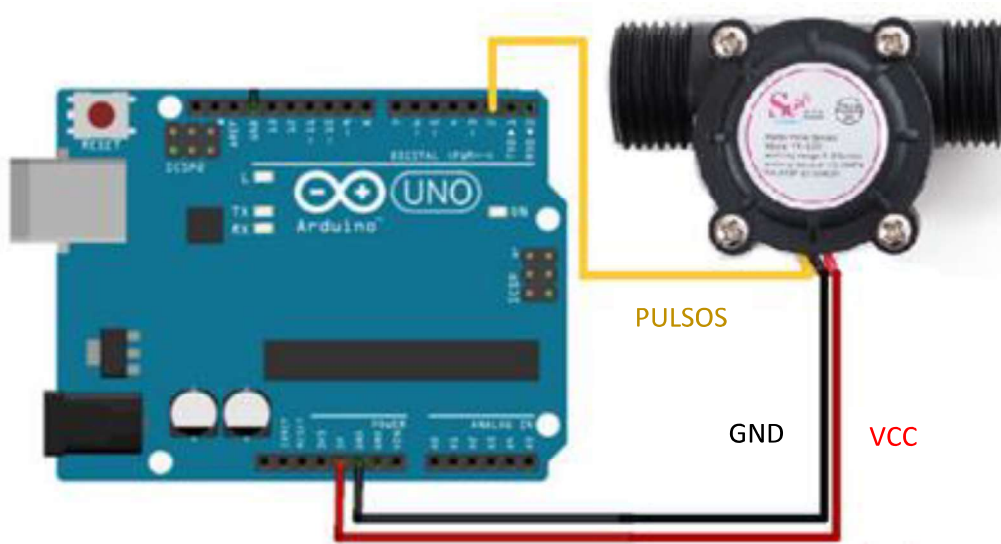


Figura 3. 28 Conexión del sensor de flujo

- m) Una vez realizadas las conexiones de todo el sistema se energizó el tablero y se realizó el accionamiento de cada de uno de los actuadores, así como pruebas de continuidad entre las borneras del gabinete y las borneras de los elementos de maniobra (figura 3.29).

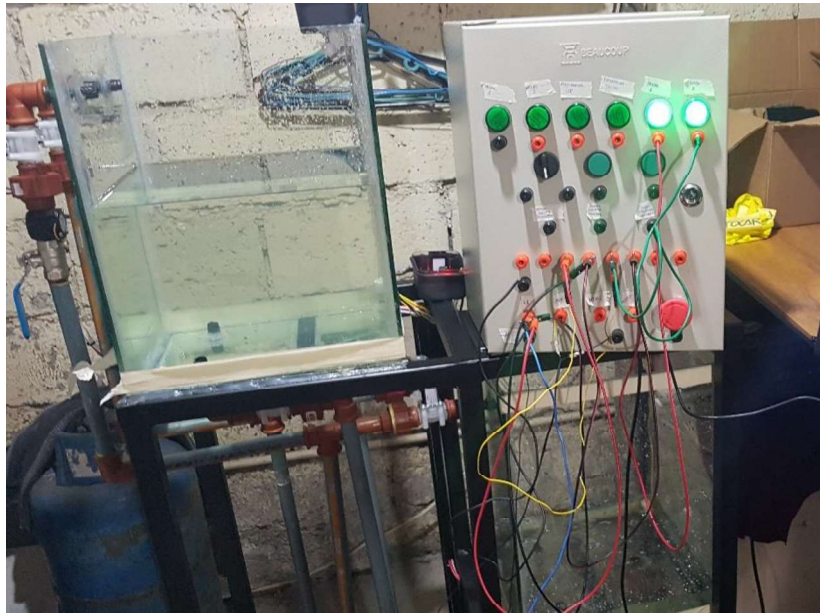


Figura 3. 29 Activación de actuadores

- n) Se realizó el etiquetado de todos los elementos que conforman el sistema: actuadores, luces piloto, pulsadores, contenedores, selectores, módulos de transmisión, borneras de entrada y salida y sensores (figura 3.30).

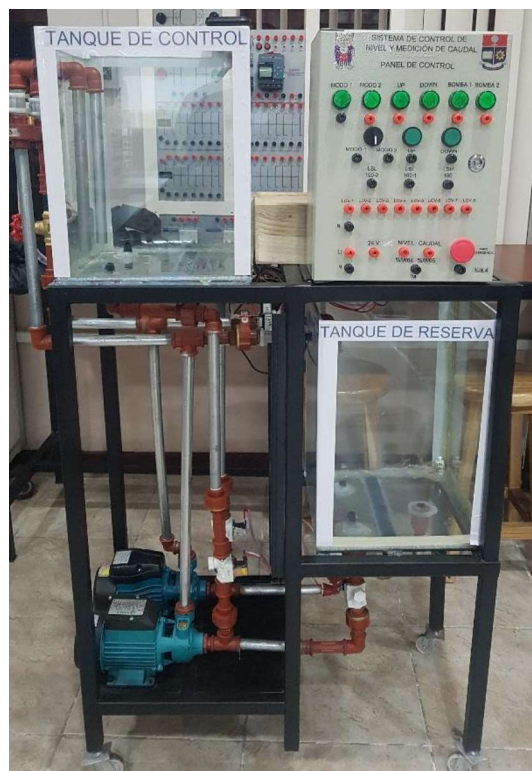


Figura 3. 30 Planta de control de nivel y medición de caudal

3.4 Algoritmo de control e interfaz Humano-Máquina HMI

Para la programación del algoritmo de control de la planta de nivel y medición de caudal se utilizó el software Totally Integrated Automation (TIA Portal) V15 de SIEMENS. Este software permite la programación en tres tipos de lenguaje: diagrama de contactos (LADDER), diagrama de bloques funcionales (FBD) y diagrama de texto estructurado (ST), así como también el diseño de Interfaces Humano Máquina (HMI) [13].

El lenguaje de programación utilizado para la aplicación planteada es el tipo FBD (figura 3.31).

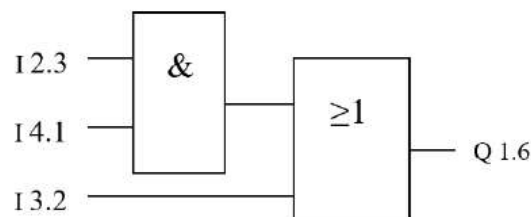


Figura 3. 31 Lenguaje FBD

- **Requerimientos**

El sistema debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Disponer de tres botones principales: MANUAL, AUTOMÁTICO, OFF, y dos pulsadores auxiliares para las perturbaciones (UP, DOWN).
- Un pulsador de inicialización del sistema.
- Luces indicadoras que permitan visualizar el modo de trabajo del sistema de control.
- Disponer de un selector de tres posiciones para la selección del modo de operación:

MANUAL:

- Seleccionar todos los actuadores que se desea activar, ya sea para llenar o vaciar el tanque de control. Para ello se debe diseñar una pantalla HMI que contenga pulsadores que activen cada uno de los actuadores.
- Disponer de dos pulsadores uno de inicio del proceso y otro de paro.
- Tener un campo de salida el cual muestre el nivel del tanque, así como la medición del caudal en la tubería.

AUTOMÁTICO:

- El HMI debe disponer de campos de entrada y salida para: referencia (Set Point), banda de seguridad, nivel de líquido y medición de caudal.
- Pulsadores de marcha y paro del proceso.
- Pulsadores para activar las perturbaciones, así como su respectivo reseteo.
- El control de nivel empieza al ingresar una referencia y al pulsar el botón de marcha, activando los diferentes actuadores hasta lograr igualar la variable del proceso (Process Value PV) con la referencia (Set point SP).

OFF: Detiene y reinicia todo el sistema en cualquier instante, además permite elegir el modo de funcionamiento 1 o 2.

- **Tabla de variables**

Las variables de programación del sistema de control de nivel y medición de caudal se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5 Variables del sistema de nivel y medición de caudal

NOMBRE	TIPO DE VARIABLE	DIRECCIÓN	COMENTARIO
SELEC1	Bool	%I0.0	Selector modo 1
SELEC2	Bool	%I0.1	Selector modo 2
PUL-UP	Bool	%I0.2	Pulsador perturbación up
PUL-DOWN	Bool	%I0.3	Pulsador perturbación down
PARO_EMERGENCIA	Bool	%I0.4	Pulsador paro general
FLOT_INFERIOR_RESERVORIO	Bool	%I0.5	Sensor bajo nivel reservorio
FLOT_INFERIOR_CONTROL	Bool	%I0.6	Sensor bajo nivel control
FLOT_SUPERIOR_CONTROL	Bool	%I0.7	Sensor alto nivel control
ULTRASÓNICO	Word	%IW64	Sensor ultrasónico
CAUDALÍMETRO	Word	%IW66	Sensor de flujo
MODO 1	Bool	%Q0.0	Luz piloto modo 1
MODO 2	Bool	%Q0.1	Luz piloto modo 2
PERTURBACION_UP	Bool	%Q0.2	Luz piloto perturbación up
PERTURBACION_DOWN	Bool	%Q0.3	Luz piloto perturbación down
BOMBA1	Bool	%Q0.4	Activación bomba 1
BOMBA2	Bool	%Q0.5	Activación bomba 2
LCV_1	Bool	%Q8.0	Electroválvula 1
LCV_2	Bool	%Q8.1	Electroválvula 2
LCV_3	Bool	%Q8.2	Electroválvula 3
LCV_4	Bool	%Q8.3	Electroválvula 4
LCV_5	Bool	%Q8.4	Electroválvula 5
LCV_6	Bool	%Q8.5	Electroválvula 6

NOMBRE	TIPO DE VARIABLE	DIRECCIÓN	COMENTARIO
LCV_7	Bool	%Q8.6	Electroválvula 7
LCV_8	Bool	%Q8.7	Electroválvula 8
ENSERADO_BOMBAS_HMI	Bool	%M129.0	Pulsador de inicio de ciclo de enserado de las bombas
STOP_HMI	Bool	%M130.0	Pulsador de paro general HMI
SELEC_1_HMI	Bool	%M131.1	Pulsador modo 1 HMI
SELEC_2_HMI	Bool	%M132.2	Pulsador modo 2 HMI
PUL_UP_HMI	Bool	%M133.3	Perturbación up HMI
PUL_DOWN_HMI	Bool	%M134.4	Perturbación down HMI
RESET_PERTURBACION_HMI	Bool	%M134.5	Reset perturbaciones
PUL_LCV1	Bool	%M135.5	Seleccionar electroválvula 1
PUL_LCV2	Bool	%M136.6	Seleccionar electroválvula 2
PUL_LCV3	Bool	%M137.7	Seleccionar electroválvula 3
PUL_LCV4	Bool	%M138.0	Seleccionar electroválvula 4
PUL_LCV5	Bool	%M139.1	Seleccionar electroválvula 5
PUL_LCV6	Bool	%M140.2	Seleccionar electroválvula 6
PUL_LCV7	Bool	%M141.3	Seleccionar electroválvula 7
PUL_LCV8	Bool	%M142.4	Seleccionar electroválvula 8
PUL_BOMBA1	Bool	%M142.5	Seleccionar bomba 1
PUL_BOMBA2	Bool	%M142.6	Seleccionar bomba 2
INICIO_MODO1_HMI	Bool	%M143.5	Inicio modo automático
RESET_AUTOMATICO	Bool	%M144.6	Paro modo automático
PUL_INICIO_HMI_MODO2	Bool	%M156.7	Inicio modo manual
PUL_PARO_HMI_MODO2	Bool	%M157.0	Paro modo manual
NIVEL	Int	%MW200	Variable de nivel
CAUDAL	Int	%MW216	Variable de caudal
SET_POINT_NIVEL	Int	%MW232	Set point variable nivel
BANDA_IN	Int	%MW248	Ingreso de banda de seguridad
BANDA_INF	Int	%MW264	Banda de seguridad inferior
BANDA_SUP	Int	%MW280	Banda de seguridad superior
TIME1	Time	%MD300	Variable de tiempo activación perturbación UP
TIME2	Time	%MD332	Variable de tiempo activación perturbación DOWN
TIME3	Time	%MD364	Variable de tiempo enclave perturbación UP
TIME4	Time	%MD396	Variable de tiempo enclave perturbación DOWN
TIME5	Time	%MD428	Variable de tiempo primer enserado
TIME6	Time	%MD460	Variable de tiempo segundo enserado
TIME7	Time	%MD492	Variable de tiempo tercer enserado
TIME8	Time	%MD524	Variable de tiempo estabilización sensor de nivel
NIVEL_NORM	Real	%MD556	Señal de nivel normalizada
NIVEL_SCAL	Real	%MD588	Señal de nivel escalada
CAUDAL_NORM	Real	%MD620	Señal de caudal normalizada
CAUDAL_SCAL	Real	%MD652	Señal de caudal escalada
PARO_G	Bool	%Q100.0	Bobina auxiliar pulsador de paro
ENCLAVE_UP	Bool	%Q100.1	Bobina auxiliar enclave perturbación UP
ENCLAVE_DOWN	Bool	%Q100.2	Bobina auxiliar enclave perturbación DOWN
FLOT_NIVEL_BAJO_RESER	Bool	%Q100.3	Bobina auxiliar sensor de nivel bajo reservorio
FLOT_NIVEL_BAJO_CONTROL	Bool	%Q100.4	Bobina auxiliar sensor de nivel bajo control
FLOT_NIVEL_MAX_CONTROL	Bool	%Q100.5	Bobina auxiliar sensor de nivel alto control
RESET_PERTUR	Bool	%Q100.6	Bobina auxiliar reset perturbaciones
PRIMER_ENSERADO	Bool	%Q101.1	Bobina auxiliar primer enserado
PER_UP	Bool	%Q101.3	Bobina auxiliar pulsador UP

NOMBRE	TIPO DE VARIABLE	DIRECCIÓN	COMENTARIO
PER_DOWN	Bool	%Q101.4	Bobina auxiliar pulsador DOWN
SEGUNDO_ENSERADO	Bool	%Q101.5	Bobina auxiliar segundo encerado
INICIO_PROCESO	Bool	%Q101.7	Bobina auxiliar inicio del proceso
TERCER_ENSERADO	Bool	%Q102.0	Bobina auxiliar tercer encerado
VACIAR_CONTROL	Bool	%Q102.2	Bobina auxiliar vaciado control
LLENAR_CONTROL	Bool	%Q102.3	Bobina auxiliar llenado control
LLENAR	Bool	%Q102.4	Bobina auxiliar activación llenado control
VACIAR	Bool	%Q102.5	Bobina auxiliar activación vaciado control
INICIO_1	Bool	%Q102.6	Inicio modo automático
CALIBRACION_NIVEL_UP	Bool	%Q102.7	Bobina auxiliar estabilización sensor de nivel UP
CALIBRACION_NIVEL_DOWN	Bool	%Q103.0	Bobina auxiliar estabilización sensor de nivel DOWN
ESTABILIZACION	Bool	%Q103.2	Bobina auxiliar tiempo de estabilización sensor de nivel
LCV1_BOBINA	Bool	%Q103.3	Bobina auxiliar LCV1 modo 2
LCV2_BOBINA	Bool	%Q103.4	Bobina auxiliar LCV2 modo 2
LCV3_BOBINA	Bool	%Q103.5	Bobina auxiliar LCV3 modo 2
LCV4_BOBINA	Bool	%Q103.6	Bobina auxiliar LCV4 modo 2
LCV5_BOBINA	Bool	%Q103.7	Bobina auxiliar LCV5 modo 2
LCV6_BOBINA	Bool	%Q104.0	Bobina auxiliar LCV6 modo 2
LCV7_BOBINA	Bool	%Q104.1	Bobina auxiliar LCV7 modo 2
LCV8_BOBINA	Bool	%Q104.2	Bobina auxiliar LCV8 modo 2
BOMBA1_BOBINA	Bool	%Q104.3	Bobina auxiliar bomba1 modo 2
BOMBA2_BOBINA	Bool	%Q104.4	Bobina auxiliar bomba2 modo 2
INICIO_MANUAL	Bool	%Q104.5	Inicio modo manual
PARO_MANUAL	Bool	%Q104.6	Paro modo manual
VACIAR_BOMBA1	Bool	%Q104.7	Bobina auxiliar vaciado bomba1 modo manual
VACIAR_BOMBA2	Bool	%Q105.0	Bobina auxiliar vaciado bomba2 modo manual
LLENAR_BOMBA1	Bool	%Q105.1	Bobina auxiliar llenado bomba1 modo manual
LLENAR_BOMBA2	Bool	%Q105.2	Bobina auxiliar llenado bomba2 modo manual
T1	Bool	%Q110.0	Bobina auxiliar TIMER perturbación UP
T2	Bool	%Q110.1	Bobina auxiliar TIMER perturbación DOWN
T5	Bool	%Q110.2	Bobina auxiliar TIMER primer encerado
T6	Bool	%Q110.3	Bobina auxiliar TIMER segundo encerado
T7	Bool	%Q110.4	Bobina auxiliar TIMER tercer encerado
T8	Bool	%Q110.5	Bobina auxiliar TIMER estabilización sensor de nivel

- **Programación**

Una vez que se dispone todas las variables a utilizar se procede a realizar la programación para el sistema de control, ver anexo 04.

Para una mayor comprensión de la programación del algoritmo de control del sistema se realizó el diagrama de flujo del sistema el cual se visualiza en la figura 3.32.

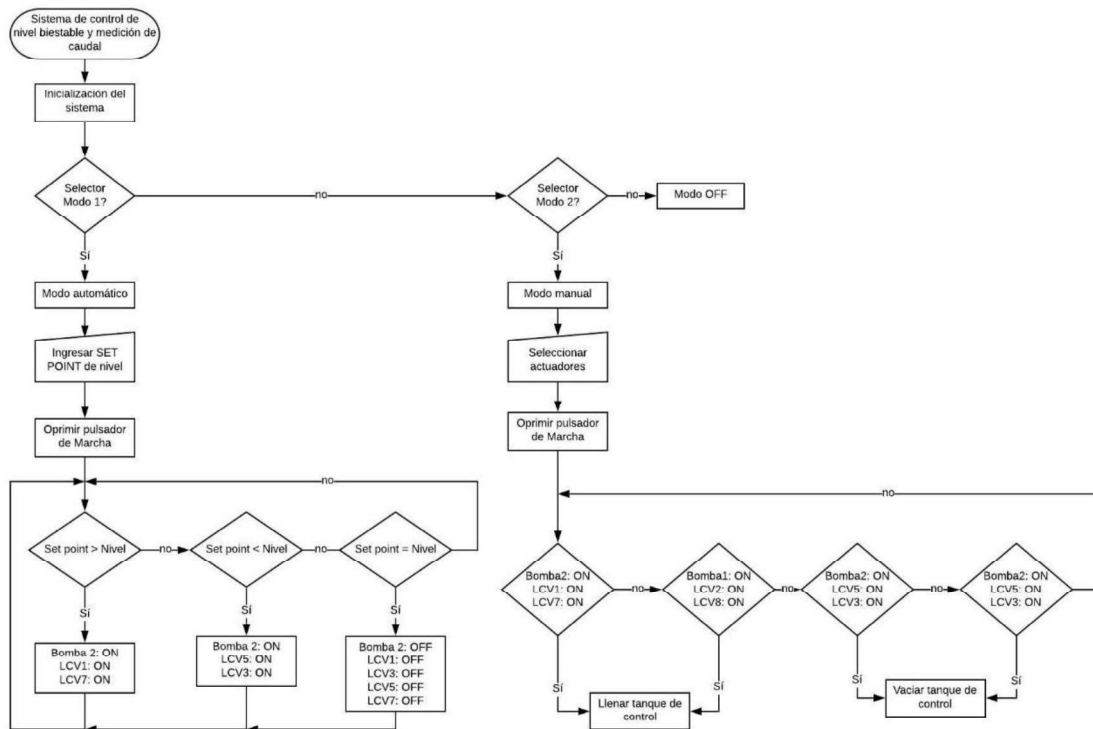


Figura 3. 32 Diagrama de flujo del sistema de control

- **Interfaz Humano Máquina HMI**

Para la Interfaz Humano Máquina HMI se realizaron cuatro pantallas de control basadas en la norma ANSI/ISA-S5.5-1985 [14]: la primera pantalla muestra la imagen del sistema de control y las herramientas de operación del mismo (ver figura 3.33), además de los botones de acceso a cada uno de los modos de trabajo y el botón de inicialización del sistema.

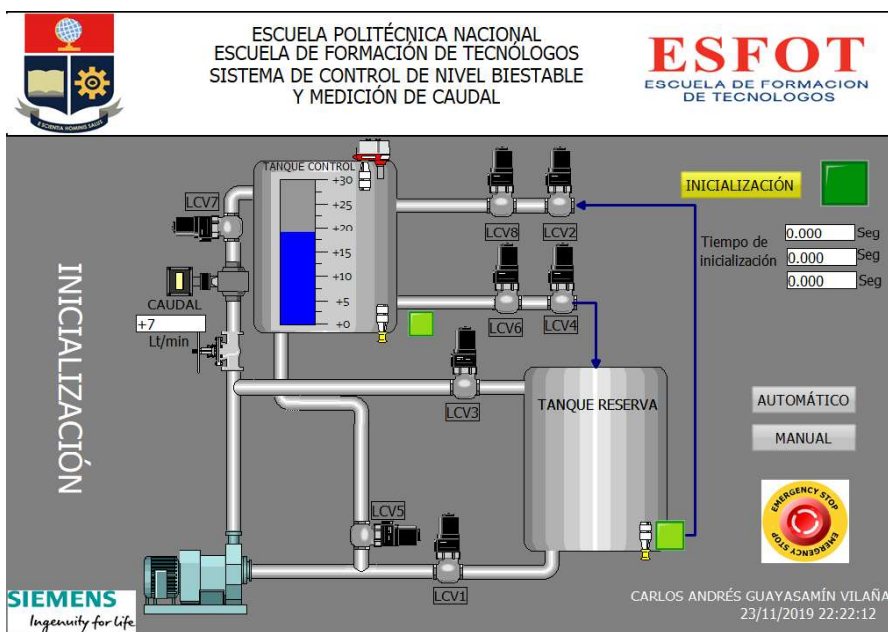


Figura 3. 33 Pantalla inicial HMI

La segunda pantalla de control muestra el modo de trabajo automático el cual consta de los campos de entrada/salida del valor de referencia, banda de seguridad y variables del proceso tanto de nivel como de caudal, adicionalmente se observa el esquema del sistema de control con luces piloto que muestran el estado de los actuadores y sensores. Para finalizar se tiene los pulsadores de control de las perturbaciones (ver figura 3.34).

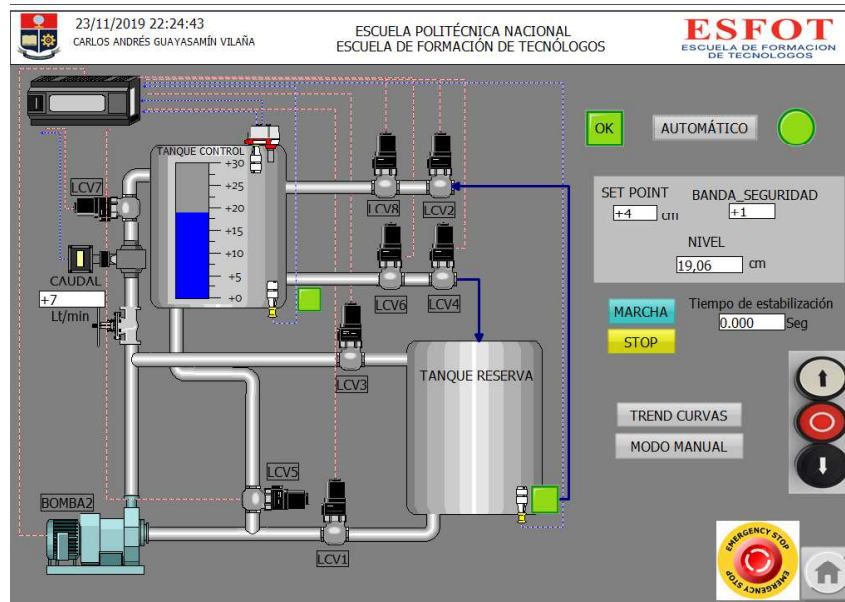


Figura 3. 34 Pantalla modo automático

La tercera pantalla muestra el modo de trabajo manual del sistema el cual es similar a la pantalla del modo automático con la diferencia de que aquí se tiene un teclado para comandar todos los actuadores del sistema en forma individual (ver figura 3.35) los cuales disponen una luz indicadora que muestra su respectivo estado actual.

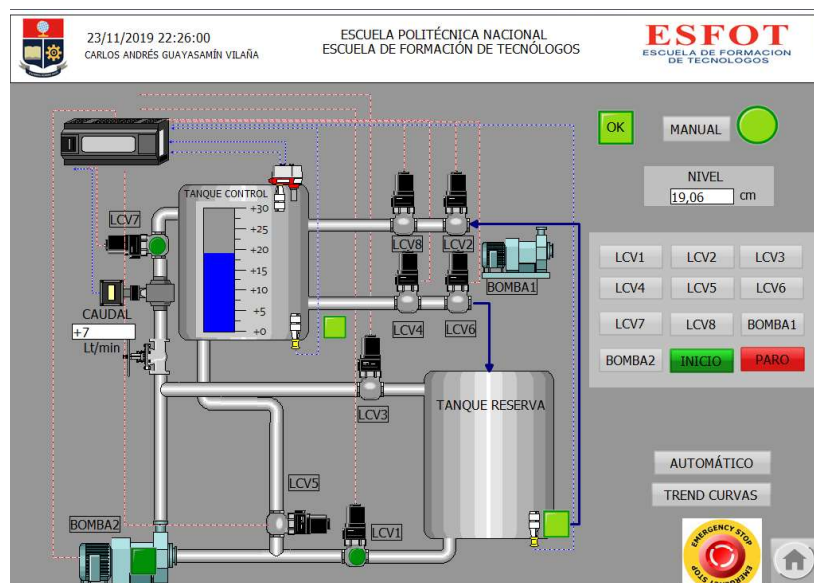


Figura 3. 35 Pantalla modo manual

Para finalizar, la última pantalla HMI muestra el registro de curvas de la variable de nivel, la cual muestra en tiempo real el comportamiento de la misma. (Figura 3.36)



Figura 3. 36 Registro de curvas

A continuación, en la tabla 3.6 se describe cada uno de los elementos utilizados en el diseño de las pantallas de control HMI.

Tabla 3. 6 Variables HMI

FIGURA	DESCRIPCIÓN
	Pulsador de Inicialización del sistema de bombeo
	Pulsador de paro para detener el sistema en cualquier momento
	Luz indicadora del ciclo de inicialización del sistema de bombeo terminado
	Pulsador para acceder a la pantalla #2, modo de trabajo automático
	Pulsador para acceder a la pantalla #3, modo de trabajo manual
	Pulsador para acceder a la pantalla #4, registro de curvas de la variable de nivel
	Pulsador para acceder a la pantalla #1, inicialización del sistema de bombeo
	Pulsador y luz indicador de activación del modo automático

FIGURA	DESCRIPCIÓN
	<p>Pulsador y luz indicadora de activación del modo manual</p>
	<p>Pulsadores para la selección de los actuadores en el modo manual y pulsadores de inicio y paro.</p>
	<p>Campos de entrada y salida del set point (referencia), banda de seguridad y nivel del tanque de control</p>
	<p>Campo de visualización del caudal en la tubería de control</p>
	<p>Pulsadores de marcha y paro en el modo automático</p>
	<p>Pulsadores de activación y paro de las perturbaciones en el sistema de control</p>
	<p>Sensor ultrasónico</p>
	<p>Barra del estado en tiempo real de la variable nivel</p>
	<p>Visor de curvas</p>
	<p>Sensor de nivel tipo flotador</p>

FIGURA	DESCRIPCIÓN
	Electroválvulas solenoides
	Sensor de flujo
	Bomba periférica 0.5 HP
	Válvula manual de compuerta
	PLC S7-1200

3.5 Pruebas de funcionamiento

Para iniciar con las pruebas de funcionamiento del sistema de control lo primero a realizar es la conexión del PLC, SM 1222, planta de nivel y caudal y el HMI que en este caso es el computador como se muestra en el anexo 03 lámina 05.

- **Configuración del módulo de expansión SM 1222**

Para esta tarea se procede a conectar el ordenador con el PLC tomando en cuenta las direcciones IP correspondientes a cada uno. En la tabla 3.7 se muestra las direcciones de cada uno de los elementos a usar en el sistema de control.

Tabla 3. 7 Direcciones IP de los elementos del sistema de control

Elemento	Dirección IP
Computador	192.168.0.4
PLC	192.168.0.2
Estación PC Simatic	192.168.0.4

La dirección del computador y de la estación PC Simatic son las mismas, ya que, la interfaz humano-máquina HMI será reflejada en el computador.

Una vez realizada la conexión entre el PC y el PLC como se indica en la figura 3.37, se procede a añadir el módulo de expansión SM 1222.

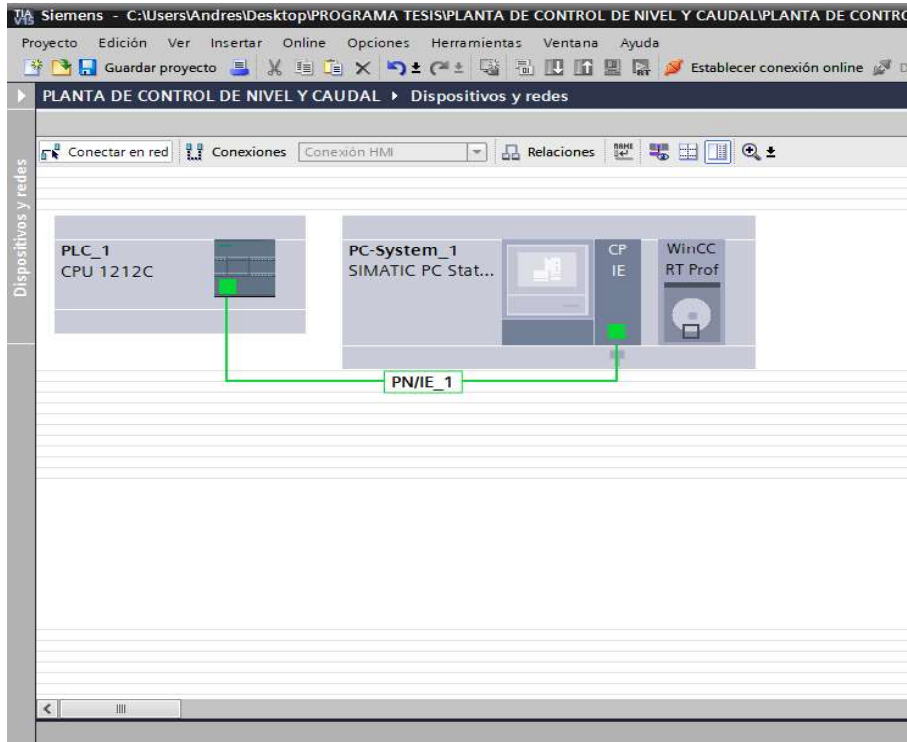


Figura 3. 37 Conexión entre el PLC Y el ordenador

A continuación, se configura el módulo SM 1222 para ello se realiza los siguientes pasos:

- a. En la sección árbol de proyectos del PORTAL TIA V15 se selecciona Dispositivos y Redes.
- b. A continuación, se selecciona Vista de dispositivos.
- c. Luego se selecciona el PLC_1
- d. Una vez seleccionado el PLC se añade el módulo. En la parte derecha en Catálogo de hardware se selecciona el módulo a usar, en este caso el SM 1222 (6ES7 222-1HF32-0XB0).
- e. Como paso final se transfiere el algoritmo de control al PLC y se comprueba la conexión ONLINE de los dispositivos. Para verificar la correcta configuración del módulo SM 1222, la luz indicadora del SM debe estar en color verde como se ve en la figura 3.39. Si la luz es intermitente el módulo no está vinculado al PLC.

Los pasos a, b, c, d se los puede visualizar en la figura 3.38.

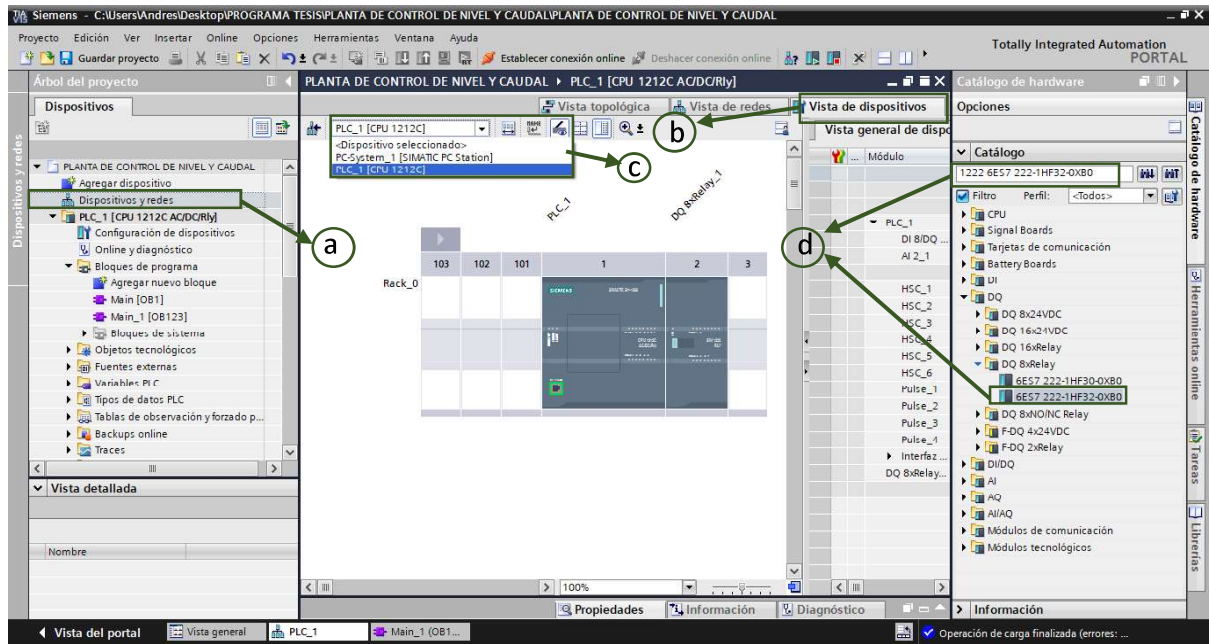


Figura 3. 38 Configuración del SM 1222

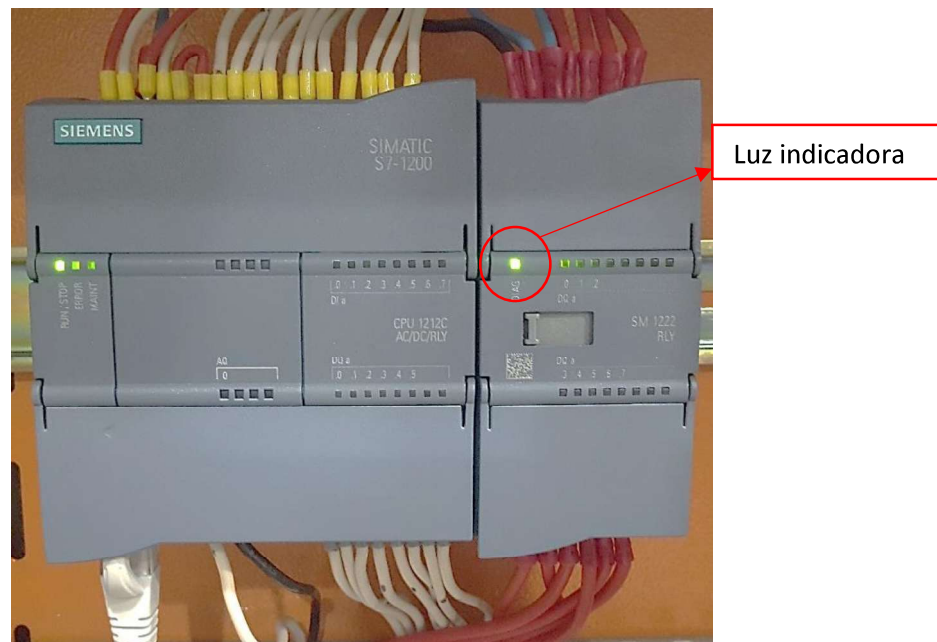


Figura 3. 39 Luz indicadora SM 1222

Una vez conectado todo el sistema se realiza la prueba del funcionamiento de las ocho salidas del módulo SM 1222, para ello se procede a cargar un programa básico en el cual con un pulsador se activa las salidas del SM, cuyo estado se puede visualizar a través de la conexión de luces piloto tal y como se muestra en la figura 3.40.

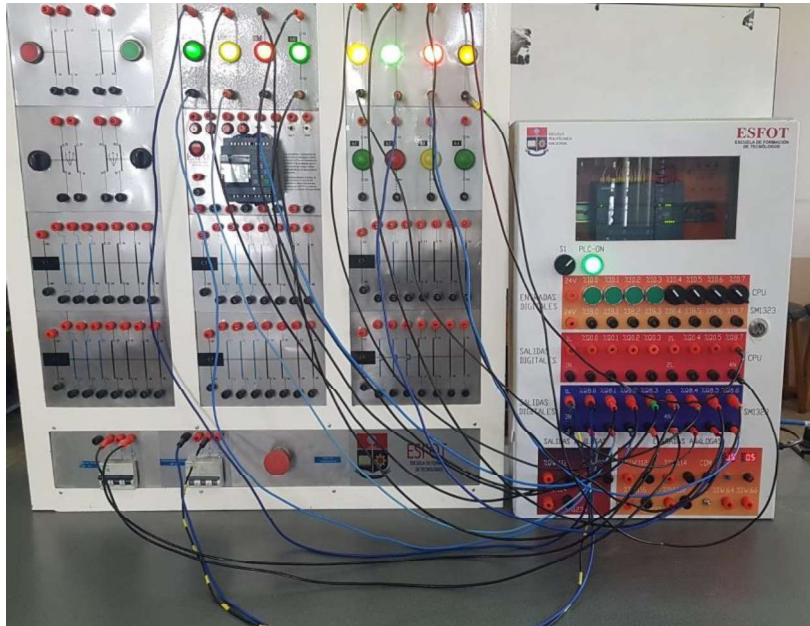


Figura 3. 40 Activación de las salidas del SM 1222

- **Módulo: transmisor de nivel**

En el mercado existe gran variedad de sensores de nivel industriales muy sofisticados y a su vez costosos, pero para este caso se utilizó un sensor didáctico que comprende: un sensor ultrasónico HC-SR04 y un controlador Arduino UNO. (Figura 3.14 y 3.16).

Se realizó el respectivo programa en el software de Arduino UNO (figura 3.41) el cual compara la distancia entre el sensor y el fondo del tanque de control, como el tanque está diseñado para que cada centímetro que suba el agua corresponda a un litro se realizó la medida desde el nivel mínimo y nivel máximo.

```

instrulevel2.0 $
// Configuramos los pines del sensor Trigger y Echo
const int PinTrig = 3;
const int PinEcho = 2;
float y;
float z;

// Constante velocidad sonido en cm/s
const float VelSon = 34000;

// Número de muestras
const int numLecturas = 10;

float lecturas[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActual = 0; // Lectura por la que vamos
float total = 0; // Total de las que llevamos
float media = 0; // Media de las medidas
bool primeraMedia = false; // Para saber que ya hemos calculado por lo menos una

```

```

void setup()
{
  // Iniciamos el monitor serie para mostrar el resultado
  Serial.begin(9600);
  // Ponemos el pin Trig en modo salida
  pinMode(PinTrig, OUTPUT);
  // Ponemos el pin Echo en modo entrada
  pinMode(PinEcho, INPUT);
  // Inicializamos el array
  for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
  {
    lecturas[i] = 0;
  }
}
void loop()
{
  // Eliminamos la última medida
  total = total - lecturas[lecturaActual];

  iniciarTrigger();

  // La función pulseIn obtiene el tiempo que tarda en cambiar entre estados, en este caso a HIGH
  unsigned long tiempo = pulseIn(PinEcho, HIGH);

  // Obtenemos la distancia en cm, hay que convertir el tiempo en segundos ya que está en microsegundos
  // por eso se multiplica por 0.000001
  float distancia = tiempo * 0.000001 * VelSon / 2.0;

  // Almacenamos la distancia en el array
  lecturas[lecturaActual] = distancia;

  // Añadimos la lectura al total
  total = total + lecturas[lecturaActual];

  // Avanzamos a la siguiente posición del array
  lecturaActual = lecturaActual + 1;
  // Comprobamos si hemos llegado al final del array
  if (lecturaActual >= numLecturas)
  {
    primeraMedia = true;
    lecturaActual = 0;
  }
  // Calculamos la media
  media = (total / numLecturas);

  // Solo mostramos si hemos calculado por lo menos una media
  if (primeraMedia)
  {
    Serial.print(media);
    Serial.println(" cm");
  }
  delay (500);

  z = map ( media, 39, 9, 0, 255); // VALORES LIMITES INFERIOR Y SUPERIOR 40CM,6CM

  analogWrite(9, z);
  delay (500);
  //ecuacion para obtener de PWM a Voltaje de lectura en el Pin6
}

// Método que inicia la secuencia del Trigger para comenzar a medir
void iniciarTrigger()
{
  // Ponemos el Trigger en estado bajo y esperamos 2 ms
  digitalWrite(PinTrig, LOW);
  delayMicroseconds(2);

  // Ponemos el pin Trigger a estado alto y esperamos 10 ms
  digitalWrite(PinTrig, HIGH);
  delayMicroseconds(10);

  // Comenzamos poniendo el pin Trigger en estado bajo
  digitalWrite(PinTrig, LOW);
}

```

Figura 3. 41 Algoritmo de control sensor de nivel

Para el nivel mínimo que es 0 litros se midió una distancia de 39 [cm] mientras que para el nivel máximo de 30 litros se midió 9 [cm] tomando como referencia la posición del sensor en el tanque como se ve en la figura 3.42. Estos valores son la referencia para que el controlador Arduino realice el acondicionamiento de la señal del sensor ultrasónico y envíe el voltaje de 0 [V] a 5 [V] que será recibido por el PLC para su procesamiento y posterior interpretación en el HMI.

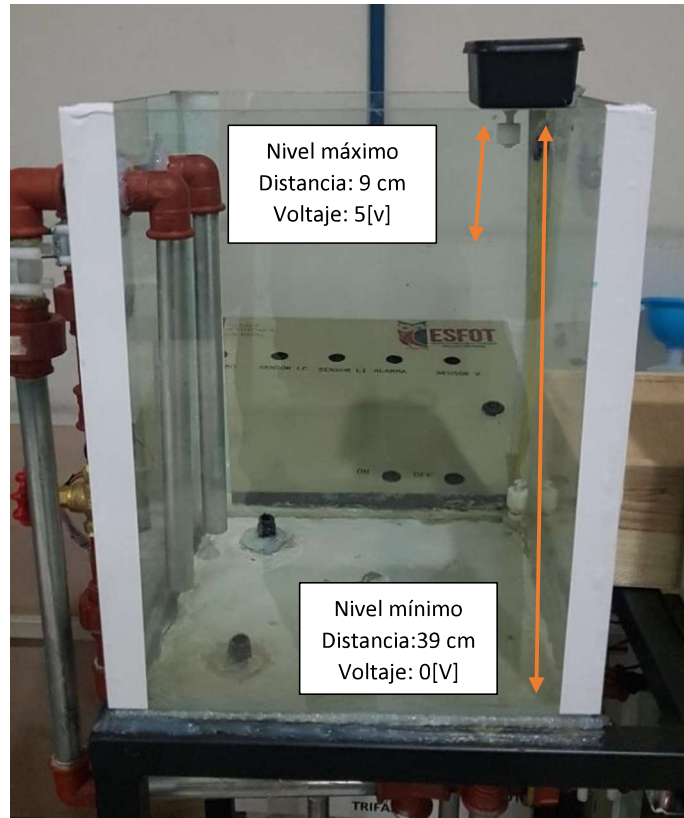


Figura 3. 42 Calibración del sensor ultrasónico

- **Módulo: transmisor de flujo**

La variedad de sensores de flujo en el mercado es muy grande, al igual que su costo. Sensores ultrasónicos, de efecto coriolis, electromagnéticos, presión diferencial, etc., ya sean estos analógicos o digitales, los cuales presentan una salida normalizada de voltaje y/o corriente. Al ser estos dispositivos muy completos y robustos su costo es muy elevado por lo que para la medición de caudal en este sistema se utilizó un sensor de flujo YF-S201 el cual con ayuda del controlador Arduino envía una señal acondicionada al PLC. (Figura 3.43)

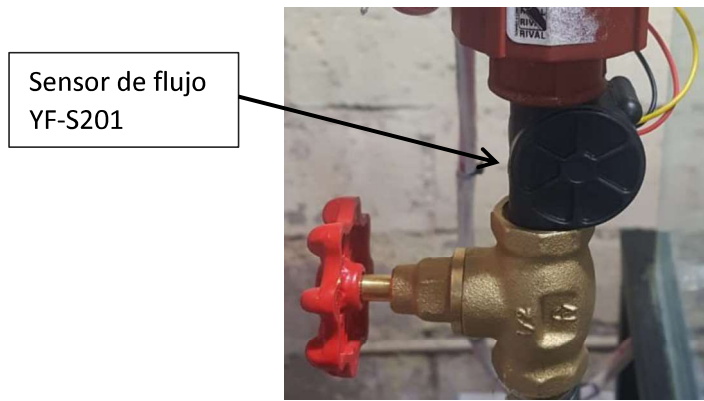


Figura 3. 43 Ubicación del sensor de flujo

Para realizar el acondicionamiento de este sensor se debe tomar en cuenta el modelo del sensor y la constante de conversión la cual indica el fabricante que en este caso es 7.5 (Anexo 01, tabla A5). Con estos datos y la ecuación 3.1 se realiza el programa para el sensor. (Figura 3.44)

$$\text{Ecu. 3.1} \quad \text{Frecuencia} = K \times \text{Caudal [L/min]}$$

```

volatile int NumPulsos; //variable para la cantidad de pulsos recibidos
int PinSensor = 2; //Sensor conectado en el pin 2
float factor_conversion=7.5; //para convertir de frecuencia a caudal
float voltaje=0;
float pwm= 6;

//---Función que se ejecuta en interrupción-----
void ContarPulsos () {
  NumPulsos++; //incrementamos la variable de pulsos
}
//---Función para obtener frecuencia de los pulsos-----
int ObtenerFrecuecia() {
  int frecuencia;
  NumPulsos = 0; //Ponemos a 0 el número de pulsos
  interrupts(); //Habilitamos las interrupciones
  delay(1000); //muestra de 1 segundo
  noInterrupts(); //Deshabilitamos las interrupciones
  frecuencia=NumPulsos; //Hz(pulsos por segundo)
  return frecuencia;
}

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pwm, OUTPUT);
  pinMode(PinSensor, INPUT);
  attachInterrupt(0,ContarPulsos,RISING); //(Interrupción 0(Pin2),función,Flanco de subida)
}

void loop ()
{
  float frecuencia=ObtenerFrecuecia(); //obtenemos la frecuencia de los pulsos en Hz
  float caudal_L_m=frecuencia/factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m
  voltaje=(caudal_L_m)*5.00/40; // volumen(L)=caudal(L/s)*tiempo(s)
  if(voltaje>=0 && voltaje<=40){
    analogWrite(pwm, (voltaje*255)/5); // pwm en funcion del voltaje de 0 a 5 en pin 6
    Serial.print ("Caudal: ");
    Serial.print (caudal_L_m,3);
    Serial.print ("L/min\tVoltaje: ");
    Serial.print (voltaje,3);
    Serial.println (" v");
  }else{
    Serial.print ("fuera de rango");
  }
}

```

Figura 3. 44 Algoritmo de control Caudalímetro

Una vez realizado y cargado el programa en el Arduino se inicia el proceso y se verifica el funcionamiento del sensor de flujo. Ya que el sensor está colocado en la tubería de llenado del tanque de control, solo al realizar el proceso de llenado del tanque de control se mide el caudal que pasa por dicha tubería.

En términos ideales el caudal medido debe coincidir con el caudal que indica la placa de la bomba de agua. Pero al momento del proceso se visualiza que el caudal medido es menor al caudal que indica la bomba (ver figura 3.45).

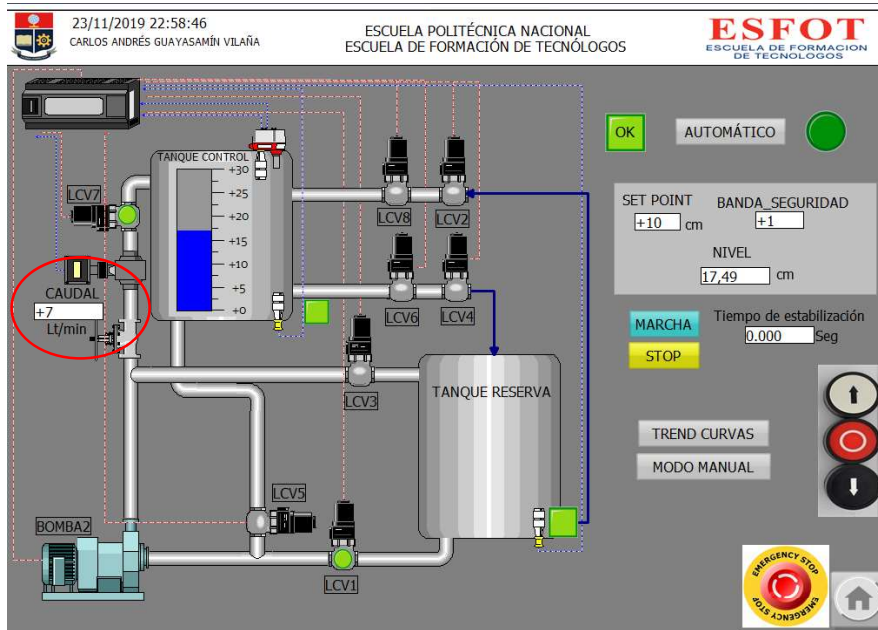


Figura 3. 45 Visor de caudal

El motivo de esta disminución en el caudal de la bomba se debe a las pérdidas por fricción y accesorios en el sistema de bombeo. A continuación, se realiza el cálculo teórico de las pérdidas de carga del sistema de bombeo, utilizando la curva de rendimiento de la bomba que se observa en la figura 3.46. En el eje vertical se tiene la carga de la bomba (H) expresada en metros, y en el eje horizontal el caudal de la bomba.



Figura 3. 46 Curva de rendimiento, [15]

Ahora para conocer las pérdidas por fricción se utilizará la fórmula de Darcy-Weisbach (Ecuación 3.2).

$$\text{Ecu. 3.2} \quad H_f = \frac{\lambda L V^2}{2gD}$$

En donde:

λ = coeficiente de rozamiento

L= longitud de la tubería

V= velocidad del fluido

g= gravedad

D= diámetro de la tubería

Q= caudal

Como ya se conoce el caudal, diámetro y longitud de tubería lo primero que se hace es transformar el caudal de litros por minutos a metros cúbicos por segundo (Ecuación 3.3).

$$\text{Ecu. 3.3} \quad Q = 40 \frac{\text{lbs}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lbs}} = 6.67 \times 10^{-4} [\text{m}^3/\text{seg}]$$

Con el caudal obtenido y el diámetro de la tubería que es de 1/2" que es igual a 0,0127 [m] se procede a calcular las pérdidas por fricción.

Para empezar, se realiza el cálculo de la velocidad del fluido. (Ecuación 3.4)

$$\text{Ecu. 3.4} \quad V = \frac{Q}{A} = \frac{6.67 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}}{\pi/4 \times (0.00127 \text{ m})^2} = 5.27 [\text{m}/\text{seg}]$$

Una vez conocida la velocidad del fluido se realiza el cálculo del número de Reynolds. Este valor adimensional indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento. En este caso el flujo resultante es turbulento. (Ecuación 3.5)

$$\text{Ecu. 3.5} \quad Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{5.27 \text{ m}}{\text{seg}} \times \frac{0.0127 \text{ m}}{1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}} = 66929$$

La última variable que falta por conocer es el coeficiente de rozamiento (Ecuación 3.6).

$$\text{Ecu. 3.6} \quad \lambda = 0.316 \times Re^{-0.25} = 0.316 \times 66929^{-0.25} = 0.02$$

Por último, se reemplaza las variables en la ecuación 3.2 y se obtienen las pérdidas por fricción del sistema. Se debe tomar en cuenta que la longitud que se reemplaza en la ecuación es equivalente a la longitud tomada desde la bomba hasta la descarga en el tanque de control.

$$H_f = \frac{\lambda LV^2}{2gD} = \frac{0.02 \times 2m \times (5.27m)^2}{2 \times \frac{9.8m}{seg^2} \times 0.0127m} = 4.46[m]$$

Una vez conocidas las pérdidas por fricción del sistema se realiza el cálculo teórico de las pérdidas por accesorios. Para ello se toma las pérdidas por accesorios por el método de longitud equivalente, es decir se considera una pérdida equivalente a metros adicionales de tubería. [16]

Con los coeficientes de accesorios de la tabla A7, Anexo 01 se calculan las pérdidas por accesorios, detallando todos los componentes que se tiene en el sistema de descarga los cuales se detallan en la tabla 3.8.

Tabla 3. 8 Accesorios hidráulicos del sistema de control

Accesorio	Coefficiente K	Cantidad	Total (m)
Reducción	0.35	1	0.35
Codo 90°	0.9	3	2.7
Tee	1.5	1	1.5
Válvula de compuerta	5.0	1	5.0
Controlador de gastos	2.5	1	2.5
Longitud equivalente			12.05

Con el dato obtenido en la tabla 3.8 se reemplaza en la ecuación 3.7 y se obtiene las pérdidas por accesorios en el sistema.

$$\text{Ecu. 3.7} \quad H_{acc} = \frac{\lambda L_{eq} V^2}{2gD} = \frac{0.02 \times 12.05 m \times (5.27 \frac{m}{s})^2}{2 \times \frac{9.8m}{seg^2} \times 0.0127m} = 26.89 [m]$$

Por último, se suma las pérdidas por fricción, por accesorios y la diferencia de nivel entre el nivel de succión y el de descarga.

$$\begin{aligned} \text{Ecu. 3.8} \quad H_T &= H_f + H_{acc} + H \\ H_T &= 4.46m + 26.89m + 1.12m \\ H_T &= 32.47 [m] \end{aligned}$$

Conocidas las pérdidas totales del sistema se intersecan los puntos en la curva de rendimiento de la bomba (figura 3.47). [16]

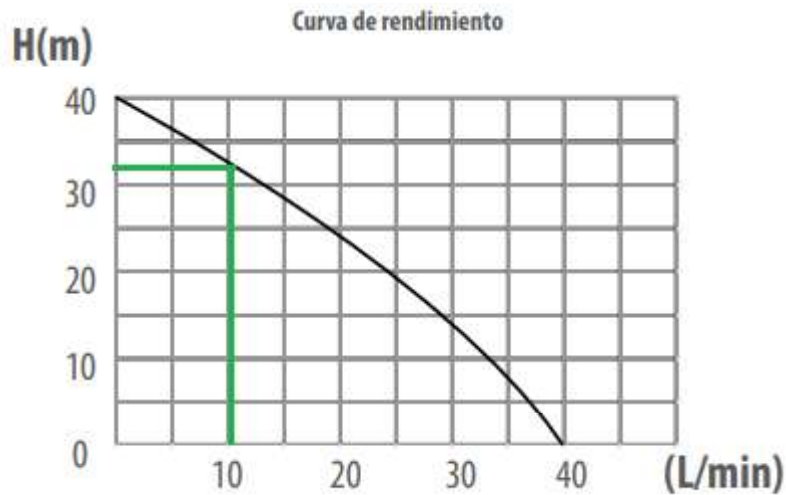


Figura 3. 47 Caudal teórico de la bomba

Como se observa en la figura 3.47 el caudal teórico final del sistema es 10 litros por minuto. Estos datos obtenidos son teóricos por lo que el resultado puede inferir al valor del caudal medido en el sistema. Como se puede observar en la figura 3.48 el caudal práctico que se obtiene en el sistema es de 7 [Lt/min].

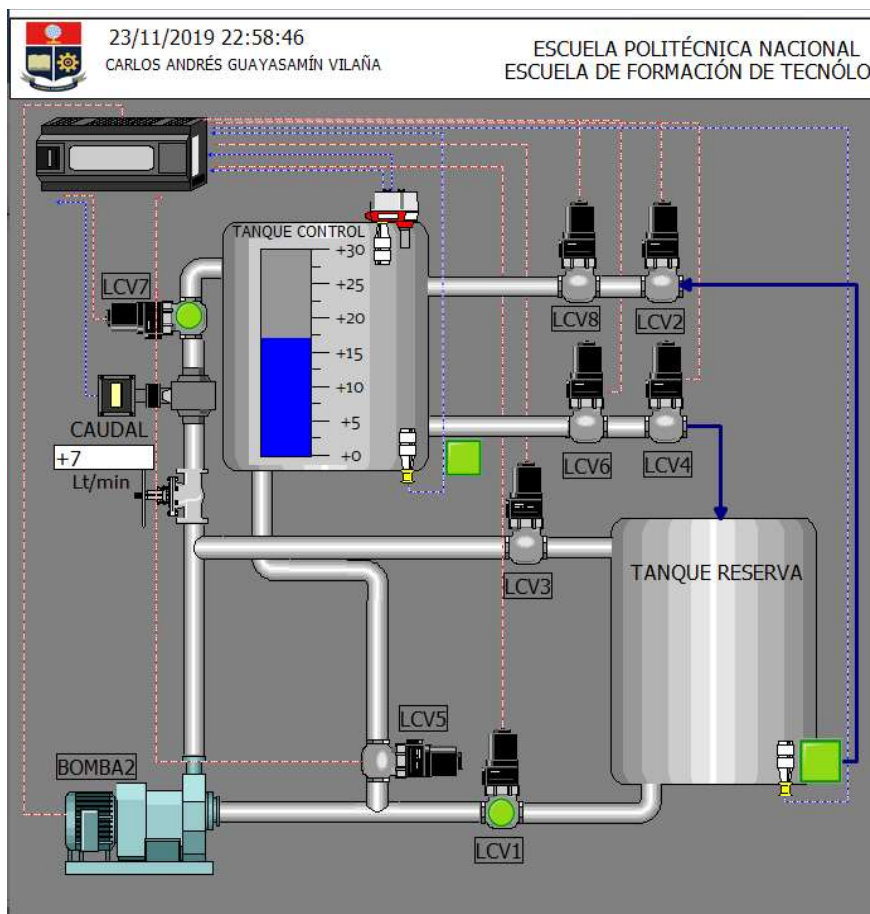


Figura 3. 48 Medida de caudal

- **Funcionamiento planta de control**

Para la comprobación del funcionamiento de cada uno de los elementos o dispositivos de la planta de control de nivel y medición de caudal se conecta la planta de control al PLC tal y como lo indica la lámina 05 del Anexo 03, de esta manera se activan luces piloto, selector, pulsadores, relés, Contactores electromagnéticos y actuadores como se ve en la figura 3.49, además en la figura 3.50 se muestra el diagrama de entradas y salidas del PLC.

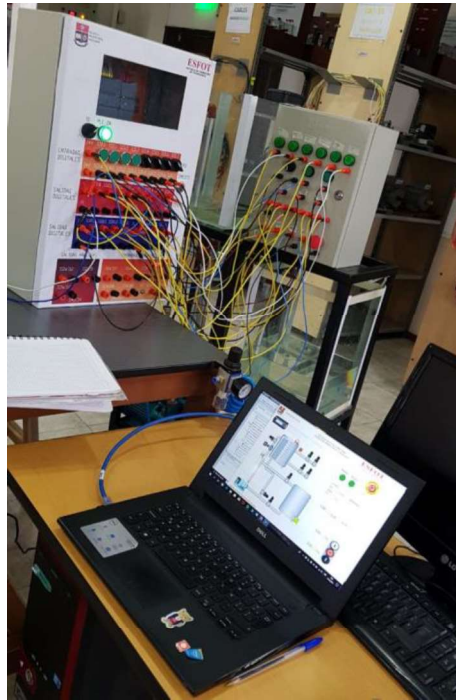


Figura 3. 49 Pruebas del sistema de control

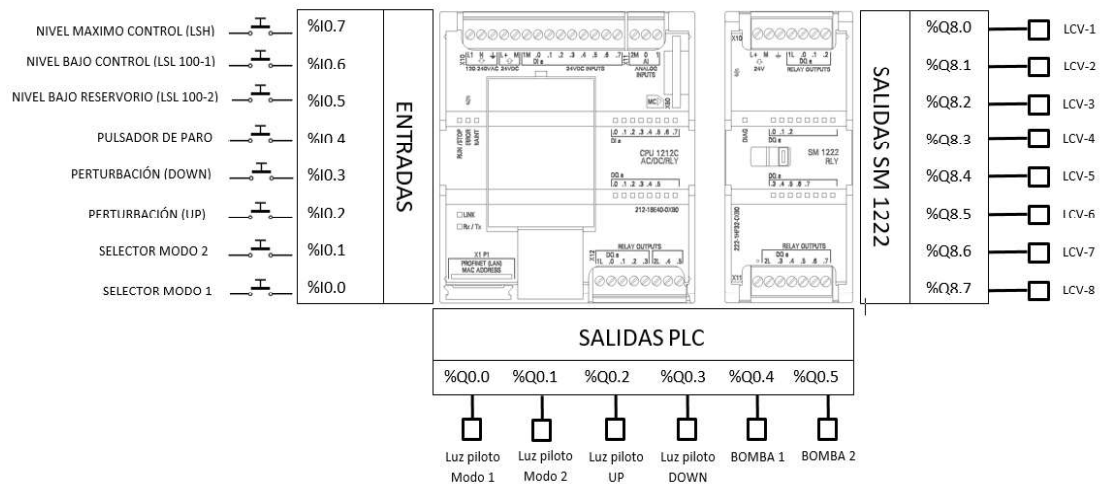


Figura 3. 50 Diagrama I/O del PLC

Se realizaron todas las pruebas correspondientes al sistema eléctrico y comunicación tal como se detalla en la tabla 3.9.

Tabla 3. 9 Check list de pruebas de funcionamiento

Check List	
Pruebas realizadas	Estado
Pruebas de continuidad entre borneras del SM1222 y borneras del módulo PLC	OK
Pruebas de comunicación entre el SM 1222 y el PLC	OK
Activación de las salidas del SM 1222	OK
Pruebas de continuidad entre dispositivos del sistema y borneras del panel central	OK
Activación de actuadores (electroválvulas y bombas de agua)	OK
Pruebas de accionamiento dispositivos de entrada al PLC (selectores, pulsadores y sensores de nivel tipo flotador)	OK
Pruebas de calibración del sensor de nivel	OK
Pruebas de calibración del sensor de flujo	OK
Pruebas de comunicación entre el sistema de control y el PLC	OK
Pruebas del sistema de control biestable	OK

3.6 Prácticas

Para aprovechar todas las características del módulo de expansión SM1222 y la planta de control de nivel y medición de caudal se han desarrollado dos hojas guías las cuales permitirán realizar prácticas de control e instrumentación industrial a los estudiantes de la carrera de Tecnología en Electromecánica. (Ver anexo 05)

CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El trabajo expuesto como proyecto de titulación cumple con el objetivo principal que consiste en la construcción de una planta didáctica de control de nivel biestable y medición de caudal a través de un controlador lógico programable (PLC) S7-1200 y un módulo de expansión de salidas digitales SM 1222.
- La selección y montaje del módulo de expansión de salidas digitales SM 1222 se realizó tomando en cuenta normas técnicas expuestas en el manual SIEMENS, de tal forma que al poner en funcionamiento al PLC con el módulo SM no presente ninguna anomalía y funcione de forma correcta.
- Para vincular el módulo SM 1222 con el PLC es necesario comunicar y configurar los dispositivos al inicio de cada programación, lo que permitirá el uso de las ocho salidas digitales adicionales para el control del sistema.
- Los actuadores de un sistema de control no siempre serán activados con un mismo valor de voltaje, por lo que el módulo SM 1222 brinda independencia de señales de voltaje en dos grupos. El primer grupo conformado por las salidas tipo relé de dirección: %Q8.0 a %Q8.3 se alimentan con L1 y 3N, mientras que el segundo grupo conformado por las salidas tipo relé de dirección: %Q8.4 a %Q8.7 se alimentan con L2 y 4N. En el caso la planta de control de nivel y medición de caudal todos los actuadores son activados a 110V.
- El acondicionamiento de los sensores tanto de nivel como de flujo se realizó por software utilizando la plataforma Arduino. Un aspecto importante del acondicionamiento del sensor ultrasónico para el control de nivel de líquidos es la comparación que se realizó entre la distancia del sensor al líquido y el volumen del contenedor. Es así que al medir la distancia que se tiene desde el sensor al líquido se obtiene adicionalmente el volumen del contenedor.
- El acondicionamiento del sensor de flujo YF-S201 realizado en el software de ARDUINO, representa al caudal como la relación entre la frecuencia y el factor de conversión el cual es dictado por el fabricante de cada sensor de flujo, que en este caso es de 7.5.
- Al obtener valores de voltaje de 0 [V] a 5 [V] a la salida de los módulos de nivel y caudal, los bloques de normalización y escalamiento del software Portal TIA V15 son los que realizan el acondicionamiento de unidades de procesamiento (0-13824) que ingresan al PLC a unidades de volumen comprendidas entre 0

[lts] a 30 [lts]. Y a unidades de caudal definidas entre 0 [lts/min] a 40 [lts/min] para posteriormente ser usadas en la interfaz humano-máquina HMI.

- El control biestable (ON/OFF) al ser de naturaleza No Lineal es usado en procesos en donde no se requiere un control muy preciso, ya que la variable controlada se mantiene en un ciclo continuo de variación y los actuadores se accionan de manera brusca.
- Para el mejoramiento del control biestable del sistema de nivel se consideraron una banda de histéresis de ± 1 litros tomando está como referencia para la activación y desactivación de los actuadores y un tiempo de estabilización logrando así el accionamiento eficiente de los actuadores.
- Al tener varios accesorios y reducción en el diámetro de la tubería del sistema de bombeo se presentan pérdidas de carga y de accesorios lo cual da como resultado 7 [lt/min] que representa un 17.5% del caudal total de la bomba medido por el sensor de flujo.
- La representación gráfica de la interfaz humano-máquina (HMI) de un proceso industrial facilita el control, monitoreo y supervisión del sistema biestable, ya que, se obtiene una comunicación continua entre las variables del proceso y el operador.
- El manual de usuario representa información relevante de todo el sistema de control, diagramas de conexionado eléctrico del tablero principal al PLC, procedimientos de operación y puesta en marcha del sistema y sus respectivas actividades de mantenimiento.
- El desarrollo de proyectos en el ámbito de automatización representa un aporte para reforzar los conocimientos de los estudiantes de la carrera de Tecnología en Electromecánica de la Escuela de Formación de Tecnólogos en el área de instrumentación y control industrial.

4.2 Recomendaciones

- Revisar previamente las características técnicas y de funcionamiento de los equipos y sistemas didácticos que se va a utilizar, para evitar accidentes que conlleven a un daño de los propios equipos y mucho más de la integridad del operador.
- Cumplir con las instrucciones de uso y seguir los pasos de operación y puesta en marcha del sistema de control incluidos en este documento para alargar la vida útil del sistema de control y obtener un rendimiento óptimo del mismo.

- Verificar características técnicas de voltaje y corriente máximos admisibles del módulo SM 1222, para evitar sobrecargas, cortocircuito o dañar los relés propios del módulo.
- Antes de energizar el sistema de control verificar los diagramas de conexión eléctrica para así evitar cortocircuitos que den como resultado el daño de los equipos y/o lesiones a los usuarios.
- Si se realizan modificaciones en los algoritmos control para el sistema didáctico, se debe tener en cuenta las variables de entrada y salida con su respectivo voltaje de alimentación. Además, realizar una interfaz humano-máquina (HMI) tomando en cuenta normas industriales de desarrollo de interfaces HMI.
- Para mejorar el sistema de control de nivel y medición de caudal se puede realizar la adquisición y montaje de una válvula de accionamiento porcentual para así realizar el control de la variable de flujo.
- Para futuras expansiones de los módulos PLC, es importante tomar en cuenta el espacio disponible para evitar sobrecalentamiento, ya que de esto dependerá el correcto funcionamiento del Controlador Lógico Programable.
- Realizar las actividades de mantenimiento descritas en este documento que permita conservar y prolongar la vida útil del equipo, actuadores, sistema didáctico, así como del módulo SM 1222.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Logicbus,» [En línea]. Available: <http://www.logicbus.com.mx/plc.php>. [Último acceso: 11 Julio 2018].
- [2] «QUIMINET,» [En línea]. Available: https://www.quiminet.com/articulos/sistemas-de-automatizacion-en-procesos-industriales-63179.htm?mkt_source=22&mkt_medium=2421141438&mkt_term=66&mkt_content=&mkt_campaign=1. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [3] «MicroCapacitación,» [En línea]. Available: <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [4] SIEMENS, Lista de precios, productos industriales, Eléctricos, Quito, 2018.
- [5] «PIROBLOC,» [En línea]. Available: <https://www.pirobloc.com/blog-es/que-es-un-piping-and-instrumentation-diagram/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [6] «NaylampMechatronics,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [7] A. & R. P. Ayala, «Sistema de Control de Nivel,» 2015.
- [8] R. & C. F. Vaca, Diseño e implementación de un módulo didáctico de monitoreo y control del nivel de agua basado en un computador, a través del PLC utilizando LABVIEW para el laboratorio de control (Tesis de grado)., Riobamaba, Ecuador, 2010.
- [9] C. Perez, Diseño e implementación de un módulo didáctico con controladores lógicos programables., Quito, Ecuador, 2008.
- [10] SIEMENS, «SIMATIC S7-1200,» [En línea]. Available: https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/Documentacion-Didactica/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf. [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- [11] SIEMENS AG, Manual de producto, Alemania: Division digital factory, 2015.
- [12] «Instituto Argentino de Automatización Industrial,» [En línea]. Available: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Piping/medcaudal.htm>. [Último acceso: 27 Agosto 2019].
- [13] S. A. D. Cuenca, *Introducción al Portal TIA V15*, Quito, 2019.
- [14] J. R. Quinteros H y H. d. J. Cuicas R, *American National Standard*.
- [15] PROMESA, [En línea]. Available: <http://www.promesa.com.ec/wp-content/uploads/2018/08/Bombas-y-Plomeria-1.pdf>. [Último acceso: 08 Septiembre 2019].

- [16] M. Jaime Ribot y J. Nacenta Anmella, Guía práctica de dimensionado de tuberías, Barcelona: Ediciones Experiencia, S.L., 2013.
- [17] «Hidráulica fácil,» [En línea]. Available: <https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>. [Último acceso: 08 Septiembre 2019].
- [18] L. & C. D. Armijos, «Diseño e implementación de controladores inteligentes en el control de nivel de un sistema multi-tanque,» Sangolqui, Ecuador, 2012.
- [19] M. & E. P. Méndez, «Implementación de un banco de pruebas para el control de nivel de líquidos en el laboratorio de instrumentación industrial de la facultad de mecánica (Tesis de grado).,» Riobamba, Ecuador, 2014.
- [20] E. E. Nacimba Villareal y S. E. Ríos Hidalgo, «Diseño, reconstrucción e implementación del modular didáctico para control de nivel, caudal y temperatura basado en autómatas programables usando software libre (Tesis de grado).,» Sangolqui, Ecuador, 2016.
- [21] G. R. N. B. S. S. C. & A. L. H. M. F. López huerta, «Scielo,» [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmf/v59n1/v59n1a11.pdf>. [Último acceso: 27 Agosto 2019].

ANEXOS

ANEXO 01 : CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	53
ANEXO 02 : PLANOS ESQUEMÁTICOS	59
ANEXO 03 : PLANOS ELÉCTRICOS	62
ANEXO 04 : ALGORITMO DE CONTROL	68
ANEXO 05 : PRÁCTICAS	81
ANEXO 06 : MANUAL DE USUARIO	87

ANEXO 01 : CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tabla A 1 Datasheet SM 1222



Tensión de alimentación	
Rango admisible, límite inferior (DC)	20.4 [V]
Rango admisible, límite superior (DC)	28.8 [V]
Intensidad de entrada	
De bus de fondo 5V DC, máx.	120 [mA]
Tensión de salida	
Valor nominal (DC)	5 [V] DC a 30 [V] DC
Valor nominal (AC)	5 a 250 [V] AC
Intensidad de salida	
Para señal "1" valor nominal	2 [A]
Salidas de relé	
Nº de salidas relé	8
Tensión nominal de alimentación de bobina de relé L+ (DC)	24 [V]
Número de ciclos de maniobra, máx.	Mecánicos: 10 millones, con tensión nominal de carga: 100 000
Poder de corte de las salidas	
Con carga resistiva, máx.	2 [A]
Con carga tipo lámpara, máx.	30 [W] con DC, 200 [W] con AC

Tabla A 2 Especificaciones bomba periférica



MODELO	Max. Capacidad [l/min]	Max. Altura [m]	Max. Succión [m]	Potencia [W]	Diámetro Bomba [mm]
PBP-50	40	38	9	370	1" x 1"

Tabla A 3 Parámetros técnicos electroválvula solenoide

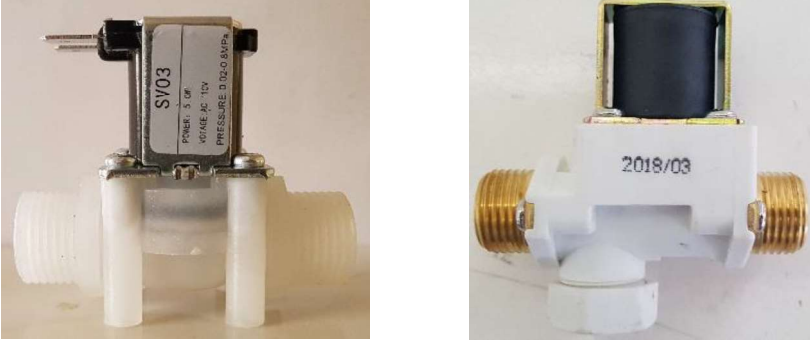
	
Parámetros técnicos	
Forma de accionamiento	Pilot type
Tipo	NC
Presión de trabajo	0.02MPa – 0.8MPa
Temperatura de trabajo	0 – 80 °C
Alimentación	AC 110 V, 0.02 A
Características de caudal	Pressure 0.02MPa – Flux 3 L/min Pressure 0.1MPa – Flux 8L/min Pressure 0.3MPa – Flux 13L/min Pressure 0.8MPa – Flux 25 L/min

Tabla A 4 Especificaciones sensor de nivel tipo flotador

	
Material	PP
Potencia (Max)	10 [W]
Voltaje de accionamiento (Max)	110 [V]DC
Corriente de accionamiento (Max)	0.5 [A]
Corriente continua (Max)	1 [A]
Resistencia (Max)	100 [OHM]
Rango de temperatura	-20 a +80 [°C]

Tabla A 5 Características técnicas sensor de flujo YF-S201

	
Especificaciones técnicas	
Voltaje de operación	5 [V] – 18 [V] DC
Consumo de corriente	15 [mA] (5 [V])
Capacidad de carga	10 [mA] (5 [V]DC)
Salida	Onda cuadrada pulsante
Rango de flujo	1 – 30 [L/min]
Volumen promedio por pulso	2.25 [ml]
Pulsos por litro	450
Factor de conversión	7.5
Rosca externa	½" NPS
Presión de trabajo máximo	1.75 [MPa] (17 bares)
Temperatura de funcionamiento	-25[°C] a 80[°C]
Material	Plástico color negro

Tabla A 6 Características técnicas arduino UNO

	
Características técnicas	
Microcontrolador	ATmega 328
Voltaje	5 [V]
Voltaje entrada (recomendado)	7 – 12 [V]
Voltaje de entrada (límites)	6 – 20 [V]
Digital I/O Pins	14 (de los cuales 6 son salidas PWM)
Entradas analógicas	6
DC current per I/O pins	40 [mA]
Flash memory	32 [KB]
SRAM	2 [KB]
EEPROM	1 [KB]
Clock speed	16 [MHz]

Tabla A 7 Coeficientes para pérdidas hidráulicas por accesorios, [17]

Pieza, conexión o dispositivo	K_f
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.0
Válvula alfallera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

Tabla A 8 Calculadora de conductores de corriente alterna

Calculadora de conductores de Corriente Alterna (CA)		
Completar campos de color naranja		
1. Cálculo por Ampacidad	Corriente	Calibre recomendado (AWG o kcmil)
Corriente máxima en el conductor (A)	2,00	14
Corriente compensada al 125% por NOM (A)	2,50	14

2. Cálculo por Caída de Tensión	Complete los datos:	Caída de voltaje (%)
Corriente de operación (A)	2,00	
Longitud del conductor por polo (m)	1	
Voltaje de operación (Vrms)	240	0,01%
Resistencia del conductor seleccionado (ohm/km)	6,550	

NOTAS: Existen 2 métodos para calcular un conductor, por ampacidad y por caída de tensión. Para distancias pequeñas y bajas corrientes es usualmente suficiente calcular el calibre por el criterio de Ampacidad, siempre y cuando se utilice la recomendación del 125% que dicta la NOM y el voltaje de operación sea de al menos 24Vcd. De lo contrario, es recomendable el efectuar el cálculo para validar que la caída de tensión del cable seleccionado sea menor al 3%.

ANEXO 02 : PLANOS ESQUEMÁTICOS

ANEXO 02 : LAMINA 01

ANEXO 02 : LAMINA 02

ANEXO 03 : PLANOS ELÉCTRICOS

ANEXO 03 : LAMINA 01

ANEXO 03 : LAMINA 02

ANEXO 03 : LAMINA 03

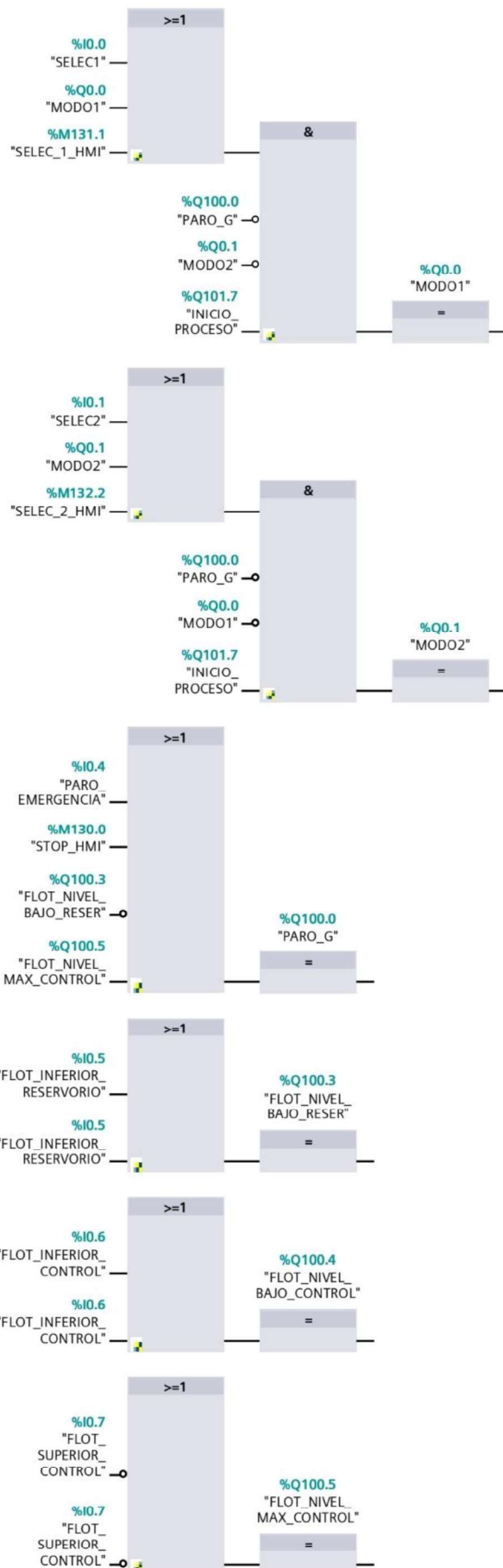
ANEXO 03 : LAMINA 04

ANEXO 03 : LAMINA 05

ANEXO 04 : ALGORITMO DE CONTROL

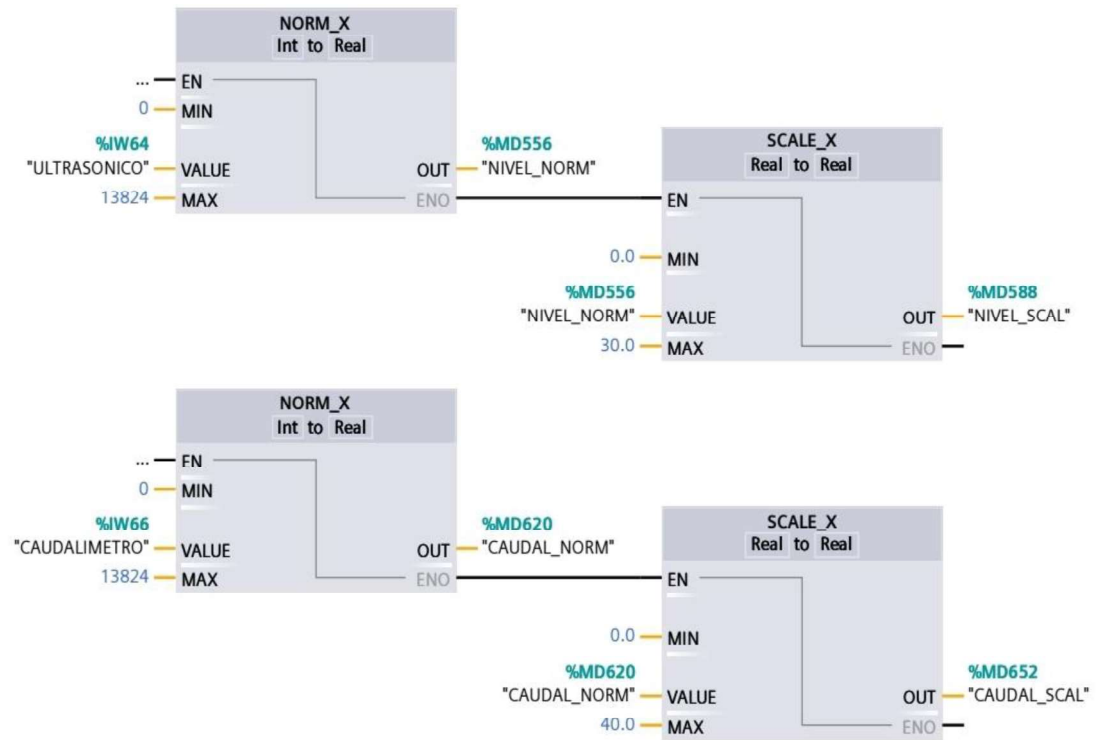
SEGMENTO 1

En el primer segmento se realizó la programación de todos los dispositivos de entrada al PLC. El selector de tres posiciones para la activación del modo 1 o modo 2, dos pulsadores para la activación de las perturbaciones, el botón de paro general el cual detendrá el proceso en cualquier momento y los sensores de nivel.



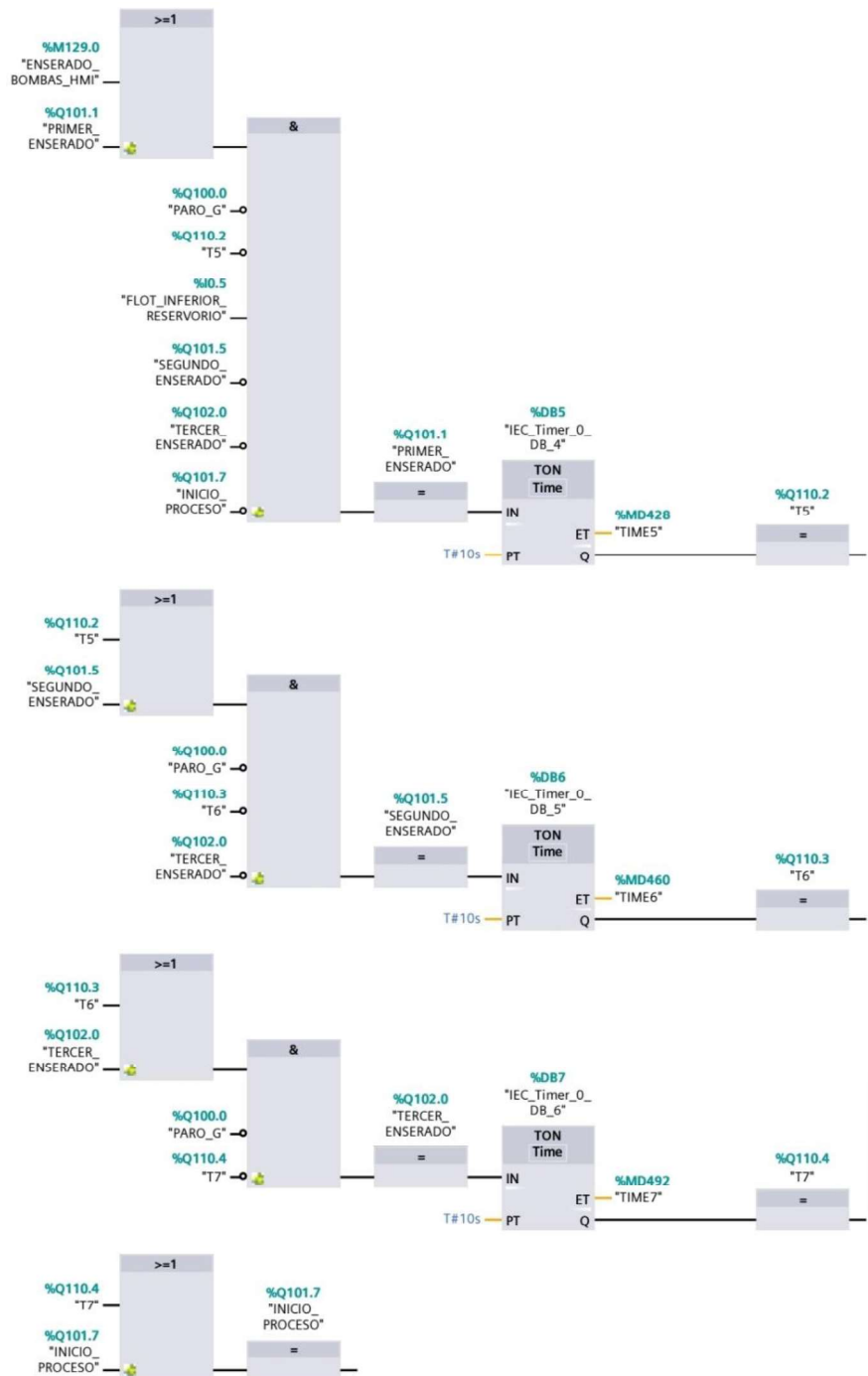
SEGMENTO 2

Corresponde a la normalización y escalamiento de las señales analógicas que envía tanto el sensor ultrasónico como el sensor de flujo.



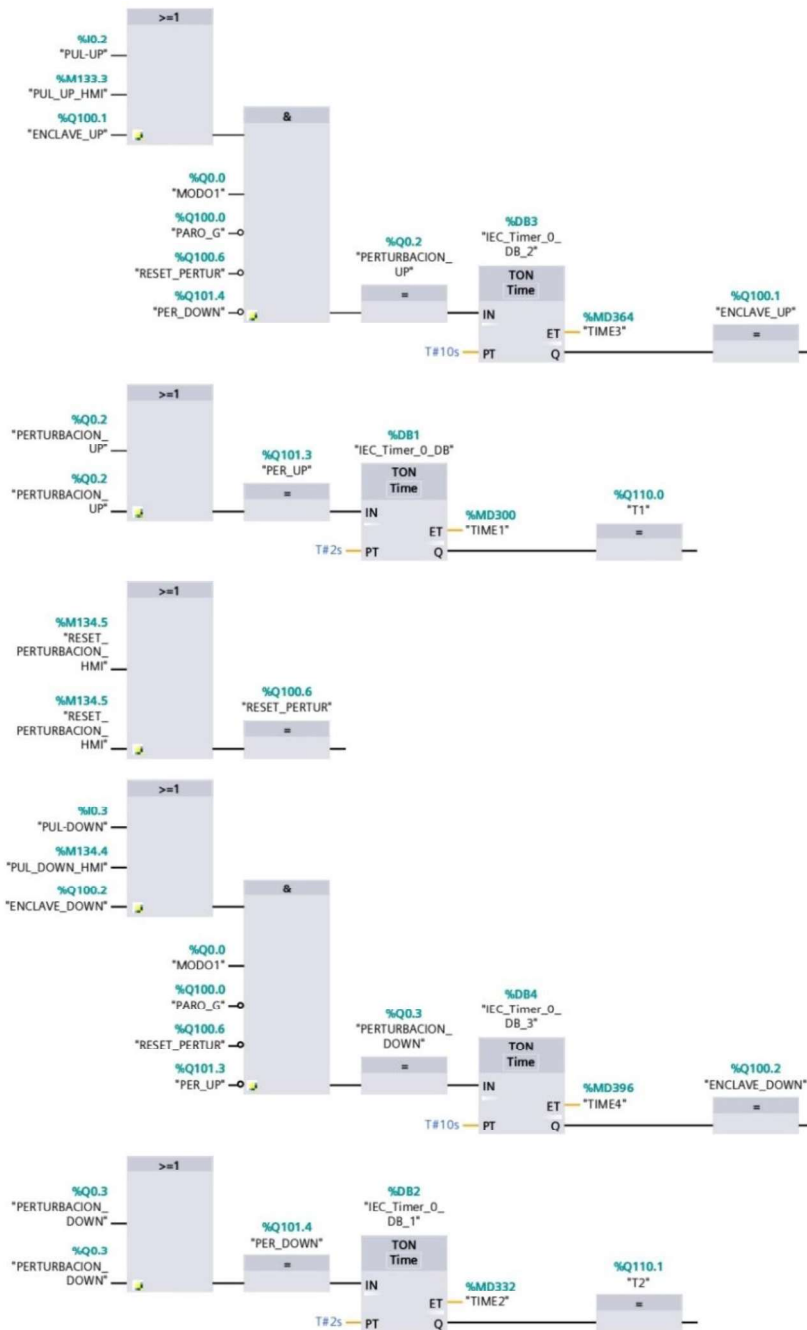
SEGMENTO 3

Cada vez que se desee iniciar el proceso por primera vez se debe realizar la inicialización del sistema de bombeo para que de esta forma se garantice que tanto las bombas como las tuberías contengan agua y se presurice el líquido en las tuberías del sistema. Para ello como se observa se realizó la programación de tal forma que se realice tres ciclos de bombeo y una vez finalizada esta fase se puede iniciar el proceso.



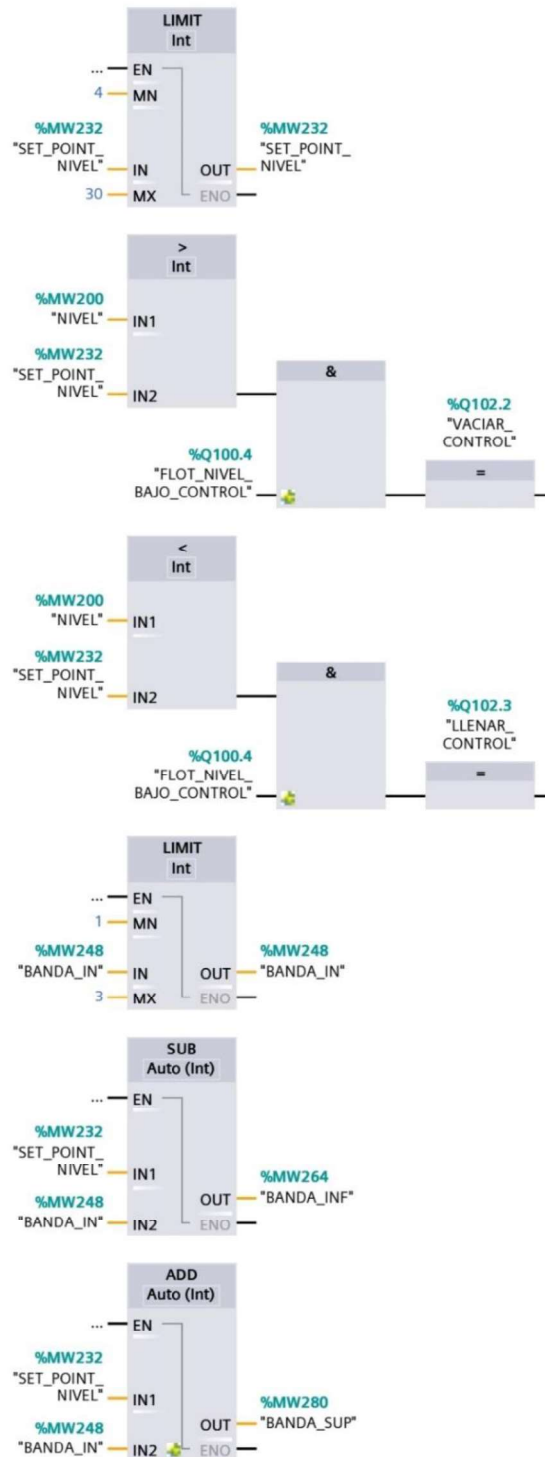
SEGMENTO 4

Corresponde a la inclusión de perturbaciones del sistema, se establecieron dos tipos de perturbaciones, con el pulsador "UP" se realiza el llenado manual del tanque de control mientras que con el pulsador DOWN se realiza el vaciado del mismo. Si el tiempo que se pulsa es mayor a 10 segundos se enclava la perturbación por lo cual se tiene el respectivo pulsador de reseteo.



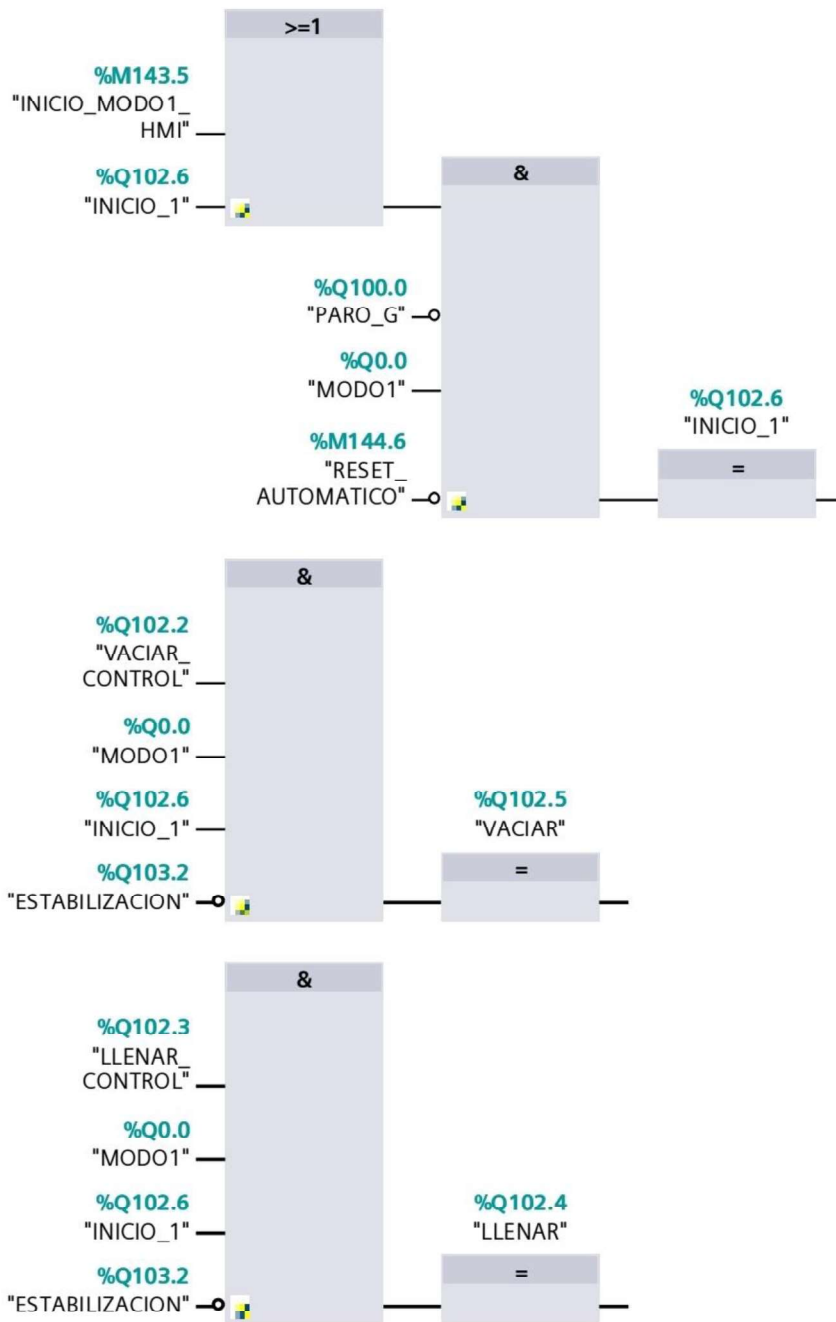
SEGMENTO 5

Se programa los campos de entrada y salida para el HMI, tanto de la referencia (SET POINT) como de la banda de seguridad. Además, se realiza la comparación de la variable del proceso (PV) con la referencia (SP) para activar la primera parte del control del modo automático.



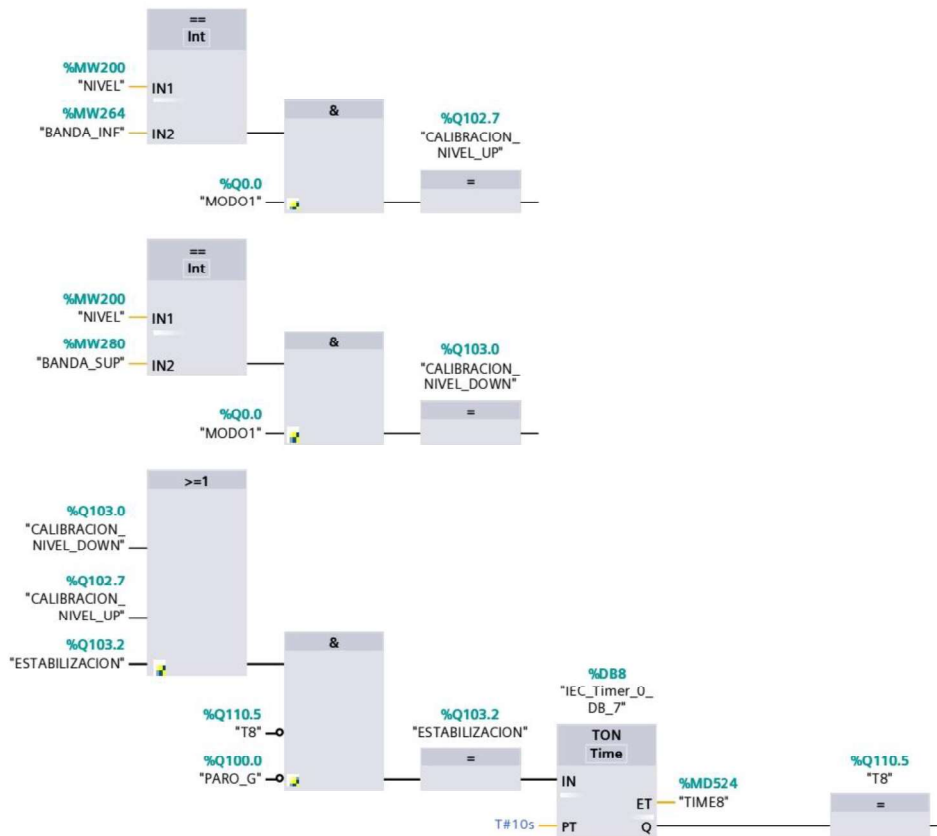
SEGMENTO 6

Una vez activada la primera parte en el segmento anterior se realiza la programación para el pulsador de inicio del proceso automático y su respectivo pulsador de reseteo.



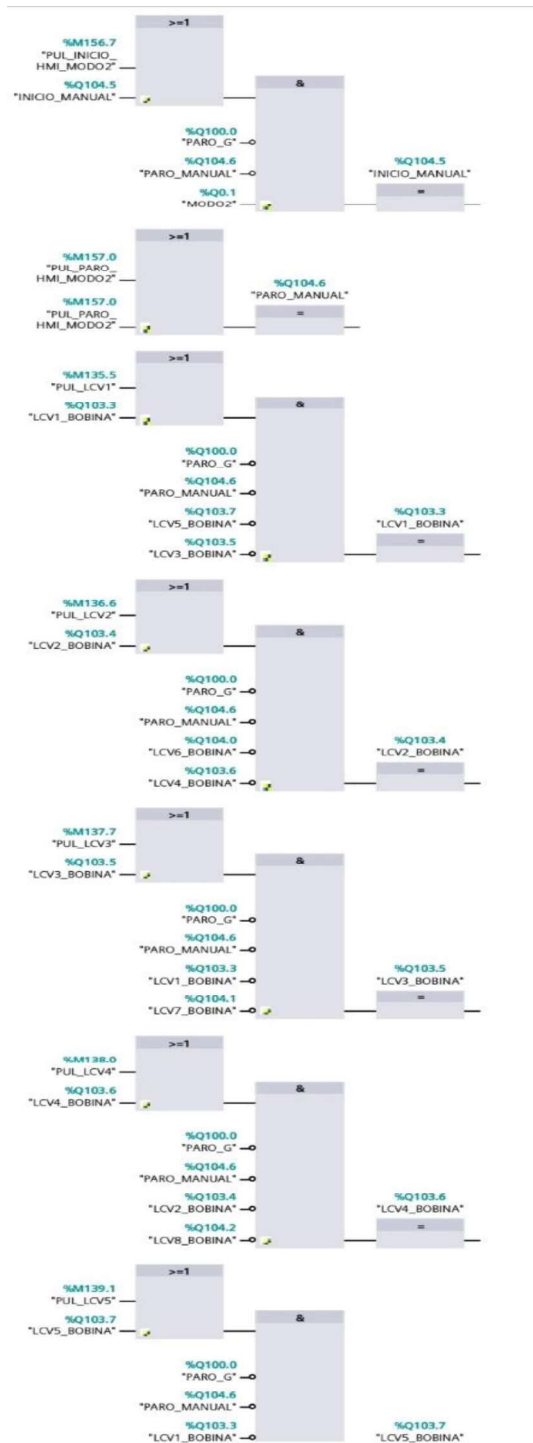
SEGMENTO 7

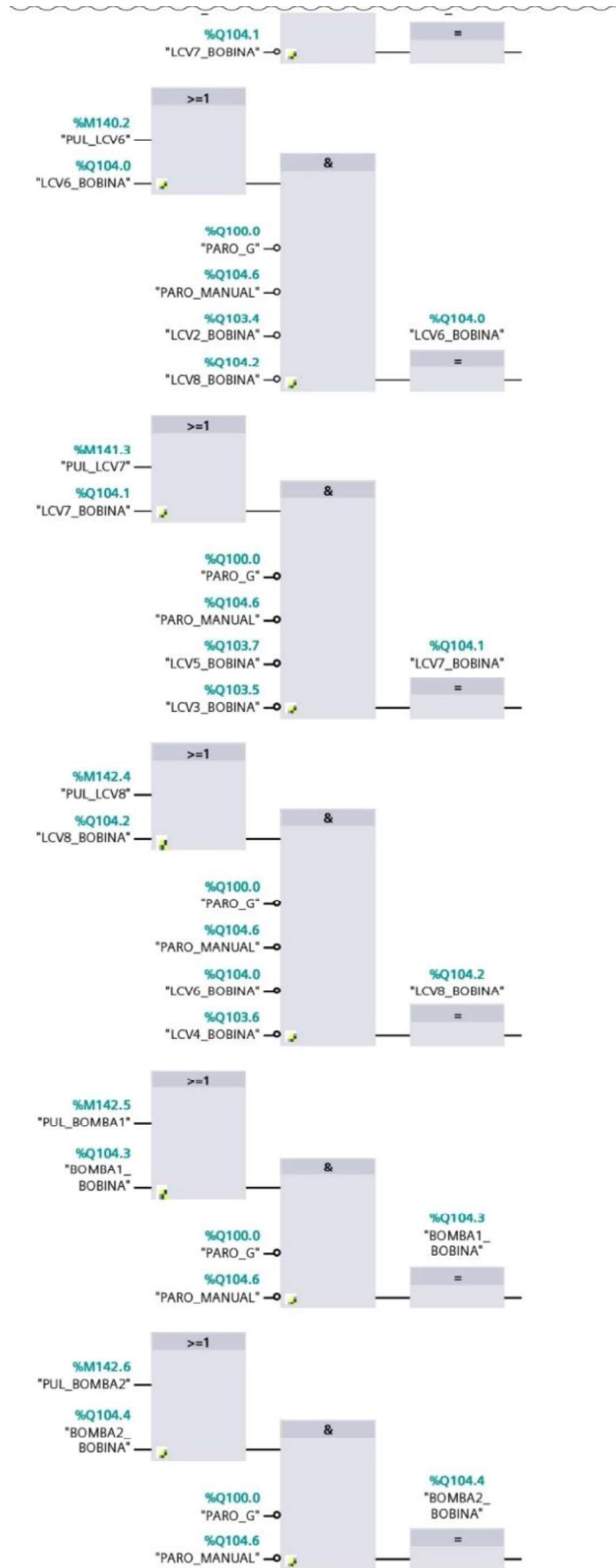
Debido a que el sistema de control es biestable (ON/OFF) los actuadores tienden a activarse repetidamente hasta alcanzar el nivel ingresado en el SET POINT, reduciendo su vida útil. Para solucionar este problema se realizó un segmento de programación para activar un tiempo de estabilización hasta que el sensor de nivel se estabilice y no se activen los actuadores de forma brusca.



SEGMENTO 8

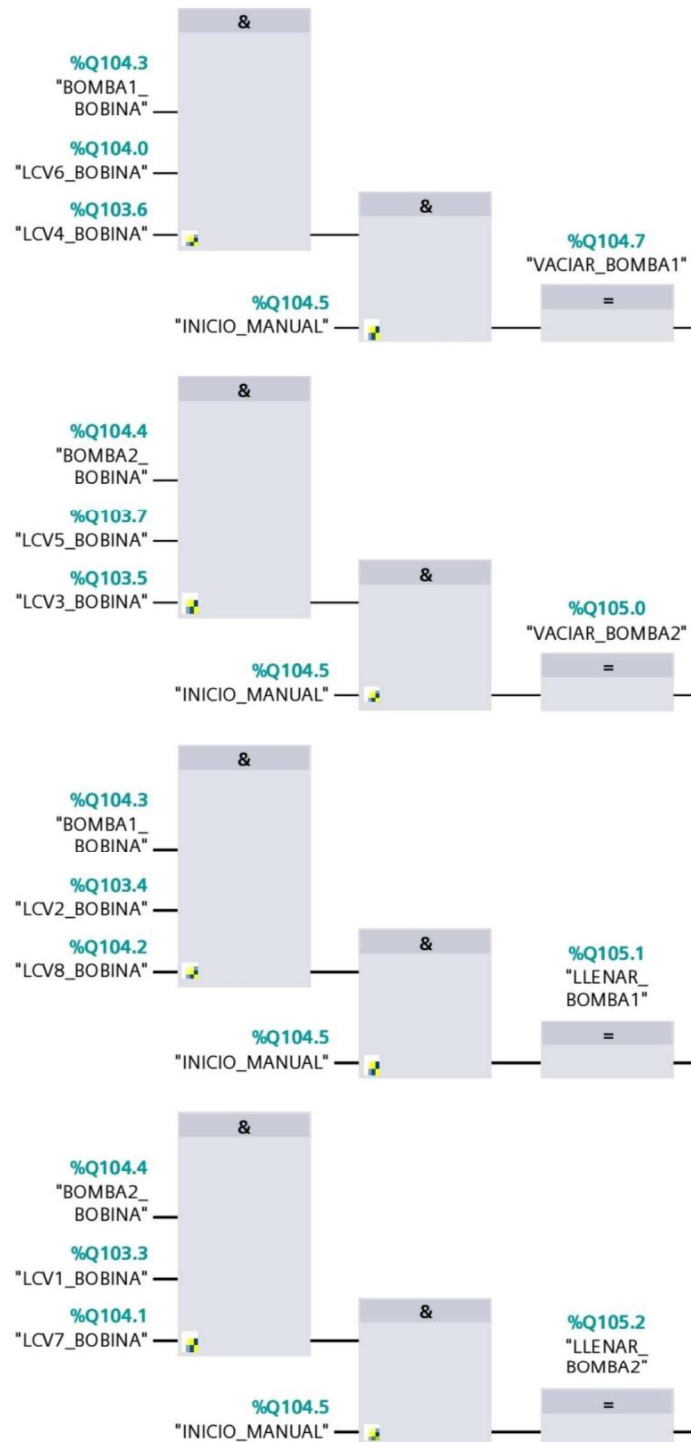
Para el modo manual se realizó un teclado en el HMI en donde consta un pulsador para cada uno de los actuadores que conforman el sistema de control. Debido a que las mismas bombas realizan el vaciado y llenado de los dos tanques se efectuó un arreglo con las electroválvulas y se realizaron los bloqueos necesarios para que al seleccionar cada uno de los actuadores, estos no se activen de forma cruzada y se realice un vaciado o llenado dentro del mismo contenedor.





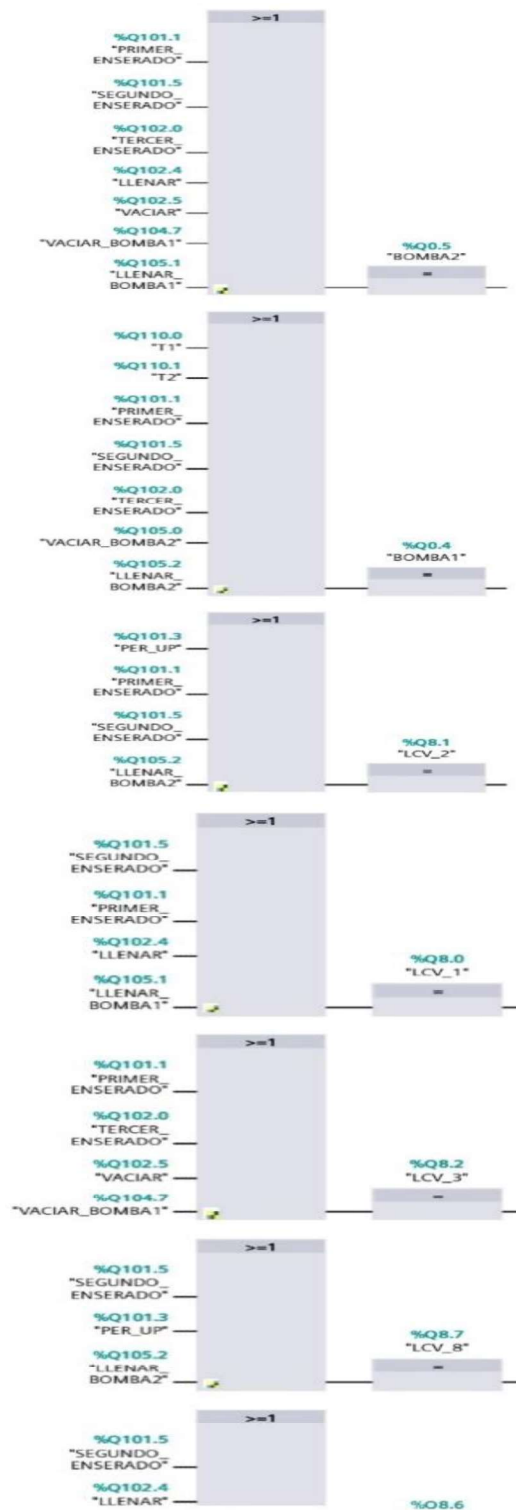
SEGMENTO 9

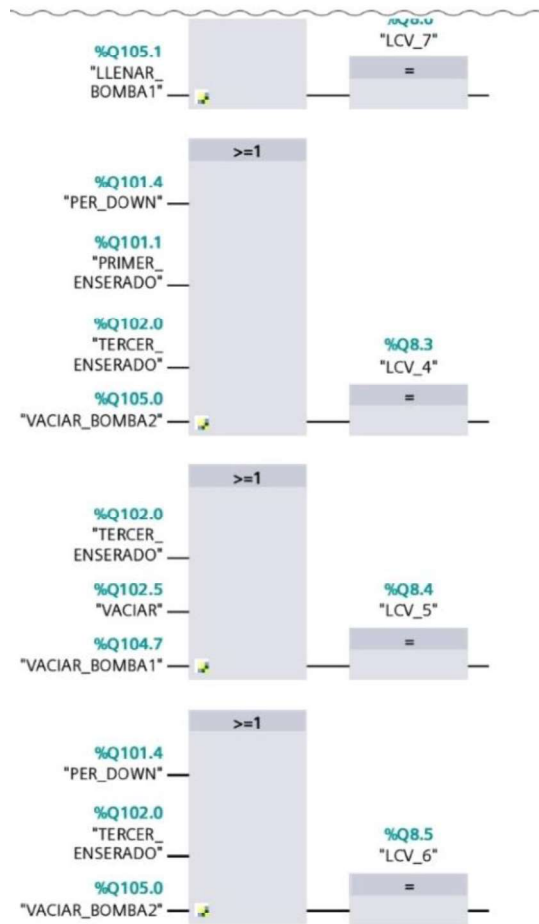
Una vez seleccionados los actuadores a activarse y se presione el botón de inicio del modo manual se activarán dos de las cuatro bobinas auxiliares las cuales iniciarán con el ciclo de vaciado o llenado de los tanques ya sea con la bomba 1 o la bomba 2.



SEGMENTO 10

Como se pudo observar en cada uno de los segmentos anteriores las bobinas activadas son auxiliares ya que no se pueden repetir las variables de salida en el algoritmo de control, es por ello que en el último segmento de programación se asoció cada una de las bobinas auxiliares con las salidas del PLC que activarán los actuadores del sistema.





ANEXO 05 : PRÁCTICAS

Práctica 1

TEMA: CONTROL DE NIVEL DE FLUIDOS

OBJETIVOS:

- ✓ Desarrollar algoritmos de control y una interfaz humano-máquina (HMI) para el control, monitoreo y supervisión de la planta de nivel mediante el software PORTAL TIA V15 de SIEMENS.
- ✓ Escalar y normalizar la variable de control y regulación para un sistema de detección de nivel con el manejo de entradas analógicas.
- ✓ Familiarizar al estudiante con el manejo y programación del módulo de expansión SM1222 disponible en el laboratorio de tecnología industrial.

EQUIPOS Y MATERIALES:

- ✓ Sistema de control de nivel biestable.
- ✓ Cables de conexión.
- ✓ Módulo PLC disponible en el Laboratorio.
- ✓ Módulo de expansión SM 1222 disponible en el Laboratorio.
- ✓ Multímetro.

INFORMACIÓN:

En el entorno del control de procesos industriales es de gran importancia el control y monitoreo de la magnitud física de nivel es por ello que se utilizan Controladores Lógicos Programables (PLC) en estos procesos, logrando así eliminar tareas repetitivas ejecutadas por el hombre, teniendo como resultado un control y monitoreo automático de todo el sistema. [18]

La planta de nivel es un equipo que es utilizado para controlar el nivel de un líquido dentro de un depósito. Este equipo en conjunto con el módulo PLC que se dispone en el Laboratorio Tecnología Industrial permite el control, supervisión y monitoreo del sistema de control de nivel. Con la ayuda del software Portal TIA V15 se logra desarrollar el algoritmo de control, así como la interfaz Humano-Máquina HMI para el respectivo control remoto. [19]

El sensor ultrasónico de nivel y su respectivo acondicionamiento de señal son los elementos básicos para el monitoreo continuo de la variable de nivel. Su funcionamiento se basa en la distancia entre el sensor y el líquido a censar, es por ello que estos dispositivos deben ser calibrados en cada uno de los contenedores configurando el nivel mínimo y máximo del líquido.

TRABAJO PREPARATORIO:

A través del software PORTAL TIA V15, diseñe un algoritmo de control en lenguaje FBD que permita controlar y monitorear el nivel del líquido de un tanque con los siguientes requerimientos:

1. Disponer de un selector de tres posiciones que seleccione el modo de trabajo del sistema. (Modo1, Modo2, OFF)
2. Activar e incluir en el algoritmo de control los sensores de nivel tipo interruptor para evitar el llenado excesivo del tanque de control, así como la succión en vacío de la bomba.
3. Programar dos pulsadores para realizar las perturbaciones en el tanque de control (UP-DOWN).
4. Escalar y normalizar la señal de acondicionamiento de nivel que envía el tablero de control del sistema.

0 litro → 0 [V]
30 litros → 5 [V]

5. Para el modo 1 se debe ingresar el nivel deseado (Set Point) y con un pulsador de marcha iniciar el proceso. Si el set point es mayor a la process value la bomba debe llenar el tanque de control hasta llegar al set point. Si el set point es menor a las process value la bomba debe vaciar el tanque de control. Si se activan las perturbaciones el sistema de inmediato debe activarse y comenzar el control.
6. En cambio, para el modo 2 se debe realizar un programa en el cual el operador pueda elegir los actuadores que desee activar, además de pulsadores de inicio y paro.
7. En el modo OFF se debe detener el programa en cualquier instante y reinicia todo el sistema, además me permite elegir el modo de trabajo.
8. Realizar un Interfaz Humano Máquina (HMI) donde se pueda supervisar, monitorear y controlar el proceso y modos de operación del mismo. La HMI debe ir acorde al sistema didáctico y al proceso. Disponer de un campo de visualización donde se pueda observar en todo momento el nivel del fluido

existente en el tanque de control en litros. Además, disponer de un trend de curvas de la variable.

PROCEDIMIENTO:

1. Establecer la conexión online con el PLC
2. Activar el módulo SM 1222
3. Diseñar el algoritmo de control y la HMI.
4. Cargar y correr el programa.
5. Verificar el funcionamiento del sistema en el laboratorio a través de su implementación.

INFORME:

- ✓ Desarrollar el informe en base al formato establecido.
- ✓ Elaborar el diagrama de conexiones de entradas y salidas al PLC.
- ✓ Colocar la HMI.
- ✓ Conclusiones y recomendaciones.
- ✓ Bibliografía.

Práctica 2

TEMA: MEDICIÓN DE CAUDAL

OBJETIVOS:

- ✓ Familiarizar al estudiante con los dispositivos de medición de caudal.
- ✓ Diseñar algoritmos de control utilizando el PLC S7-1200.
- ✓ Utilizar el software PORTAL TIA V15 para desarrollar una Interfaz Humano Máquina (HMI)

EQUIPOS Y MATERIALES:

- ✓ Sistema de control de nivel y medición de caudal.
- ✓ Cables de conexión.
- ✓ Módulo PLC disponible en el Laboratorio.
- ✓ Multímetro.

INFORMACIÓN:

En la industria es muy importante controlar y monitorear la magnitud de caudal, ya sea para el llenado de contenedores o fines de inventario del fluido. Para ello primero debemos definir que es el caudal, la definición más acertada lo define como la cantidad de fluido que circula a través de una sección de tubería por unidad de tiempo. [20]

En el mercado existen una gran variedad de sensores de flujo, cada uno con diferentes características que les permite trabajar en diferentes escenarios de la industria. Estos pueden ser: caudalímetros de presión diferencial, electromagnéticos, ultrasónicos, efecto coriolis.

El caudalímetro YF-S201 es un sensor de flujo que basa su funcionamiento en el efecto hall, el cual establece que si fluye corriente a través de sensor Hall y se aproxima a un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, entonces el sensor crea un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. [21]

TRABAJO PREPARATORIO:

A través del software PORTAL TIA V15, diseñe un algoritmo de control en lenguaje FBD que permita controlar y monitorear el nivel del sistema, además de mostrar el caudal del sistema de bombeo con los siguientes requerimientos:

1. Disponer de dos modos de trabajo (modo 1, OFF).

2. Activar e incluir en el algoritmo de control los sensores de nivel tipo interruptor para evitar el llenado excesivo del tanque de control, así como la succión en vacío de la bomba.
3. Escalar y normalizar la señal de acondicionamiento de nivel que envía el tablero de control del sistema.
$$0 \text{ litro} \rightarrow 0 \text{ [V]}$$
$$30 \text{ litros} \rightarrow 5 \text{ [V]}$$
4. Escalar y normalizar la señal de acondicionamiento de caudal que envía el tablero de control del sistema y mostrarlo en el HMI.
$$0 \text{ litros/min} \rightarrow 0 \text{ [V]}$$
$$30 \text{ litros/min} \rightarrow 5 \text{ [V]}$$
5. Modo 1: Diseñar un algoritmo de control en el cual se ingrese un set point de nivel y el sistema automáticamente iguale la process value al set point tomando en cuenta la banda de histéresis para el accionamiento correcto de los actuadores.
6. Disponer de un pulsador marcha y paro.
7. Modo OFF: debe detener el programa en cualquier instante y reinicia todo el sistema.
8. Realizar un interfaz humano máquina (HMI) en donde se pueda supervisar, monitorear, controlar el proceso y modos de operación del mismo. La HMI debe ir acorde al sistema didáctico y al proceso. Incluir el trend de curvas.

PROCEDIMIENTO:

1. Establecer la conexión online con el PLC.
2. Diseñar el algoritmo de control y la HMI.
3. Cargar y correr el programa.
4. Verificar el funcionamiento del sistema en el laboratorio a través de su implementación.

INFORME:

- Desarrollar el informe de acuerdo al formato establecido.
- Elaborar el diagrama de conexiones de entradas y salidas al PLC.
- Colocar la HMI.
- Conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía.

ANEXO 06 : MANUAL DE USUARIO

INFORMACIÓN GENERAL

En la Figura A1 se muestra enumerado cada uno de los elementos que conforma el sistema de control de nivel y medición de caudal y en la tabla A9 se detalla cada uno de los elementos que lo conforman.

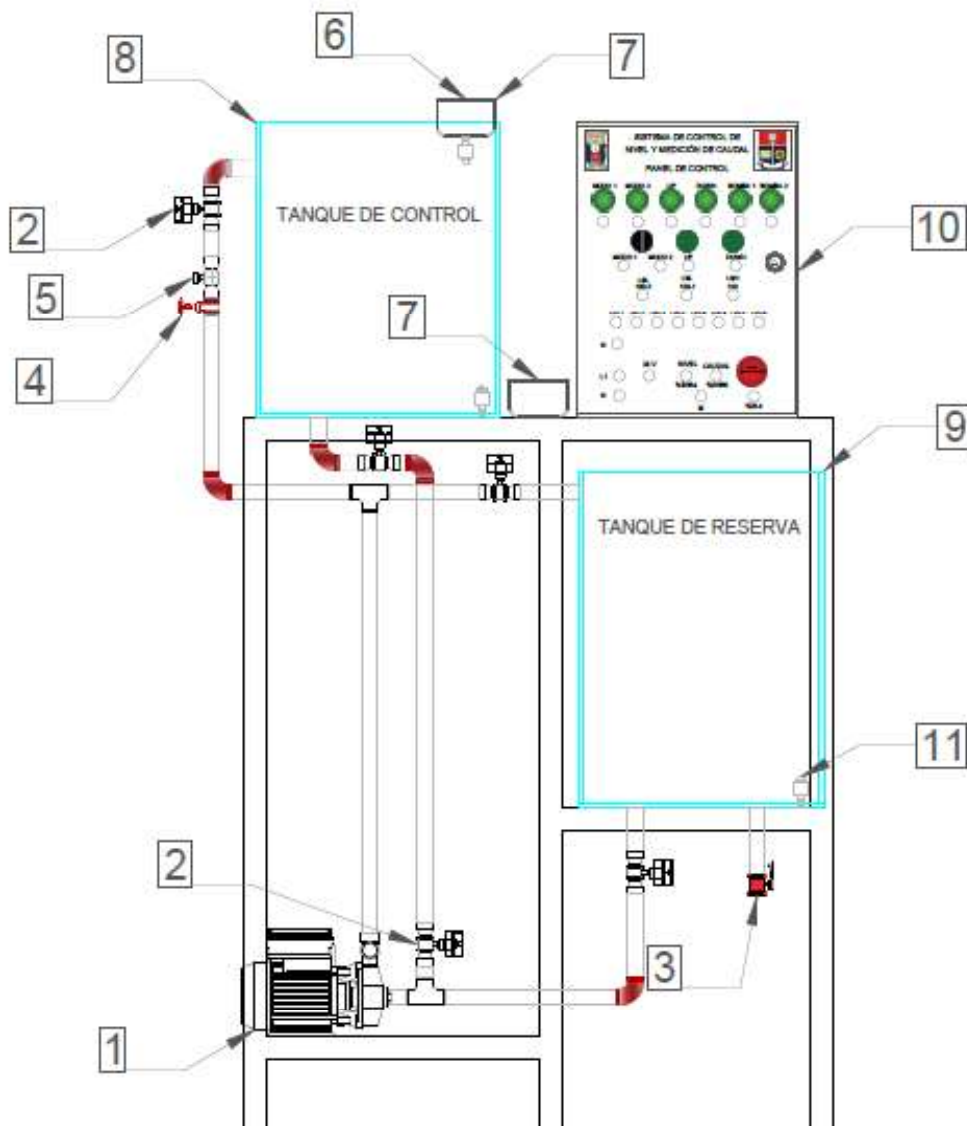


Figura A1 Vista frontal del sistema de control

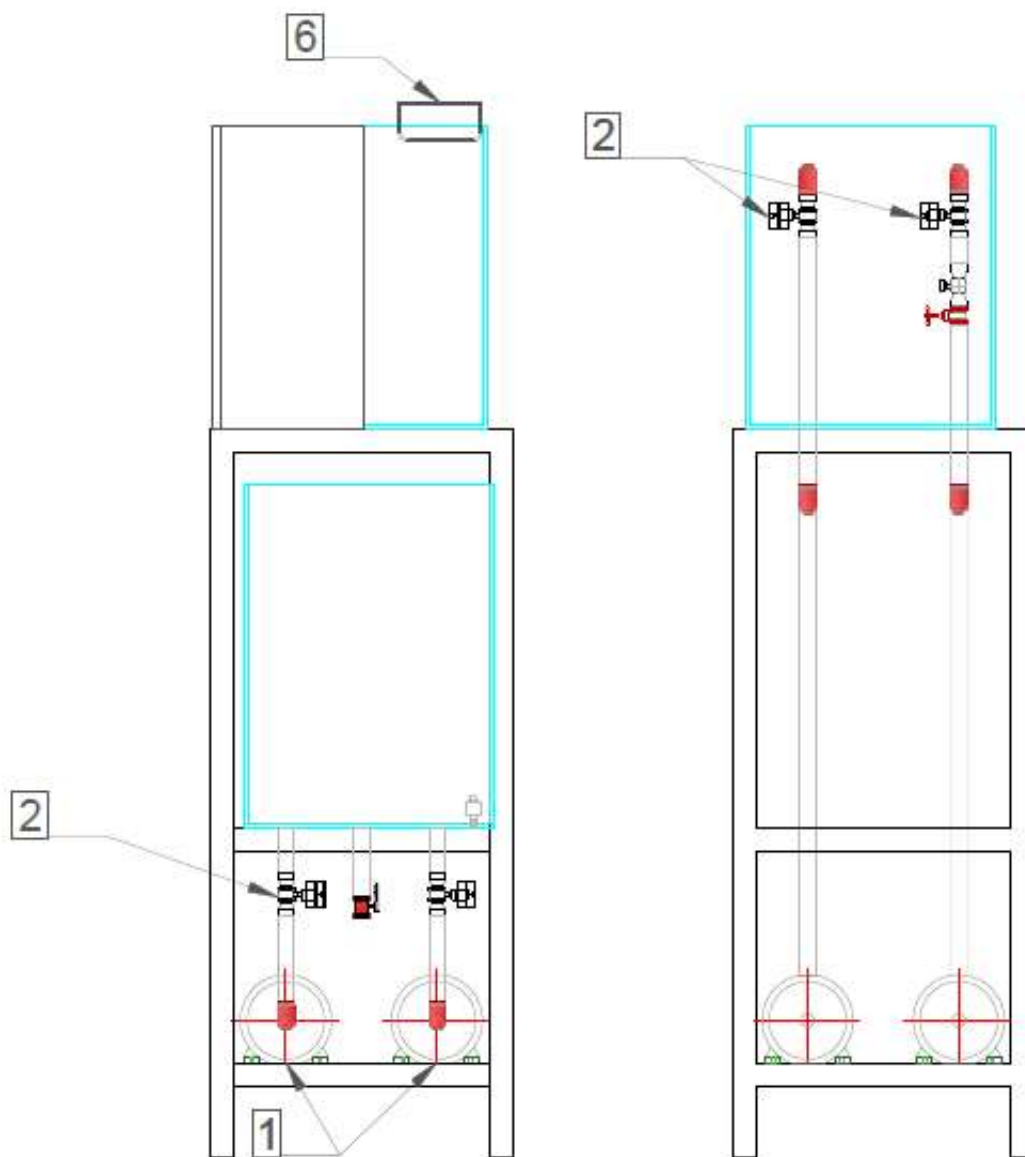


Figura A2 Vista lateral del sistema de control

Tabla A 9 Descripción de elementos del sistema de control

SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL BIESTABLE Y MEDICIÓN DE CAUDAL		
Nº	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	BOMBA PERIFÉRICA 0.5 HP	2
2	ELECTROVÁLVULA SOLENOIDE $\frac{1}{2}$ "	8
3	VÁLVULA MANUAL TIPO BOLA	1
4	VÁLVULA MANUAL TIPO COMPUERTA	1
5	SENSOR DE FLUJO YF-S201	1
6	SENSOR ULTRASÓNICO HC-SR04	1
7	ARDUINO UNO	2
8	TANQUE DE CONTROL	1
9	TANQUE DE RESERVA	1
10	TABLERO DE CONTROL	1
11	SENSOR DE NIVEL DE AGUA TIPO FLOTADOR	3

PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL BIESTABLE Y MEDICIÓN DE CAUDAL

- A. Abrir el algoritmo "SIST_NIVEL_CAUDAL" correspondiente al sistema de control de nivel y medición de caudal.
- B. Realizar la conexión de todos los dispositivos correspondientes a este sistema de control. Ver anexo 03 lámina 03.
- C. Realizar la conexión del panel de control del sistema de nivel y medición de caudal con el módulo PLC 5 y con sus respectivas alimentaciones. Revisar la conexión en el anexo 03 lamina 05.
- D. Cargar el programa "SIST_NIVEL_CAUDAL" al PLC y crear la conexión online. Verificar que el módulo de expansión este activado (Nota: si la luz

indicadora del SM 1222 parpadea, el módulo no está configurado y debe realizarse los pasos de la sección 3.5 (Configuración del módulo SM 1222).

- E. Iniciar la simulación de la interfaz humano-máquina HMI.
- F. Verificar que este activado el panel de los circuitos electrónicos que se encuentra en la parte de atrás del panel principal del sistema.
- G. Inicie el control del sistema.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

- Por seguridad las conexiones eléctricas deben estar protegidas de humedad y goteo.
- No tocar la bomba mientras esté trabajando.
- Mantener el sistema en un lugar ventilado.
- En caso de dejar de usarse por un largo tiempo, vacíe el líquido de la tubería mediante los filtros de las electroválvulas de succión.
- No opere el sistema sin agua.
- No transfiera ningún líquido inflamable, explosivo o líquidos con partículas.
- No activar las bombas sin antes activar las electroválvulas.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

El objetivo principal es realizar mantenimientos periódicos mediante la inspección visual, limpieza y regulación de todos los elementos que conforman el sistema para así alargar su vida útil.

- ✓ Limpieza de acumulación de polvo sobre la estructura, tablero de control y los tanques, procurando que no ingresen partículas al sistema de bombeo.
- ✓ Si el sistema no se utilizara por un largo tiempo vaciar completamente los tanques, para evitar descomposición del líquido dentro de los tanques.
- ✓ Limpieza de los filtros de las electroválvulas de succión (Figura 3), este mantenimiento se lo debe realizar mensualmente procurando que al iniciar el sistema los contenedores no contengan partículas que puedan ingresar al sistema de bombeo.

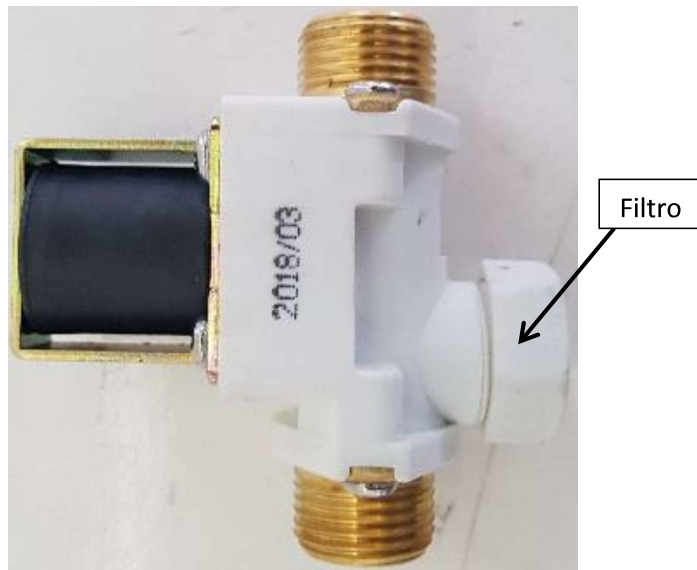


Figura A3. Electroválvula de succión

- ✓ Revisión continua de las conexiones eléctricas, verificando que no exista ninguna anomalía en toda la instalación eléctrica.
- ✓ Revisión de posibles fugas en el sistema de bombeo y taques.
- ✓ Realizar un reajuste de los tornillos de las borneras de las entradas y las salidas del tablero de control.
- ✓ Verificar que el líquido que se encuentra en el tanque no presente cuerpos extraños que puedan dañar el sistema de bombeo.
- ✓ Revisar el correcto accionamiento de los relés y contactores que se encuentran dentro del panel de control. Si ya cumplieron su vida útil realizar el cambio teniendo en cuenta las especificaciones que se dio en el anexo 01.
- ✓ Revisar que los terminales de los actuadores se encuentren en buen estado y reciban el voltaje nominal (En este caso todos los actuadores son energizados a 110 [V]).
- ✓ Verificar el buen funcionamiento de los módulos transmisores de nivel y caudal, que no existan cables sueltos o sueldas frías.
- ✓ En caso de dejar de usarse el sistema por un largo tiempo vaciar completamente los tanques de agua y coloque el sistema en un lugar seco y ventilado.