



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO APLICANDO UN CONTROLADOR EN CASCADA CON MONITOREO MEDIANTE UN DISPOSITIVO MÓVIL.

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Sofía Belén Basantes Espinoza
Joel Andrés López Díaz
TUTOR: Franklin Illich Kuonquí Gaínza

Guayaquil Ecuador
2022

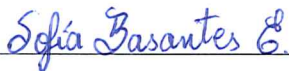
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Sofía Belén Basantes Espinoza** con documento de identificación N° **094370986-5** y **Joel Andrés López Díaz** con documento de identificación N° **092734063-8**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



Sofía Belén Basantes Espinoza
094370986-5



Joel Andrés López Díaz
092734063-8

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Sofía Belén Basantes Espinoza** con documento de identificación N° **094370986-5** y **Joel Andrés López Díaz** con documento de identificación N° **092734063-8**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO APLICANDO UN CONTROLADOR EN CASCADA CON MONITOREO MEDIANTE UN DISPOSITIVO MÓVIL**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



Sofía Belén Basantes Espinoza
094370986-5



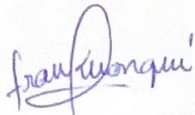
Joel Andrés López Díaz
092734063-8

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Franklin Illich Kuonquí Gaínza**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO APLICANDO UN CONTROLADOR EN CASCADA CON MONITOREO MEDIANTE UN DISPOSITIVO MÓVIL**, realizado por **Sofía Belén Basantes Espinoza** con documento de identificación N° 094370986-5 y por **Joel Andrés López Díaz** con documento de identificación N° 092734063-8, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



Ing. Franklin Illich Kuonquí Gaínza, M.sc
090962743-2

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación lo dedico en primer lugar a Dios por darme la fuerza necesaria para nunca darme por vencida, por ser parte de todos mis logros y brindarme la capacidad de lograr desenvolverme a lo largo de mi continua formación académica.

A mis padres, Luis y Alejandrina, quienes siempre mostrando su amor, paciencia y sacrificio han sido un pilar fundamental tanto en la vida personal como en mi vida estudiantil dándome siempre los mejores consejos y brindándome todo su apoyo en cada paso y cada decisión fundamental hacia el alcance de mis metas.

A mis hermanos, Gabriela, Claudia, Joselyne y Eduardo por estar presentes con una palabra de aliento, un regaño, una sonrisa, pero siempre dispuestos a tenderme una mano cuando lo he necesitado.

A mi enamorado y compañero de este trabajo de titulación, Joel, que ha sido un soporte indispensable en el desarrollo y la construcción del modulo didáctico; juntos hemos formado un gran equipo y hemos podido llegar a la culminación con éxito de nuestro proyecto.

Finalmente a mis abuelitos Sergio y Gustavo, a mis abuelitas desde el cielo Iria y Angélica, a mis cuñados, mis sobrinos Matthi y Gabrielito y a mis perritos Teddy, Thor y Miji que los amo y son incondicionales en mi vida.

Sofía Belén Basantes Espinoza

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico:

A Dios por darme salud y vida, mis padres Weisson y Rocío quienes son pilares fundamentales en esta formación espiritual y académica, con quienes he contado desde la primer meta forjada en mi memoria, agradezco su paciencia y amor infinito acompañados de valiosos consejos.

Mis querido hermanos Arianna, Édison, Edgar y a mi tía Katty por ese amor absoluto durante todo este proceso universitario, a toda mi familia porque con sus oraciones y palabras de aliento he logrado ser una persona llena de sueños y metas, con valores y principios, dispuesto a cumplir con dedicación y amor cada meta.

Mi enamorada y compañera de tesis, Sofía, quien con su amor, paciencia y esfuerzo hemos llevado una relación de compañeros que se ve reflejada en la coordinación y culminación de este trabajo de titulación, gracias por estar y levantar este trabajo hombro a hombro.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mis abuelos, a mi dos ángeles en el cielo mi abuelita Amelia y mi tía Joyce que desde arriba me acompañan, a todos mis seres queridos mas cercanos y amigos, por apoyarme cuando lo he necesitado, por extender su mano, ese consejo, ese aliento y por el respeto brindado cada día, gracias, siempre los llevo en mi corazón.

Joel Andrés López Díaz

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a Dios por darnos salud y vida. A nuestra familia, padres y hermanos por ser la base primordial en nuestra vida, gracias por su paciencia, motivación, comprensión y sobre todo por el amor y el apoyo brindado.

A los docentes que nos han acompañado a lo largo de toda nuestra carrera universitaria impartiéndonos sus conocimientos y que con esfuerzo y dedicación nos han guiado. Especialmente a nuestro Tutor Ing. Franklin Kuonquí, gracias por haber formado parte de este equipo, instruirnos, acompañarnos y brindarnos sus conocimientos cuando lo necesitamos.

Finalmente toda nuestra gratitud a todas aquellas personas que formaron parte del desarrollo de este proyecto; amigos, conocidos, profesores, agradecer su ayuda, sus consejos y el compartir su sabiduría con nosotros.

Sofia Basantes Espinoza
Joel Andrés López Díaz

RESUMEN

El presente proyecto supone el diseño y construcción de un sistema de control de nivel de líquidos para ser utilizado en la Universidad Politécnica Salesiana como módulo didáctico para realizar prácticas de la asignatura de Ingeniería de Control Moderno.

Este sistema se compone de una estructura hecha a base de acero al carbono, con dos tanques acrílicos acoplados uno arriba de otro, una bomba para el arranque, un tanque reservorio que contendrá el líquido a transportar y sensores de nivel que se encargan de la medición en el llenado de los tanques. Se dispone de un tablero eléctrico que está conformado principalmente por un PLC, un variador de frecuencia, un breaker para protección y una pantalla HMI donde se observará todo el funcionamiento del sistema en tiempo real.

El diseño de sistema se desarrolla mediante una programación en diagramas de escalera en el software Tia Portal, en donde se especifica metódicamente todas las acciones que debe ejecutar el controlador PLC para llevar a cabo el funcionamiento del sistema, dichas acciones se mostrarán en la pantalla HMI, donde también se podrá observar el controlador PID.

La finalidad principal del proyecto es mostrar mediante una programación en escalera, el control de nivel del tanque, las perturbaciones en el llenado, el tiempo de llenado y el diagrama de control PID del sistema.

Palabras clave

Control de nivel, PID, sensor, lazo de control, control en cascada, autotune.

ABSTRACT

The present project involves the design and construction of a liquid level control system to be used at Salesian Polytechnic University as a didactic module for the practices of the subject of Modern Control Engineering.

This system consists of a structure made of carbon steel, with two acrylic tanks coupled one on top of another, a pump for starting, a reservoir tank that will contain the liquid to be transported and level sensors that take care of the measurement in the filling of the tanks. It has an electric board that is mainly made up of a PLC, a frequency inverter, a breaker for protection and an HMI display where the system operation will be observed in real time.

The system design is developed by programming in block diagrams in the Tia Portal software, which methodically specifies all the actions that the PLC controller must execute to carry out the operation of the system, such actions will be displayed on the HMI display, where the PID controller will also be visible.

The main purpose of the project is to show tank level control, filling disturbances, filling time and system PID control diagram using the latter programming.

keywords

level control, PID, sensor, control loop, cascade control, autotune.

ÍNDICE

I.	Introducción	14
II.	Planteamiento del problema	14
II-A.	Justificación	15
III.	Objetivos	15
III-1.	Objetivo general	15
III-2.	Objetivos específicos	15
IV.	Fundamentos teóricos	16
IV-A.	Medición de nivel	16
IV-A1.	Medición Directa	16
IV-A2.	Medición por presión hidrostática	16
IV-A3.	Medición de características eléctricas del líquido	17
IV-B.	Válvulas	19
IV-B1.	Válvula de macho	19
IV-B2.	Válvula de globo	19
IV-B3.	Válvula de bola	20
IV-B4.	Válvula de mariposa	20
IV-B5.	Válvula de compuerta	20
IV-B6.	Válvula de diafragma	20
IV-B7.	Válvula check	21
IV-C.	PLC	21
IV-D.	Variador de frecuencia	22
IV-E.	Fuente de alimentación	22
IV-F.	Pantalla HMI	22
IV-G.	Controladores	23
IV-H.	Criterio de estabilidad	23
IV-I.	Controlador Proporcional (P)	23
IV-J.	Controlador Proporcional Integral (PI)	23
IV-K.	Controlador Proporcional Derivativo (PD)	23
IV-L.	Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)	24
IV-M.	Sistemas automáticos de control	24
IV-M1.	Tipos de señales	25
IV-M2.	Tipos de sistema de control	25
IV-N.	Control en cascada	25
IV-Ñ.	Implementación del sistema en cascada	26
V.	Marco Metodológico	27
V-A.	Pseudocódigo del sistema	27
V-B.	Representación inicial del sistema	28
V-C.	Funcionamiento automático	28
V-D.	Selección de bomba	28
V-E.	Implementación del prototipo	29
V-E1.	Estructura física	29
V-E2.	Depósitos	29
V-E3.	Motor	30
V-E4.	Sensor de nivel ultrasónico	30
V-E5.	Sensor de nivel de flotador	32

V-E6.	Controlador	32
V-E7.	SIMATIC HMI Siemens	33
V-E8.	Alimentación	33
V-F.	Diseño del tablero de control	34
V-G.	Construcción del tablero de control	35
V-H.	Ecuaciones del sistema	36
V-H1.	Obtención de ecuaciones para el estado del sensor ultrasónico	36
V-H2.	Obtención de ecuación para determinar voltaje de salida PID	37
V-H3.	Porcentaje reflejado en la bomba en relación al PID	38
V-I.	Programación en Tía Portal	39
V-I1.	Diseño de Control de PID en los tanques de recepción de líquido.	39
V-I2.	Diseño del mando del sistema	40
V-J.	Control de la bomba trifásica	41
V-J1.	Entrada Analógica del sensor tanque medio	41
V-J2.	Velocidad de la bomba	41
V-J3.	Diseño del arranque del sistema	41
V-J4.	Condiciones de arranque de la bomba	42
V-J5.	Activar el arranque del variador	43
V-J6.	Diseño del nivel del tanque de reservorio	44
V-J7.	Visualización de estado de nivel en HMI	44
V-K.	Diseño para la comunicación entre la bomba y variador	44
V-L.	Modelo Matemático	45
V-L1.	Tanque de nivel posición alta modelado	45
V-L2.	Ecuaciones Generales del sistema en función del tiempo	45
V-L3.	Válvulas	45
V-M.	Modelado matemático del tanque de nivel	46
V-N.	Ecuación de caudal de entrada	46
V-Ñ.	Datos para la ecuación de caudal salida	50
VI.	Resultados	50
VI-A.	Diseño en Autocad Plant	50
VII.	Programación en el software Tia Portal	51
VII-A.	Análisis gráfico PID del sistema	51
VII-B.	Gráficas y ecuaciones obtenidas a partir de las pruebas experimentales	55
VII-C.	Obtención de ecuación de caudal salida	55
VII-D.	Ecuación general	57
VII-E.	Monitoreo con dispositivo móvil	57
VIII.	Cronograma	58
IX.	Presupuesto	60
X.	Conclusiones	61
XI.	Recomendaciones	61
XII.	Anexos	63

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Tanques con sistema de medición.[13]	16
2.	Ejemplo de medición por varilla, medición mediante acrílico y medición por cinta y plomada.	17
3.	Ejemplo de un medidor por presión hidrostática.	17
4.	Ejemplo de un medidor conductivo	18
5.	Ejemplo de un medidor capacitivo.	18
6.	Ejemplo de un medidor ultrasónico.	19
7.	Válvula de macho	19
8.	válvula de globo	19
9.	válvula de bola	20
10.	válvula de mariposa	20
11.	válvula de compuerta	20
12.	válvula de diafragma	21
13.	válvula check	21
14.	Imagen de PLC	21
15.	Imagen de un variador de frecuencia	22
16.	Imagen de una fuente de alimentación	22
17.	Imagen de una pantalla HMI	22
18.	Diagrama de bloques de un sistema de control	23
19.	Controlador PID	24
20.	Diagrama de control de lazo abierto	25
21.	Diagrama de control de lazo cerrado	26
22.	Composición de un control en cascada	26
23.	Flujo-grama del procedimiento	27
24.	Dibujo a escala realizado en Autodesk Inventor Fuente: autores	28
25.	Mesa de trabajo construida. fuente: autores	29
26.	Recipiente de agua. fuente: autores	30
27.	Bomba trifásica de 1/2 hp. fuente: autores	30
28.	sensor de nivel ultrasónico Pepperl+Fuchs. Fuente: autores.	31
29.	sensor de nivel tipo interruptor	32
30.	Cerebro del sistema de control	33
31.	Pantalla HMI 6	33
32.	Fuente de alimentación 24V.	34
33.	Diseño del tablero en Autodesk Inventor	34
34.	Diagrama de control eléctrico	34
35.	Tablero de control eléctrico	35
36.	Porcentaje de lectura del sensor vs Señal digital de sensor	36
37.	Gráfica de relación entre Frecuencia y Voltaje	37
38.	Gráfica de Porcentaje de trabajo de la bomba vs Frecuencia (Hz)	38
39.	Imagen tomada de Tia Portal V15.0	39
40.	Imagen tomada de Tia Portal V15.0	40
41.	Imagen tomada de Tia Portal V15.0	41
42.	Imagen tomada de Tia Portal V15.0	42
43.	Imagen tomada de Tia Portal V15.0	42
44.	Imagen tomada de Tia Portal V15.0	43
45.	Imagen tomada de Tia Portal V15.0	44
46.	Imagen tomada de Tia Portal V15.0	44
47.	Gráfica de caudal vs voltaje de variador.	49
48.	Toma de datos: frecuencia, caudal y altura	50
49.	Prueba PID SetPoint vs T(ms)	50

50.	Prueba PID SetPoint vs T(ms)	51
51.	Prueba PID SetPoint vs T(ms).	51
52.	Prueba PID SetPoint vs T(ms)	52
53.	Prueba PID SetPoint vs T(ms)	52
54.	Prueba PID SetPoint vs T(ms)	53
55.	Prueba PID SetPoint vs T(ms)	53
56.	Prueba PID SetPoint vs T(ms).	54
57.	Gráfica de caudal vs voltaje de frecuencia	55
58.	Grafica ln(Q) vs ln(H)	56
59.	HMI reflejado en celular	57
60.	Plano de tanque de reservorio	63
61.	Plano de estructura metálica	63
62.	Plano de tanque pequeño	64
63.	plano de bomba	64
64.	Dimensión de tablero	65
65.	Datasheet del PLC s7 1200 1214 DC/DC/DC	66

ÍNDICE DE CUADROS

I.	Variables de las ecuaciones	24
II.	Especificaciones técnicas del sensor	30
III.	Especificaciones técnicas del sensor	31
IV.	Especificaciones técnicas del sensor	32
V.	Especificaciones técnicas del sensor	32
VI.	Especificaciones técnicas de la pantalla HMI	33
VII.	Valores digitales del sensor	36
VIII.	Especificaciones de variables	45
IX.	Especificaciones de variables	46
X.	Especificaciones de variables	47
XI.	Prueba del sistema en 35 Hz	47
XII.	Prueba del sistema en 40 Hz	47
XIII.	Prueba del sistema en 45 Hz	47
XIV.	Prueba del sistema en 50 Hz	48
XV.	Prueba del sistema en 55 Hz	48
XVI.	Prueba del sistema en 60 Hz	48
XVII.	Voltaje - Frecuencia	49
XVIII.	Tabla de cronograma de actividades.	58
XIX.	Tabla de cronograma de actividades.	59
XX.	Tabla de presupuesto.	60

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de titulación consiste en la implementación de un sistema de control de nivel de líquidos. Al desarrollo de este sistema se le atribuye áreas de estudio tales como la automatización, la Ingeniería de control y la instrumentación, que constituyen un pilar fundamental en la carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Un sistema de control de líquidos en el ámbito industrial puede ser implementado en empresas que donde su materia prima son los líquidos, como una cervecera, una industria láctea, una empresa de agua potable etc. Por el ámbito académico, el enfoque es que el prototipo sea capaz de funcionar como material didáctico para realizar pruebas y prácticas en la materia de Ingeniería de Control Moderno.

El Objetivo principal del proyecto es implementar un sistema de control de nivel mediante el uso de un controlador PLC y un sensor ultrasónico. A través de este sistema se logrará observar el llenado de los tanques, el control de nivel, las gráficas del PID y el porcentaje de llenado de los tanques.

A lo largo del desarrollo de este proyecto se abordarán temas como el diseño del prototipo y que software se utilizo para ello, el modelo matemático del sistema, es decir, los cálculos, formulas y gráficas de acuerdo a pruebas experimentales realizadas en el prototipo, también los resultados obtenidos con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de la industria y el control de procesos en la actualidad se han visto en un crecimiento exponencial debido a la demanda de productos y a la necesidad de superarse encontrando medios de producción más efectivos y menos costosos con un mejor desempeño. En las industrias existen ciertos lineamientos que deben ser controlados, según la norma ISO 24526 “para sistemas de gestión de eficiencia de agua aborda este vacío y ayudará a las empresas a incrementar la eficacia, ahorrar costes y proteger el medio ambiente”.

En los diferentes procesos que se involucran las industrias, se considera uno de los más importantes el sistema de control de nivel. Según [12]. “La calidad de un producto, seguridad de la instalación, eficiencia económica, entre otros, constituyen aspectos importantes en cualquier sistema de medición de nivel”; otras circunstancias donde también se requiere controlar el funcionamiento de manera idónea es en los diferentes tipos de procesos tales como: tratamiento de aguas, industrias lácteas, industria petroquímica y procesos de sustancias químicas, donde el abastecimiento de líquido requiere de procesos automatizados por lo que se necesita un adecuado control de nivel.

A nivel mundial, según un estudio publicado en la revista UIS Ingeniería, “el control de nivel ocupa un lugar importante en la industria química y de alimentos” [14]. Y ha logrado desarrollar un papel importante en el avance de la ingeniería y la ciencia. La integración de los fundamentos teóricos del sistema con un controlador lógico programable es esencial para el desarrollo posterior de buenas prácticas.

El control de sistema de nivel de líquidos es un problema muy común que se encuentra en los procesos industriales, en lo cual la gran masa de globalización cada vez esta más cerca de un punto de centralización en los sistemas automáticos para un rendimientos eficaz evitando el desperdicio de materia prima, tiempo de producción, y reducción de personal de planta, por lo cual un sistema automatizado puede requerir distintas ramas como mecánica y electrónica para el desarrollo de una interfaz que logre un control eficaz.

En Ecuador, específicamente en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, se hace un enfoque específico en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, puesto que, existen escasos recursos que simulen procesos industriales para las prácticas de Ingeniería de Control e Ingeniería de Control Moderno, por lo que los estudiantes no tienen la facilidad de familiarizar los fundamentos teóricos con un sistema de control práctico.

II-A. Justificación

La propuesta de proyecto está enfocada a la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, donde nace la necesidad de abastecer de recursos didácticos que servirán para prácticas en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en las materias de Ingeniería de Control e Ingeniería de Control Moderno.

Se trabajará en un sistema de control de nivel automatizado que garantice que el punto de operación se mantenga constante, con esto se buscará lograr una buena administración de tiempos en procesos, ahorros de materia prima; lo que se pretende es evitar el excesivo gasto o mal uso de líquidos, el rebose de los tanques. Adicionalmente, se podrá tener un monitoreo del comportamiento del nivel de líquido en el tanque, tanto de forma local como en aplicaciones celulares.

Con este proyecto lo que se busca es dotar a la Universidad de una planta de control de nivel para que los estudiantes apliquen los conceptos aprendidos en clase en el desarrollo de un sistema de control de nivel automático y su implementación en un PLC.

III. OBJETIVOS

III-1. Objetivo general: Implementar un sistema automatizado para el control de nivel de fluidos dentro de un sistema de manejo de sustancias líquidas, mediante la utilización de controladores y conectividad para el monitoreo de manera portátil desde un smartphone.

III-2. Objetivos específicos:

- Diseñar el plano de la planta de control utilizando el software AutoCAD Plant 3D.
- Implementar sistema SCADA incluyendo los algoritmos de control en aplicación a Tia Portal versión 15.0.
- Dimensionar los tipos de sensores a usar en las determinadas secciones del sistema.
- Realizar prácticas experimentales con las mediciones de nivel para un adecuado funcionamiento del sistema.

IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

IV-A. Medición de nivel

Las mediciones de nivel tienen un sistema de recopilación de datos muy detallado, esto facilita la clasificación de cada uno de los diferentes tipos de variables según el nivel, la medición por nivel se trata de estimar una relación entre los valores que toman a ser rea-sentada por variable.

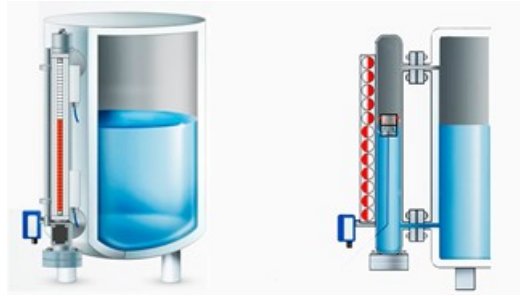


Figura 1. Tanques con sistema de medición.[13]

Se presenta tres tipos de mediciones las cuales son:

- Directa.
- Por presión hidrostática.
- Características eléctricas del líquido.

Cada uno de los siguientes tipos de medición dentro del mismo se derivan en distintas formas de ejecutar o llenar los parámetros para tomar los datos de medición.

IV-A1. Medición Directa: En la medición directa se hace uso de herramientas específicas ya graduadas con las cantidades que se desee representar dentro del reservorio o tanque en donde se encuentra almacenado el líquido o lugar donde se desea depositar el mismo, en este caso no cuenta con tres tipos de herramientas para lograr una edición de nivel como lo son:

- Medición por varilla. – Es una herramienta que debe estar graduada y debe ser de una longitud adecuada para no tener inconvenientes al momento de ingresarla al tanque o depósito del líquido, tener en cuenta que el reservorio debe estar a presión atmosférica y la medida será tomada en la sección donde se encuentre mojada la varilla o regla.

- Medición por cinta y plomada. – Este proceso es usado en situaciones donde la distancia a medir es más profunda y la varilla o regla graduada es casi imposible usar, por lo que se realiza la medición con una cinta graduada y un plomo. El plomo hará que la cinta llegue a la superficie inferior de un pozo o recipiente de gran magnitud y la medida será tomada hasta donde la cinta al momento de sacarla esté mojada.

- Medición mediante visor de vidrio o acrílico. – Este método la mayoría de las veces se lo aplica fuera del tanque, esto es posible debido a que se le hace una salida al tanque para que al momento de ir llenando mediante el visor de vidrio o un tubo acrílico se logre ver la cantidad de líquido que sube el nivel, complementado esto con tres válvulas de cierre por seguridad.

IV-A2. Medición por presión hidrostática: Este método se lo realiza con instrumentos ya creados para tomar los datos de una manera más eficiente. Estos datos son conectados en puntos clave donde se logre tomar una muestra con un mayor rango de efectividad, existen tres tipos que son:

- Manométrico. – Este tipo de medición se realiza más en tanques o reservorios abiertos debido a las variaciones de densidad del líquido. Se lo realiza colocando un manómetro en la parte baja del recipiente; este mismo mide la

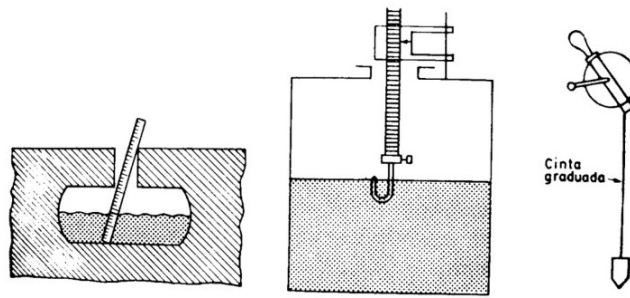


Figura 2. Ejemplo de medición por varilla, medición medianteacrílico y medición por cinta y plomada.
[3]

cantidad de presión debido al volumen del tanque y el eje del instrumento.

- Burbujeo. – Seleccionando un regulador de caudal, se hace pasar por un tubo que se encuentre totalmente sumergido en el tanque hasta el inferior de éste un pequeño caudal de aire o gas inerte hasta producir una corriente continua de burbujas. La presión requerida para producir el flujo continuo de burbujas equivale a la medida de la columna de líquido.

- Transmisor Hidrostático. - Se trata de un diafragma en permanente contacto con el fluido del tanque el cual posibilita la medición de la presión hidrostática en el punto más bajo del reservorio. Debe ser en un recipiente abierto. Esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico. El diafragma forma parte del transmisor electrónico de presión hidrostático. [1]

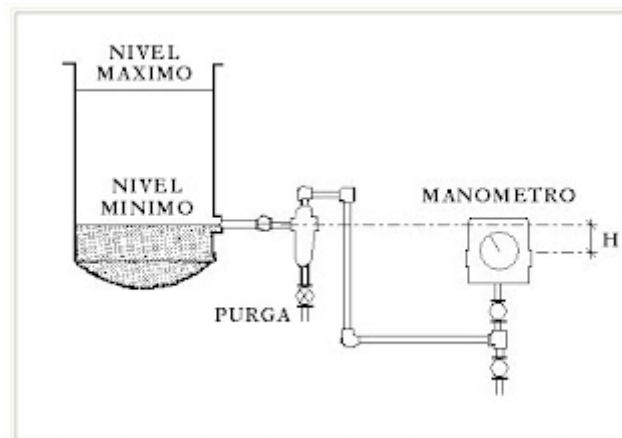


Figura 3. Ejemplo de un medidor por presión hidrostática.
[6]

IV-A3. Medición de características eléctricas del líquido: Este método hace énfasis en la parte eléctrica de un sistema de control de nivel en diferentes partes del reservorio. Cuenta con los siguientes elementos:

- Medidor conductivo. – Este tipo de elemento se usa como una alarma o control de nivel bajo, medio o alto y se emplean relés eléctricos o electrónicos en labor de la conductividad del fluido. La virtud de este es no contar con partes móviles y tener un campo de medida amplio para con la limitación física de la longitud de los electrodos.



Figura 4. Ejemplo de un medidor conductivo

- Medidor Capacitivo. – mide la capacitancia entre los electrodos sumergidos en el fluido y la pared del reservorio.

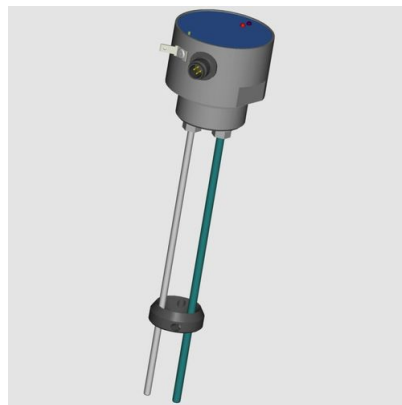


Figura 5. Ejemplo de un medidor capacitivo.

- Medidor Ultrasónico. – Este método es aquel que logra adecuar el nivel de manera que el líquido tenga una densidad que logre ser captada por este sensor, esta toma de medidas es captada por ondas que permiten al sensor mandar la señal de cómo y por donde viene ascendiendo o descendiendo el líquido. Se tiene que tener claro los parámetro de uso y es aplicable en todo tipo de tanque siempre y cuando la superficie de medición tenga la densidad nítida.



Figura 6. Ejemplo de un medidor ultrasónico.

IV-B. Válvulas

Dispositivo regulador mecánico que instalado en un sistema de control es capaz de dominar la salida del fluido. Existen varios tipos de válvulas, a continuación, serán detalladas.

IV-B1. Válvula de macho: Tiene una apertura regulable de $\frac{1}{4}$ de vuelta. Es cónica y cuenta con un agujero en su centro que es por donde pasa el fluido.

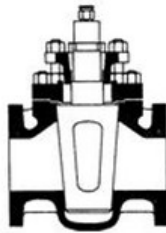


Figura 7. Válvula de macho

IV-B2. Válvula de globo: Su cuerpo es esférico como se muestra en la ilustración, se encuentra dividida por un deflector que está conectado a un vástago roscado que a su vez actúa sobre un disco que permite el control del fluido tanto en la apertura como en el cierre.



Figura 8. válvula de globo

IV-B3. Válvula de bola: Cuenta con una apertura de $\frac{1}{4}$ de vuelta controlada por una esfera perforada, esta va a dirigir el fluido según el alineamiento de la perforación.

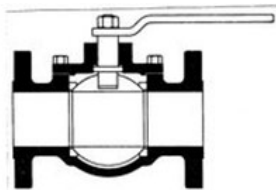


Figura 9. válvula de bola

IV-B4. Válvula de mariposa: Se caracteriza por su capacidad de abrir y cerrar el paso del fluido debido a su disco de mariposa que envuelve al eje de control como se aprecia en la ilustración.



Figura 10. válvula de mariposa

IV-B5. Válvula de compuerta: Su salida de fluido se da cuando se levanta su compuerta. Es empleada para flujos limpios sin ningún tipo de contaminación. Su diámetro de entrada es el mismo que de salida.



Figura 11. válvula de compuerta

IV-B6. Válvula de diafragma: Se utiliza básicamente como filtro cuando el flujo está contaminado de muchos desperdicios sólidos.



Figura 12. válvula de diafragma

IV-B7. Válvula check: O también llamada válvula de retorno, es un tipo de válvula automatizada por la cual pasa el flujo de manera continua, solo en una dirección, es decir, sin retorno.

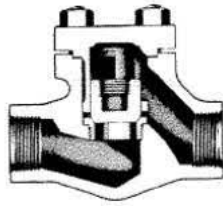


Figura 13. válvula check

IV-C. PLC

Las siglas PLC significan Controlador Lógico Programable por sus términos en inglés, son dispositivos modulares diseñados para automatizar un sistema mediante programación. En este proyecto se utilizará el PLC SIMATIC S7-1200 de Siemens que cuenta con un sistema integrado de desarrollo SIMATIC STEP 7 basic, complementado con SIMATIC WinCC Basic para la programación de los paneles, como se muestra en la ilustración.



Figura 14. Imagen de PLC [5]

IV-D. Variador de frecuencia

Dispositivo empleado en un sistema de corriente alterna para cambiar la energía eléctrica de una frecuencia de entrada a otra frecuencia menor.

[10]



Figura 15. Imagen de un variador de frecuencia

IV-E. Fuente de alimentación

Suministra el voltaje requerido para el funcionamiento de un sistema, su función principal es convertir la tensión alterna en tensión continua.



Figura 16. Imagen de una fuente de alimentación

IV-F. Pantalla HMI

Hardware que mediante programación presenta información en tiempo real del sistema. Su función es mostrar diagramas, gráficos y proporcionar todos los datos necesarios para saber el estado del sistema.



Figura 17. Imagen de una pantalla HMI

IV-G. Controladores

Componente principal de los sistemas de control, siendo este el que lleva a cabo todas los comandos o movimientos que se le apliquen al sistema.

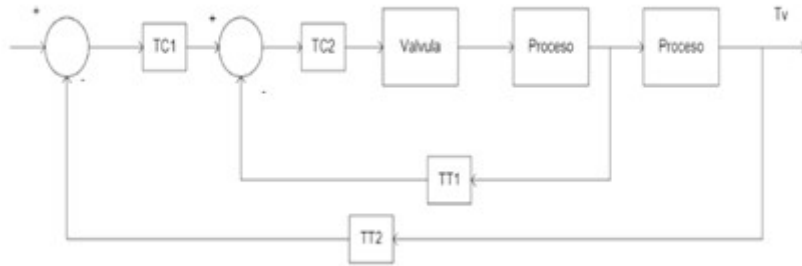


Figura 18. Diagrama de bloques de un sistema de control

IV-H. Criterio de estabilidad

Para el diseño de un sistema de control se consideran los siguientes 3 principios [9]:[7]

1. Respuesta transitoria: Hace referencia a que la señal va de estado inicial al estado final.
2. Estabilidad: un proceso es estable si frente a una entrada limitada en amplitud la respuesta del sistema es también limitada en amplitud.
3. Error de estado estable: cuando existen cambios o algún tipo de interferencia en las señales de entrada pueden llegar a generar errores en el sistema.

IV-I. Controlador Proporcional (P)

control de realimentación lineal, donde su salida es proporcional a la señal de error. En este control la función de transferencia es una variable real K_p o constante de proporcionalidad. la ecuación que lo describe es:

$$m(t) = m^- + K_c * e(t) \quad (1)$$

y su función de transferencia es:

$$G(s) = K_c \quad (2)$$

IV-J. Controlador Proporcional Integral (PI)

En este tipo de controlador la salida oscila de manera proporcional al tiempo de permanencia del error y el tamaño del mismo. Su ecuación descriptiva es:

$$m(t) = m^- + K_c * e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int e(t) dt \quad (3)$$

y su función de transferencia es:

$$G(s) = K_c \left[1 + \frac{1}{T_i * s} \right] \quad (4)$$

IV-K. Controlador Proporcional Derivativo (PD)

El controlador predice el tamaño del sobreimpluso aplicando correcciones necesarias antes que suceda. Su función de transferencia es:

$$G(s) = K_c(1 + T_d * s) \quad (5)$$

Cuadro I
VARIABLES DE LAS ECUACIONES

Salida del controlador	$m(t)$
Valor base	m^-
Señal de error	$e(t)$
Ganancia del controlador	K_c
Tiempo de integración	T_i
Tiempo de reajuste	T_d

IV-L. Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)

Realiza su función en un sistema de lazo cerrado con el fin de realizar acciones dirigidas a un circuito que necesita alcanzar una salida estable deseable. Su función de transferencia es:

$$G(s) = K_c \left[1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d s \right] \quad (6)$$

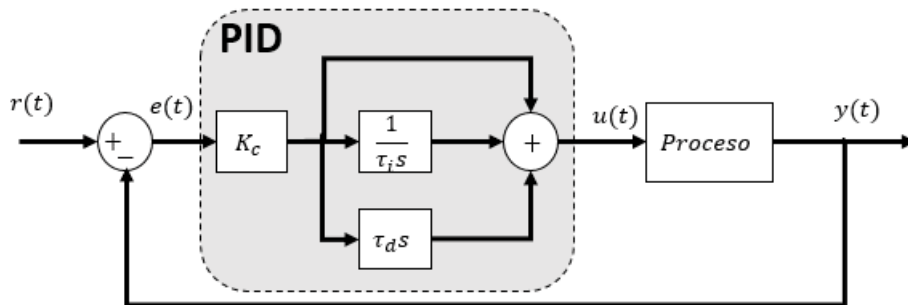


Figura 19. Controlador PID

IV-M. Sistemas automáticos de control

Conjunto de componentes físicos conectados entre si de manera que dirijan su propia actuación por si mismos, sin intervención de agentes externos. [8]

Para entender la composición de un sistema de control se debe conocer la siguiente terminología.

1. Entrada
Ingreso de información (señales) aplicadas al sistema desde una fuente de alimentación y que busca la reacción del sistema.
2. Salida
Respuesta final del sistema de control.
3. Perturbación
Señales alteradas o ruidosas que influyen negativamente en el comportamiento de sistema de control.
4. Variables del sistema
Magnitudes empleadas para describir el estado o comportamiento del sistema, estas pueden medir la temperatura, velocidad, presión, etc.

5. Sistema

Conjunto de órganos y estructuras que relacionadas entre sí tienen la capacidad de desarrollar una determinada función.

6. Temporizador

Dispositivo usado para enviar una señal que permita la conexión o desconexión de un segmento eléctrico.

IV-M1. Tipos de señales:

1. Señal de referencia

Primera señal generada para graduar el sistema.

2. Señal activa

Configura la diferencia entre la señal que ingresa y la señal realimentada. También es conocida como señal de error.

3. Señal analógica

En el caso de controlador usado PLC, son variables eléctricas que oscilan entre un máximo y un mínimo de tensión eléctrica, tienden a un límite pudiendo ser ente superior o inferior y al coincidir la señal será normalizada con el fin de obtener una mejor comunicación con el dispositivo.

4. Señal digital

Señal caracterizada por poseer dos tipos de estado 0-1, los cuales ayudan a determinar, presentar, almacenar y transmitir información binaria, logrando una mejor relación señal/código, comprendiendo los estados del código binario.

IV-M2. Tipos de sistema de control:

1. Lazo abierto

Sistema de control que no detecta la retroalimentación respecto a los estados que va adquiriendo la variable y su salida no se compara con la señal de referencia.



Figura 20. Diagrama de control de lazo abierto [11]

2. Lazo cerrado

Sistema de control que recibe toda la información referente a los estados de la variable, actuando así de manera más completa.

Señales alteradas o ruidosas que influyen negativamente en el comportamiento de sistema de control.

IV-N. Control en cascada

Estructura realizada para eliminar perturbaciones parcialmente medibles y optimizar las características de los lazos de control en procesos compuestos por subprocesos, se lo hace mediante la realimentación de variables intermedias. [2] Consta de dos lazos:

Lazo primario con un controlador primario k_1

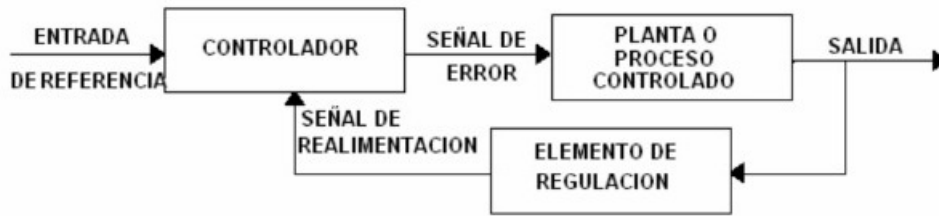


Figura 21. Diagrama de control de lazo cerrado [11]

Lazo secundario con un controlador secundario k_2

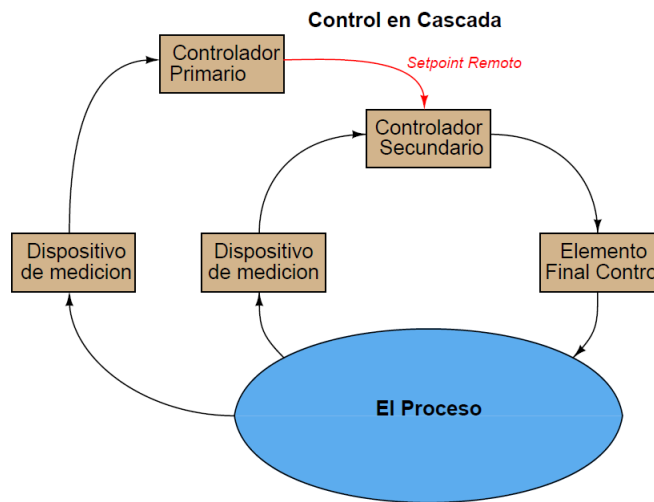


Figura 22. Composición de un control en cascada [15]

IV-Ñ. Implementación del sistema en cascada

Una de las principales características de un sistema en cascada es la selección de la variable secundaria, para ello se debe seguir los siguientes pasos que asisten a la selección de esta. [4]

1. delinear el lazo secundario de modo que porte las perturbaciones más complejas.
2. que el funcionamiento del lazo secundario sea el más eficiente posible evitando retrasos en el sistema.
3. definir la variable secundaria que sea capaz de relacionarse con la variable primaria según sus valores.
4. presentar al lazo secundario la mayor cantidad de perturbaciones posible.
5. seleccionar la variable secundaria que sea capaz de permitir al sistema operar con la más alta ganancia.

V. MARCO METODOLÓGICO

V-A. Pseudocódigo del sistema

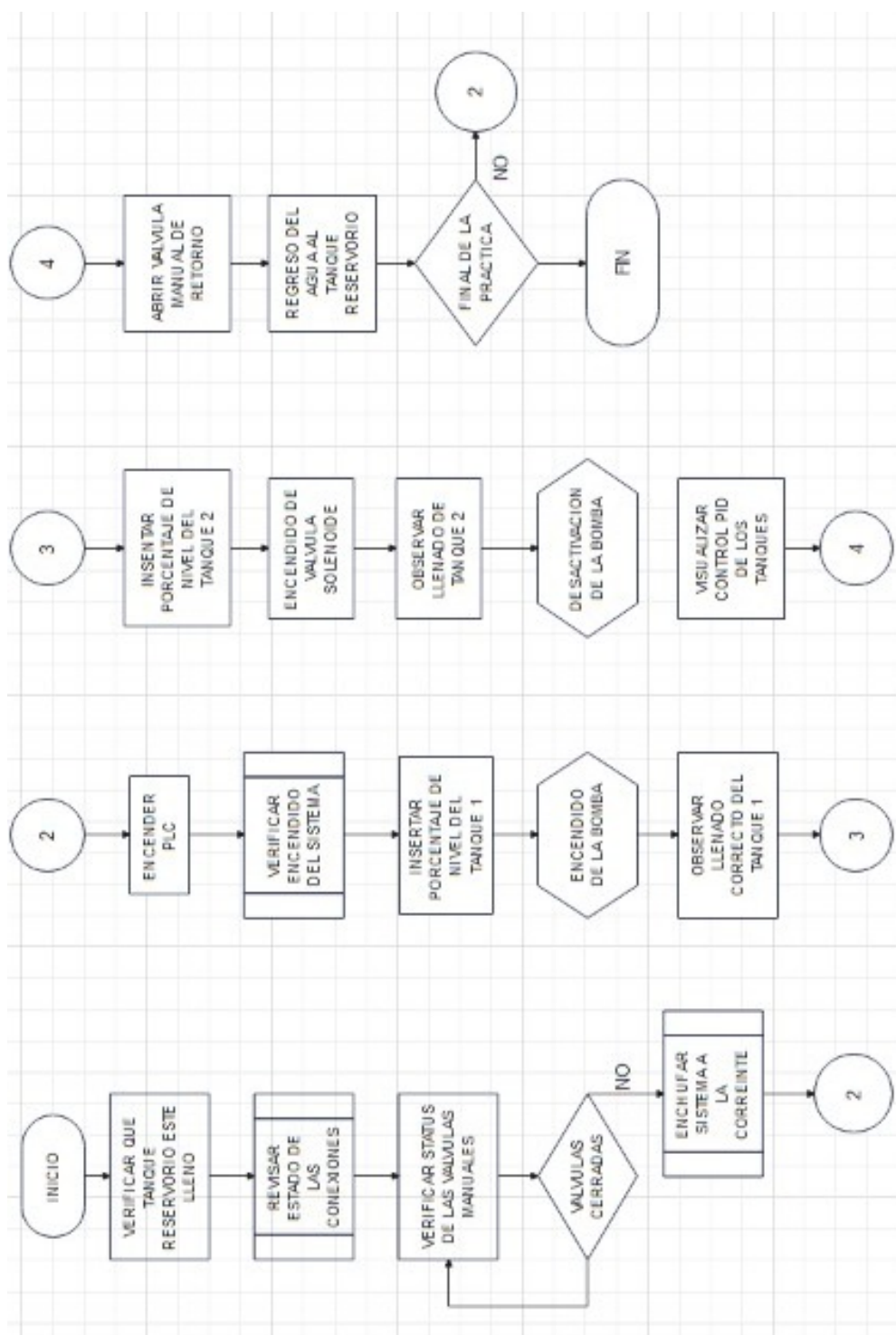


Figura 23. Flujo-grama del procedimiento

V-B. Representación inicial del sistema

Partiendo de los conceptos ya estudiados y después de analizar las condiciones en la que se desarrolla el sistema y su funcionamiento, se define un sistema de dos tanques en cascada y un tanque más grande utilizado como reservorio; operado de manera automática.

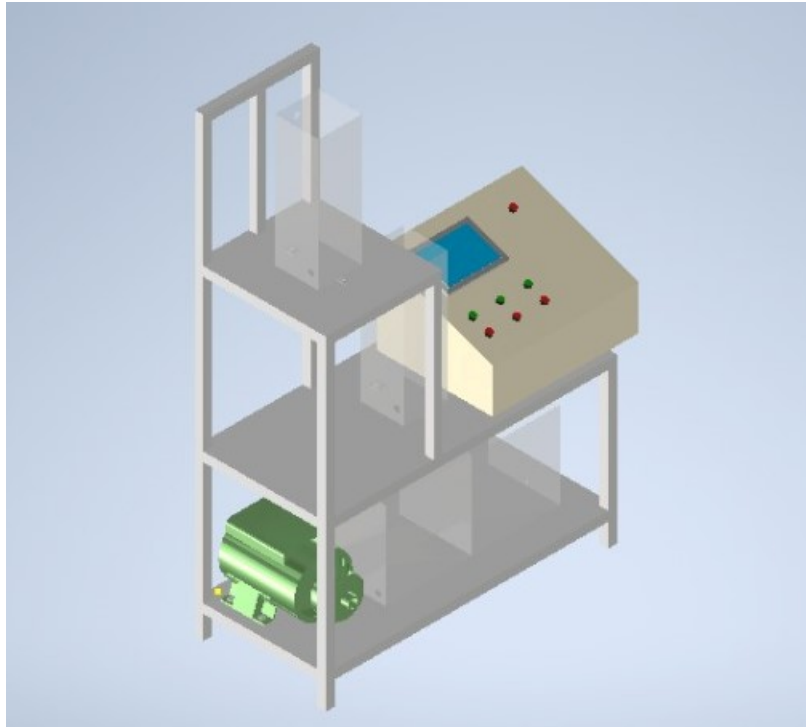


Figura 24. Dibujo a escala realizado en Autodesk Inventor Fuente: autores

V-C. Funcionamiento automático

El sistema se encuentra automatizado debido al controlador PLC que se encuentra programado mediante el software Tia Portal V15 y al control en HMI instalado en el tablero del sistema.

V-D. Selección de bomba

Los 36 litros de volumen de agua depositados en el tanque garantizan que el reservorio no se encuentre vacío, lo que evita que la bomba succione aire y tenga fallos al momento de ponerla en marcha. La presión de trabajo debe estar dentro del rango de la válvula o elemento de control y no se requieren grandes presiones de trabajo, puesto que, el sistema esta dentro de un esquema inferior de funcionamientos al que acostumbra una bomba de este tamaño de potencia. Consultando proveedores locales, se escogió una bomba centrífuga marca Weg, con una potencia de 0.5 HP y una tubería estándar de $\frac{1}{2}$ in en PVC con sus respectivos accesorios en el sistema de circulación, codos de pvc, T de pvc y adicional válvulas de control manual.

V-E. Implementación del prototipo

V-E1. *Estructura física:* Para la estructura o soporte del sistema se considera una mesa de trabajo cuyo material es acero galvanizado y tiene las medidas de 1,60 m de alto, 1 m de largo y 45 cm de ancho. Este armazón no solo servirá como soporte sino también como método de transportación de todo el sistema de control.



Figura 25. Mesa de trabajo construida. fuente: autores

V-E2. *Depósitos:* El sistema consta de dos recipientes o tanques pequeños fabricados en acrílico con las medidas de 15 cm de ancho, 15 cm de largo y 45 cm de altura, se encuentran ubicados uno debajo del otro y se interconectan con tuberías de PVC. Estos sirven como depósito del líquido y parte fundamental del sistema de control. Adicionalmente hay un recipiente grande con las medidas de 25 cm de ancho, 60 cm de largo y 30 cm de alto que sirve como reservorio donde se acumula toda el agua utilizada en el transcurso del funcionamiento del sistema.



Figura 26. Recipiente de agua. fuente: autores

V-E3. *Motor:* Para llevar a cabo el funcionamiento del sistema se utiliza una bomba dosificadora trifásica de 1/2 hp con una salida de 220 V que conectada a las tuberías se encarga de dar inicio a la transportación del líquido.

Cuadro II
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR

Potencia	1/2 Hp
Voltaje	220/380//220/380
frecuencia	60//50 Hz
Velocidad angular	3460//2875 rpm
Factor de potencia	0.79//0.71
Factor de seguridad	1.60//1.15



Figura 27. Bomba trifásica de 1/2 hp. fuente: autores

V-E4. *Sensor de nivel ultrasónico:* Instalado en el tanque a una altura aproximada de 10 cm para la medición de nivel del agua. Estos se encargan de medir el nivel de líquido de manera continua y mostrar los valores en la pantalla HMI.

Cuadro III
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR

Rango de detección	50 ... 800 mm
Rango de ajuste	70 ... 800 mm
Área inhabilitada	0 ... 50 mm
Altura máxima de medición	100mm * 100mm
Frecuencia del transductor	aprox. 255 kHz
Retardo de respuesta	aprox. 100 ms



Figura 28. sensor de nivel ultrasónico Pepperl+Fuchs. Fuente: autores.

V-E5. *Sensor de nivel de flotador:* Para el tanque reservorio se usan dos sensores tipo flotador, instalándose uno en la base del tanque y otro a 10 cm de altura, que servirá como indicador de cuando el tanque esta vacío y cuando esta a punto de rebozarse el liquido.

Cuadro IV
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR

Sensor de conmutación máxima	100V DC
Corriente de conmutación máxima	0.5 A
Voltaje máximo de avería	C.C. 220 V
Máxima corriente	1A
Resistencia de contacto máxima	100mΩ
Clasificación de temperatura	-10 y 85 C



Figura 29. sensor de nivel tipo interruptor

V-E6. *Controlador:* EL controlador usado es un PLC s7 1200 1214DC/DC/DC, este dispositivo facilita el control del sistema debido a su amplia gama de memorias que permite observar en tiempo real cómo se programan los estados de cada variables, tanto en entradas como salidas, ya sean digitales o analógicas y a u vez se encarga de activarlas y desactivarlas dependiendo el grado de automatización que se implemente en el sistema.

Cuadro V
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR

Memoria de carga	2 Mbytes
Alimentación	24 V
Tiempo de ejecución booleano	0.1 us
Entradas digitales	14
Salidas digitales	10
Entradas analógicas	2

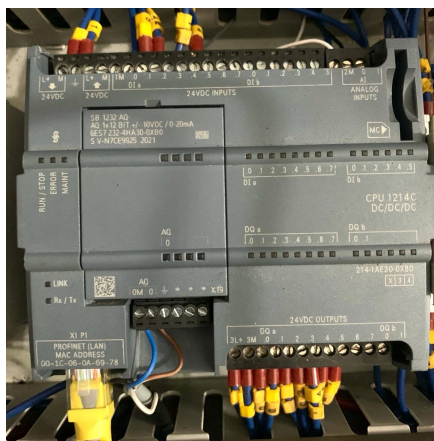


Figura 30. Cerebro del sistema de control

V-E7. *SIMATIC HMI Siemens*: En la pantalla HMI es donde se digitan los valores del setpoint. Además, se visualiza en tiempo real el llenado de los tanques y así mismo el diagrama PID del sistema.

Cuadro VI
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA PANTALLA HMI

Tamaño	6 pulgadas
Manejo	táctil
Interfaz	USB
Comunicación	Profinet
Resolución display	800 x 480 pixeles

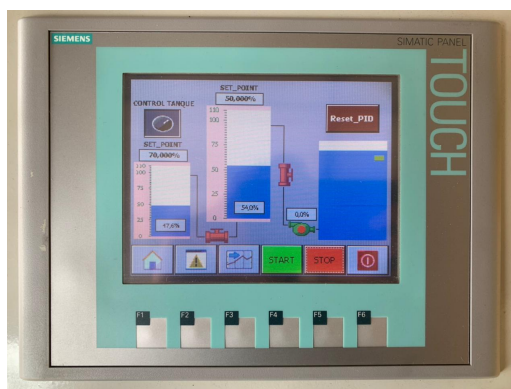


Figura 31. Pantalla HMI 6

V-E8. *Alimentación*: Instalado en el tablero de control, se usa una fuente de alimentación que trabaja a 24 v 10 A, la cual se encarga de energizar el PLC.

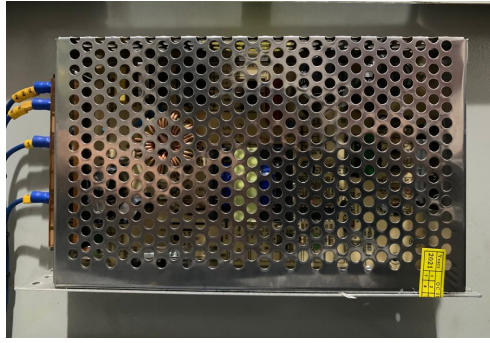


Figura 32. Fuente de alimentación 24V.

V-F. Diseño del tablero de control

En la siguiente ilustración se presenta el diseño del tablero de control realizado en Autodesk Inventor.

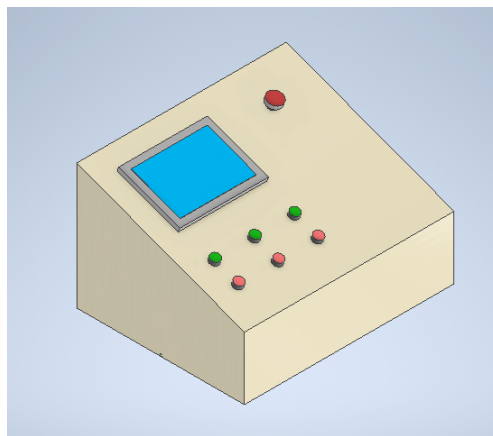


Figura 33. Diseño del tablero en Autodesk Inventor

A continuación se muestra el diagrama de conexiones del controlador PLC al variador de frecuencia.

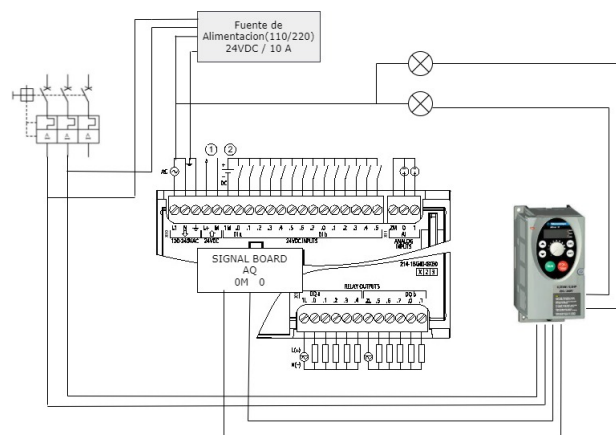


Figura 34. Diagrama de control eléctrico

V-G. Construcción del tablero de control

Hecho de acero galvanizado y cubierto con una capa de pintura beige, sus medidas son 40 cm de ancho, 50 cm de largo, 30 cm de altura en la parte posterior y 15 cm de altura en la parte frontal. Dentro del tablero se encuentra el variador de frecuencia, el PLC, la fuente de alimentación y toda la instalación eléctrica necesaria para la alimentación de todos los componentes.



Figura 35. Tablero de control eléctrico

V-H. Ecuaciones del sistema

V-H1. Obtención de ecuaciones para el estado del sensor ultrasónico: En la siguiente ecuación se describe el estado del sensor a partir de su implementación en el tanque; una vez el tanque se encuentre lleno se obtiene un valor y al momento de descarga del tanque alto se obtiene otro valor que genera el sensor en el punto mas bajo. A continuación se muestran los valores tomados del sensor al momento de realizar las pruebas:

Cuadro VII
VALORES DIGITALES DEL SENSOR

Nivel maximo	2464
Nivel minimo	16512

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \tag{7}$$

$$Y_1 - Y_0 = m(X_1 - X_0) \tag{8}$$

$$Y_1 - 100 = -0,007118(X_1 - 2464) \tag{9}$$

$$Y_1 = -0,007118(X_1) - 0,007118(-2464) + 100 \tag{10}$$

$$Y_1 = -0,007118(X_1) + 117,53 \tag{11}$$

$$Y_1 = -0,007118(X_1) + 117,53 \tag{12}$$

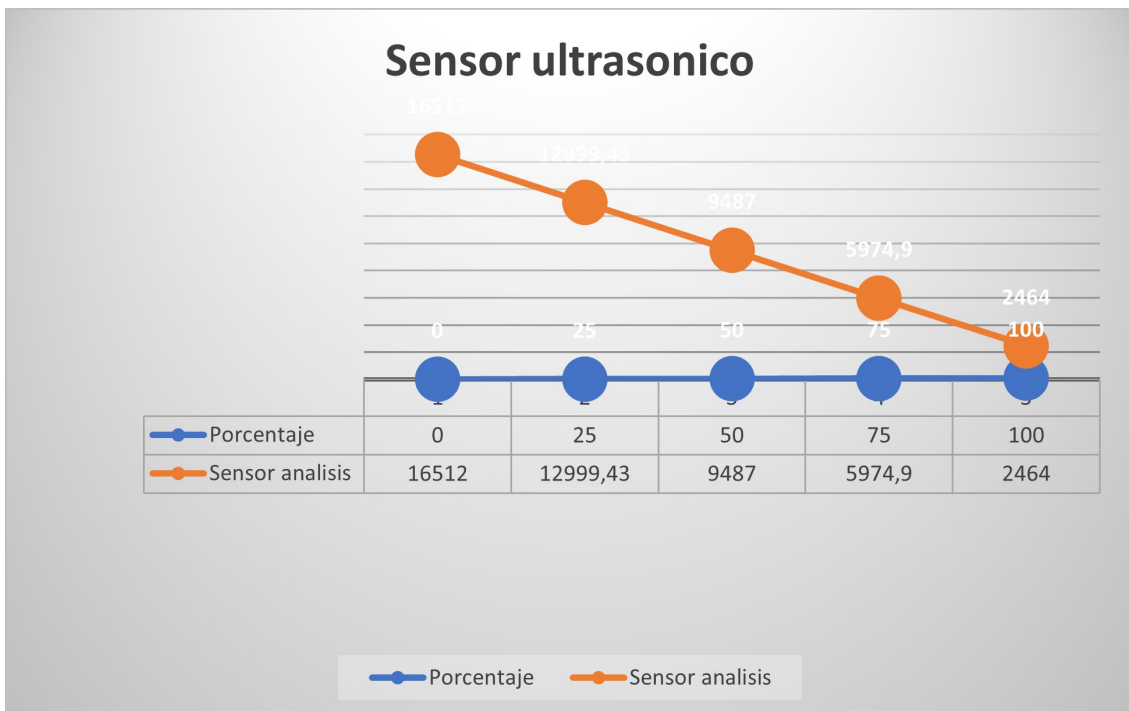


Figura 36. Porcentaje de lectura del sensor vs Señal digital de sensor

V-H2. *Obtención de ecuación para determinar voltaje de salida PID:* La frecuencia en la que oscila la bomba es de 0 a 60 hz y tiene un trabajo en rendimiento normal entre 50Hz / 60Hz. En la siguiente ecuación se determina la relación entre la frecuencia de la bomba trifásica y el voltaje de salida que oscila de 0 a 10 voltios.

$$m = \frac{y - y_0}{x - x_0} \tag{13}$$

$$m = \frac{60 - 00}{10 - 0} \tag{14}$$

$$m = 6 \tag{15}$$

$$y - y_0 = m(x - x_0) \tag{16}$$

$$y - 60 = 6(x - 10) \tag{17}$$

$$y = 6x - 60 + 60 \tag{18}$$

$$y = 6x \tag{19}$$

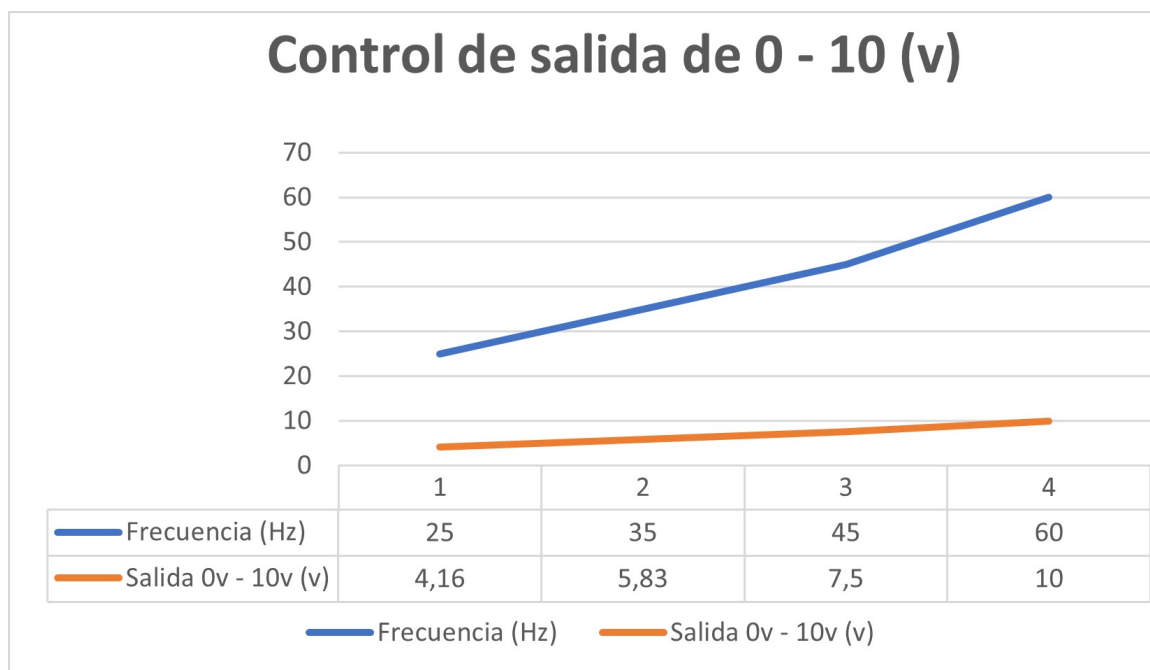


Figura 37. Grafica de relacion entre Frecuencia y Voltaje

V-H3. *Porcentaje reflejado en la bomba en relación al PID*: El sistema reflejado en el HMI cuenta con una sección donde se muestra el porcentaje de trabajo de la bomba y esta programado mediante la siguiente ecuación para reflejar el porcentaje en base a los Hz de la bomba trifásica. Desde un gráfico de porcentaje vs Hz de la bomba se obtiene:

$$m = \frac{100 - 0}{60 - 0} \quad (20)$$

$$m = \frac{100}{60} \quad (21)$$

$$m = 1,666 \quad (22)$$

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (23)$$

$$y - 100 = 1,666(x - 60) \quad (24)$$

$$y = 1,666(x) - 99,6 + 100 \quad (25)$$

$$y = 1,666(x) + 0,4 \quad (26)$$

X es el valor en hz para determinar el porcentaje en la bomba.

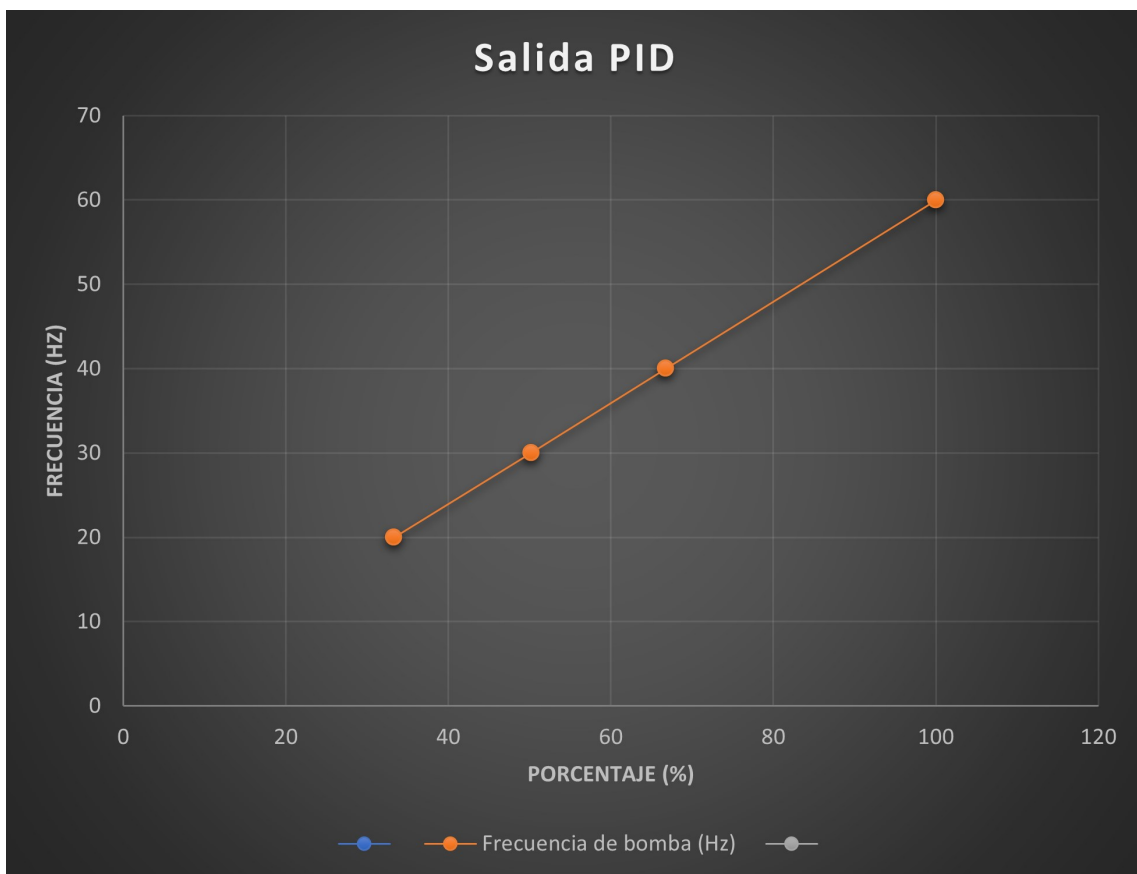


Figura 38. Gráfica de Porcentaje de trabajo de la bomba vs Frecuencia (Hz)

V-I. Programación en Tía Portal

V-II. Diseño de Control de PID en los tanques de recepción de líquido.: Las habilidades del controlador Proporcional-Integral Derivativo (PID) para compensar la mayoría de los procesos de practicas dentro del centro universitario, han permitido que las aplicaciones de la ingeniería en control como en otras áreas logren adaptarse al uso de este proceso automatizado abarcando mas de una rama en la ingeniería. En la mayoría de las aplicaciones no se obtiene una buena sintonización por lo cual el enfoque esta en prueba y error para obtener un buen control PID.

El PID del tanque alto se encarga de recibir los datos dentro de un setpoint para luego enviar la orden de porcentaje de llenado del tanque, dando inicio siempre y cuando el valor ingresado en el setpoint sea un valor positivo dentro de un rango de 0 al 100 %.

El propósito de este regulador PID es que a partir del valor denotado en el setpoint haga una comparación con el valor en tiempo real y así regular la entrada al tanque hasta que se acerque al valor descrito por el setpoint y se mantenga en ese porcentaje.

Una vez ingresado el porcentaje de líquido que va a ingresar en el tanque, se ha denotado una salida hacia el variador con el fin de activar la bomba para el inicio de llenado y la variación de su frecuencia a medida que va llegando a su limite ingresado. Cuenta con un reset para los inconvenientes en las practicas u otro error que se presente dentro del PID que se maneja de manera automática.

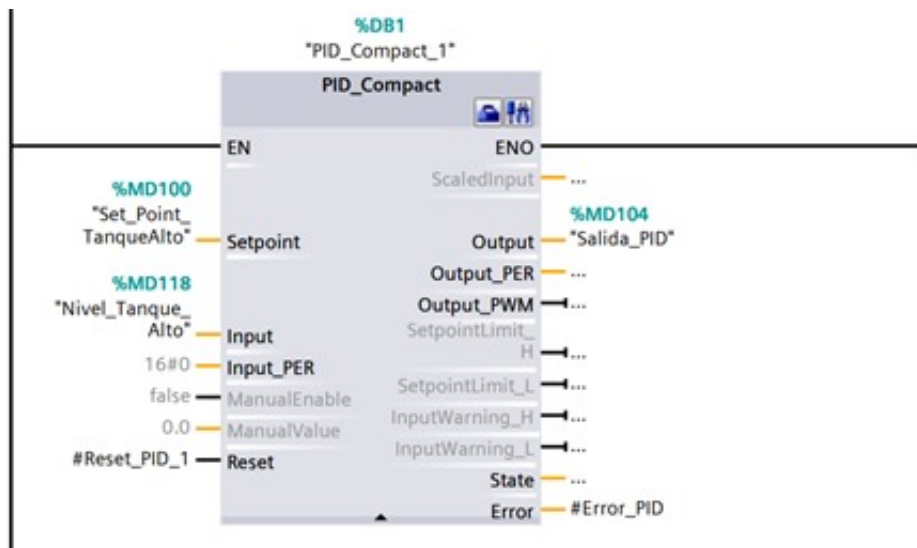


Figura 39. Imagen tomada de Tia Portal V15.0

V-I2. *Diseño del mando del sistema:* En este segmento se describe la activación del PID en la sección del tanque alto, para el cual se ha puesto temporizadores que dan señal de inicio a la bomba para su encendido, a la vez cuenta con un reset en su pantalla HMI de manera individual en este regulador de PID. La condición 'always true' hace referencia a que cumpla el proceso siempre y cuando sea digitada la señal. Cuenta con la activación del controlador PID en la sección de tanque del medio, a su vez haciendo uso de temporizadores para recibir la señal de mando. El reseteo del sistema para este PID esta descrito en la pantalla HMI desde un botón digital, por lo cual al momento de presionarlo el sistema manda el reinicio.

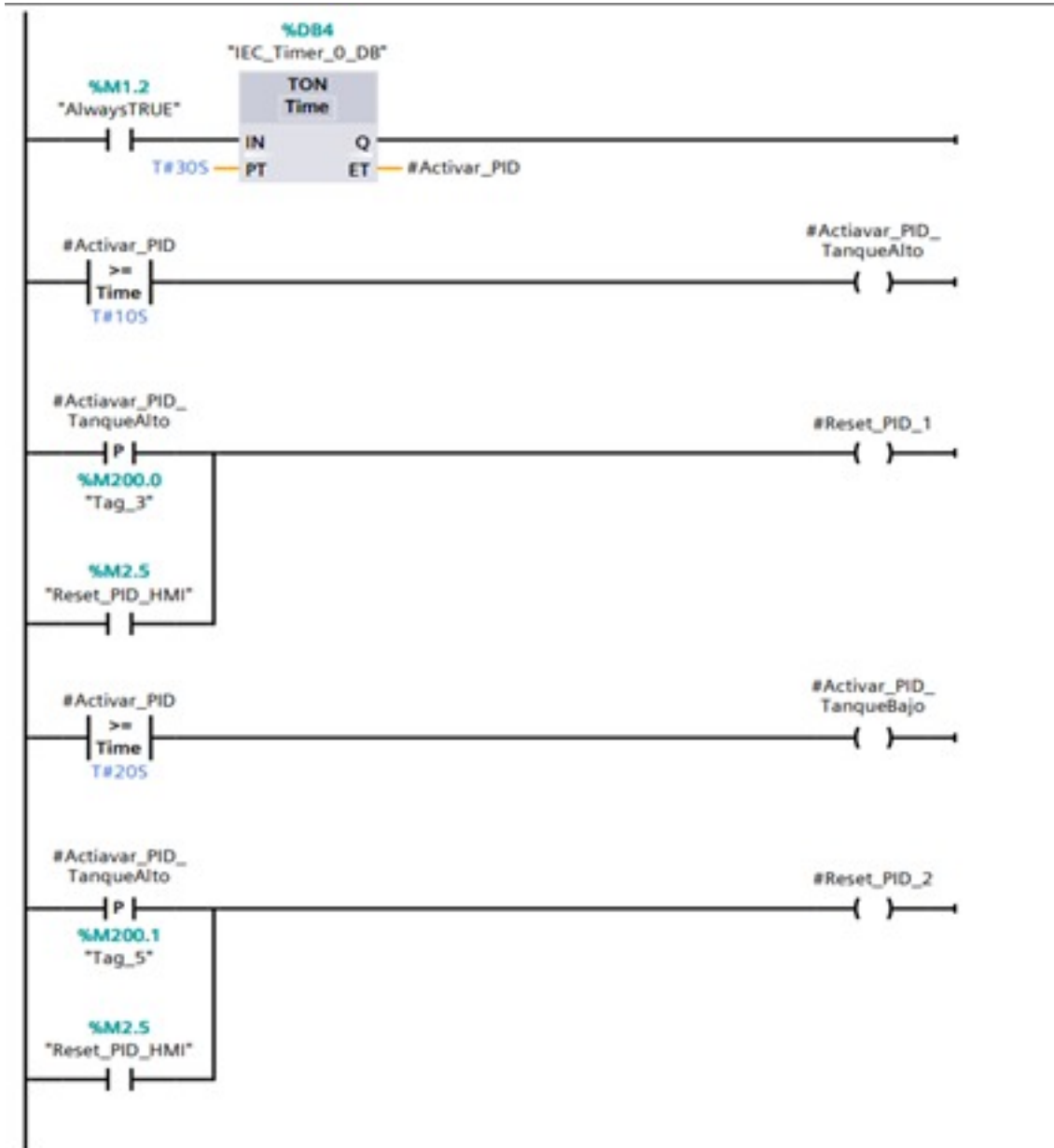


Figura 40. Imagen tomada de Tia Portal V15.0

V-J. Control de la bomba trifásica

V-J1. *Entrada Analógica del sensor tanque medio:* En el cálculo de la señal que emite el sensor respecto al tanque medio se ha tenido en cuenta la capacidad de avance en mm con el fin de realizar una relación entre el punto bajo y alto del tanque, por lo cual, se ha llegado a obtenerla en base a la ecuación de la recta descrita a continuación la siguiente fórmula para obtener el valor neto en el tanque.

V-J2. *Velocidad de la bomba:* Mediante una ecuación de la recta, teniendo en cuenta los valores análogos de señal, se denota su funcionamiento al 100% y sus valores análogos a un rendimiento total, en base a estos parámetros se realiza la búsqueda de una pendiente para obtener una ecuación que describa el funcionamiento con su variable a la salida del PID.

$$m = \frac{27648 - 0}{100 - 0} \quad (27)$$

$$m = 271,48 \quad (28)$$

$$y - y_0 = m(x - x_0) \quad (29)$$

$$y - 27648 = 271,48(x - 100) \quad (30)$$

$$y = 271,48(x) \quad (31)$$

Network 1: Entarada analoga del sensor tanque alto

```
0001 "Nivel_Tanque_Alto" := -0.007118 * ("Sensor_Nivel_Tanque_Alto") + 117.53;
```

Network 2: Entarada analoga del sensor tanque medio

```
0001 //"Nivel_Tanque_Medio" := -0.009398 * ("Sensor_Nivel_Tanque_Medio") + 115.03;  
0002 "Nivel_Tanque_Medio" := -0.007118 * ("Sensor_Nivel_Tanque_Medio") + 117.53;
```

Network 3: Salida analoga escalado de frecuencia variador

```
0001 "velocidad bomba" := 276.48 * ("Salida_PID");
```

Figura 41. Imagen tomada de Tia Portal V15.0

V-J3. *Diseño del arranque del sistema:* El sistema dispone una condición al inicio del proceso de llenado de tanques, con el fin de guardar en su memoria datos importantes digitables tales como la marcha, paro y paro de emergencia, para situaciones extremadamente no controlables como el rebose de uno de los tanques.

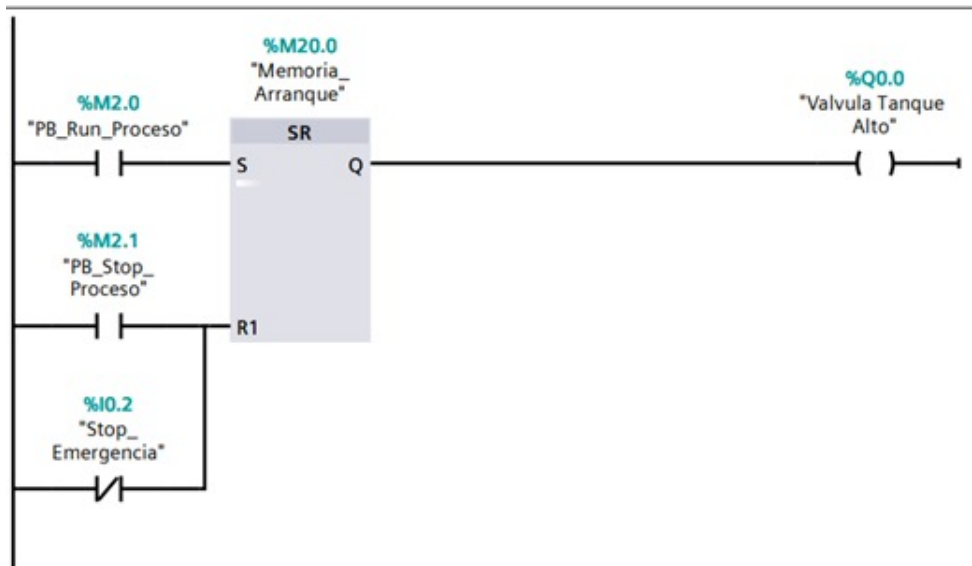


Figura 42. Imagen tomada de Tia Portal V15.0

V-J4. *Condiciones de arranque de la bomba:* En el encendido de la bomba se empieza con un contacto abierto para el sensor de on/off ubicado en el tanque de reservorio, una vez pasado el nivel de liquido en la seccion inferior este sensor le da paso a energizar el sistema del tanque alto con la condición de que el llenado debe ser menos del 95 % para evitar rebose, cumplida esta orden se colocó un temporizador con un tiempo de 5 segundos para dar inicio de succión de la bomba, si el nivel de reservorio no pasa el sensor flotador en el nivel mas bajo no se logra encender o dar inicio al encendido del sistema, lo cual esta descrito como la salida del PID, si esta no supera los 20hz de frecuencia no se encenderá la bomba para la circulación del agua.

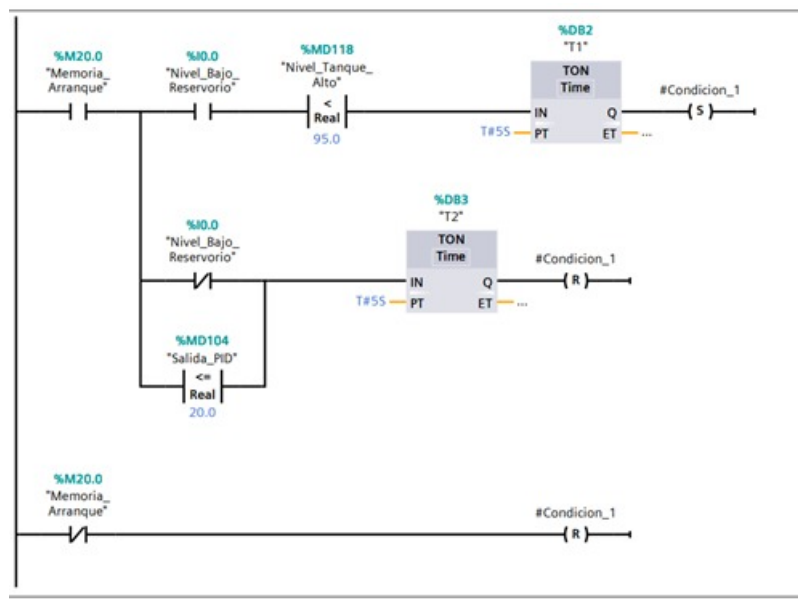


Figura 43. Imagen tomada de Tia Portal V15.0

V-J5. *Activar el arranque del variador:* Si la condición que se encuentra denotada en el apartado del documento que tiene como tema condiciones de arranque de la bomba se cumple le da paso al variador que realice su función siempre y cuando este trabaje a un valor superior al 33 % como valor real de funcionamiento determinado. Con la ecuación de la recta y la pruebas realizadas se describe que la forma práctica de saber el porcentaje de salida del PID es relacionarla en una gráfica de porcentaje de salida PID vs Frecuencia en hz de la bomba. Como consecuencia de esta gráfica se denota una pendiente entre los puntos alto y bajo, tanto de frecuencia como porcentaje PID, y así describir de esta manera el rendimiento del PID con la variación de frecuencia de bomba.

$$m = \frac{100 - 0}{60 - 0} \quad (32)$$

$$m = 1,666 \quad (33)$$

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (34)$$

$$y - 100 = m(x - 60) \quad (35)$$

$$y - 100 = 1,666x - 99,6 \quad (36)$$

$$y = 1,666x + 0,4 \quad (37)$$

$$y = 1,666(20) + 0,4 \quad (38)$$

$$y = 33,3 \quad (39)$$

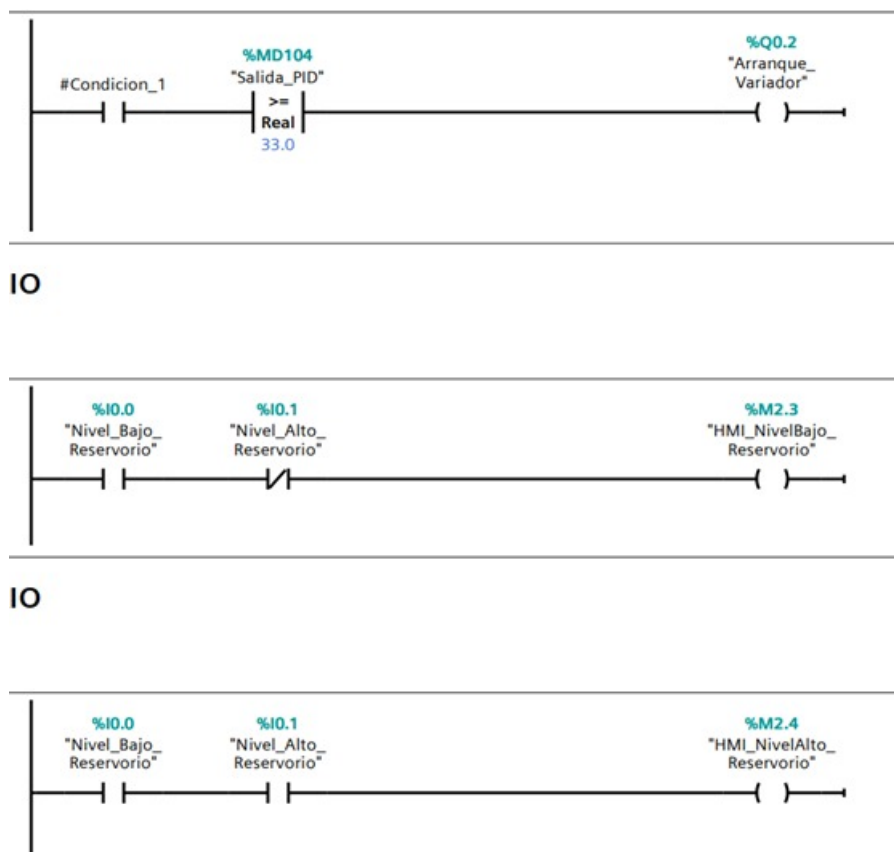


Figura 44. Imagen tomada de Tia Portal V15.0

V-J6. *Diseño del nivel del tanque de reservorio:* En este segmento se hace uso de un contacto abierto y otro cerrado, puesto que la señal que envía el sensor flotador es de ON/OFF o bien esta encendido o esta apagado, en este caso, se cierra o se abre el contacto, por lo tanto, cuando se cierra el contacto del sensor bajo manda la señal al hmi indicando que el nivel de agua ha pasado el punto mas bajo del tanque. El indicador de nivel alto en el tanque de reservorio hace una función igual a el indicador de nivel en la zona alta del tanque respondiendo de forma de switch abierto o cerrado para que tenga paso la energía.

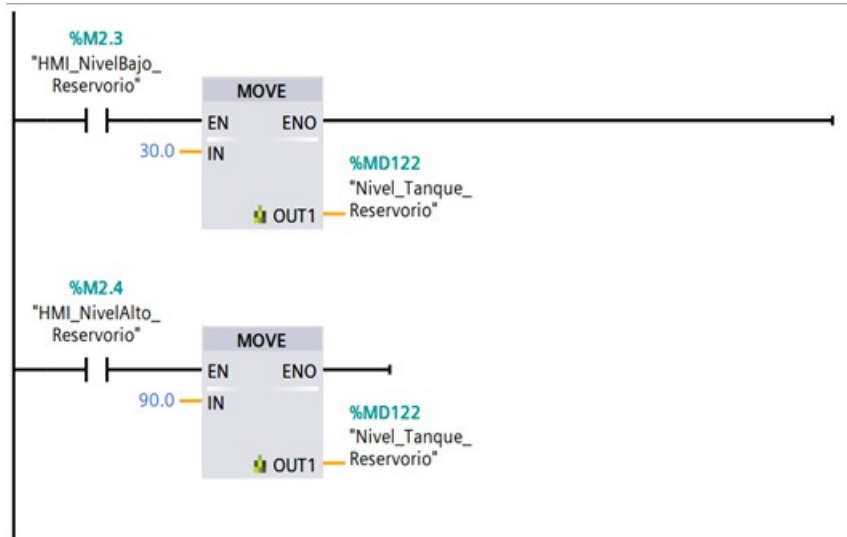


Figura 45. Imagen tomada de Tia Portal V15.0

V-J7. *Visualización de estado de nivel en HMI :* Se controla el esquema visual en el hmi y los valores que están digitados tanto 30 como 90. siendo estos el porcentaje del tanque en el cual se muestra el volumen de liquido que esta ingresado en el tanque de reservorio.

V-K. *Diseño para la comunicación entre la bomba y variador*

En los siguientes segmentos se describe la comunicación de la bomba con el variador de frecuencia, a su vez esta descrito la programación para el control automático al momento de iniciar el sistema arranque con un valor de porcentaje fijo que están denotados como 50 por ciento y 60 por ciento respectivamente.

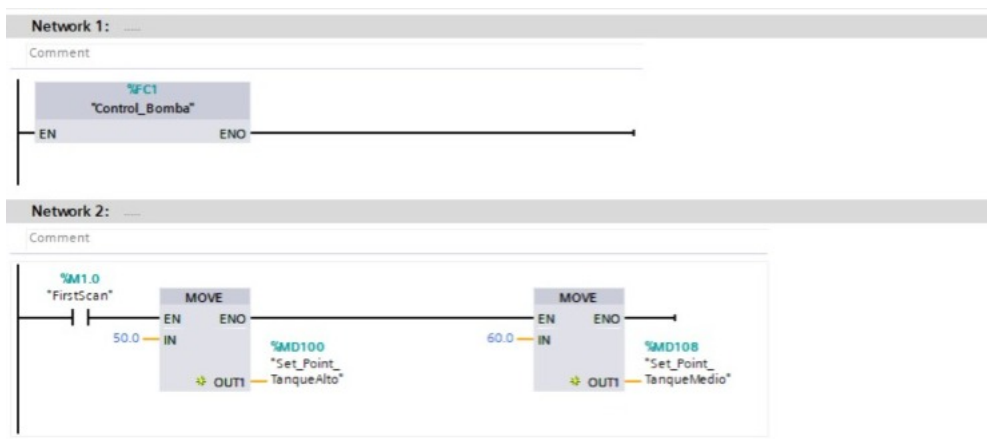


Figura 46. Imagen tomada de Tia Portal V15.0

V-L. *Modelo Matemático*

El modelo matemático del sistema de control consiste en encontrar un punto de estabilización haciendo referencia a la altura deseada para mantener el nivel del líquido en el tanque de forma constante, pudiendo ser perturbado solo por medio de la apertura de la válvula. Esto funciona aplicando la ingeniería en control para uso necesario de control PID de forma automatizada y desde instrumentos tecnológicos, basándose en lograr encontrar de forma adecuada el modelado matemático que corrobore las debidas practicas físicas experimentales en el sistema, en una aplicación manual y escrita, basada en ecuaciones.

V-L1. *Tanque de nivel posición alta modelado:* Considerando entre los puntos claves que son el caudal de entrada y el de salida se manejará el estado de la altura denominada h que es la cual va a variar dependiente al ingreso y salida del liquido, por lo cual tenemos en cuenta factores como la masa (m) de las partículas y la velocidad con la cual salen del tanque (v)

El nivel del agua dentro del tanque de reservorio es despreciable, así como la estabilización en función del tiempo de la bomba y variador de frecuencia, el caudal de la bomba dependerá netamente de la señal de voltaje que recibirá el variador de frecuencia y el tanque principal conectado.

V-L2. *Ecuaciones Generales del sistema en función del tiempo :*

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \quad (40)$$

$$v = \sqrt{2gh} \quad (41)$$

Cuadro VIII
ESPECIFICACIONES DE VARIABLES

Masa de partículas	m
Gravedad	g
Velocidad de salida de tanque	v
Altura del tanque	h

V-L3. *Válvulas:* Las válvulas juegan un papel importante en el control del liquido que esta fluyendo hacia el tanque, que se encuentra en la posición alta de la planta, siempre y cuando se desee perturbar la entrada o salida del tanque como tal, se hace uso de válvulas manuales con el fin de mejorar y perturbar el control, y así obtener una estabilización en un punto adecuado.

El flujo en cada una de las válvulas es netamente proporcional al área de abertura de cada válvula, siempre y cuando la diferencia de presión sea constante.

$$Q = A_{tb}\sqrt{2gh} \quad (42)$$

$$Q = h^{\frac{1}{2}}(A_{tb}\sqrt{2g}) \quad (43)$$

En suposición cuando el flujo de salida es proporcional a la abertura de la válvula se considera un suministro de forma constante sea el caso:

$$Q = K * h^m \quad (44)$$

V-M. *Modelado matemático del tanque de nivel*

El modelo matemático de control del tanque alto se realiza a partir de las ecuaciones matemáticas del tanque de nivel; se basa en el balanceo de masas del sistema para lograr obtener mediante la misma las ecuaciones diferenciales correspondientes.

El balance se basa en la simple técnica de que al fluido que ingresa al tanque se le resta el fluido que sale, este debe ser igual a la capacitancia. Para realizar la ejecución de este paso tener presente la ecuación principal:

$$A_h \dot{h} = Q_e - Q_s \quad (45)$$

La siguiente ecuación se describe de tal manera, asumiendo que la válvula de paso se mantendrá abierta a un 100 % considerando que el total de la abertura en 100 % y cuando se encuentre cerrada equivale a un 0 %.

$$Q_s = A_{tb} \sqrt{2gh} \quad (46)$$

Cuadro IX
ESPECIFICACIONES DE VARIABLES

Altura deseada en el tanque	A_{h1}
Caudal de salida	Q_s
Área de la tubería de desfogue	A

V-N. *Ecuación de caudal de entrada*

Para determinar el caudal de entrada del tanque se realizara pruebas en tiempo real, elaboradas en el prototipo, debido a que en el sistema no cuenta con un sensor que permita determinar cuanto caudal ingresa al tanque de forma científica, teniendo los parámetros listo como altura y gravedad se procede a determinar la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q_e \quad (47)$$

$$Q_s = A_{tb} \sqrt{2gh} \quad (48)$$

El valor de k para un buen funcionamiento de control oscilara entre los valores descritos.

$$0 < K > 1 \quad (49)$$

$$Q_s = \alpha \sqrt{h} \quad (50)$$

$$\alpha = k A_{tb} \sqrt{2g} \quad (51)$$

$$k = \frac{\alpha}{A_{tb} \sqrt{2g}} \quad (52)$$

Cuadro X
ESPECIFICACIONES DE VARIABLES

Constante de parametrización	α
Nivel de tanque	h
Área de la tubería de desfogue	A_{tb}
Gravedad	g

A continuación se realizarán las pruebas físicas experimentales en el sistema para obtención de valores reales propuesto en la siguiente toma de datos:

Resultados obtenidos con un estado de 35Hz representados en el variador de frecuencia en comunicación con la bomba.

Cuadro XI
PRUEBA DEL SISTEMA EN 35 HZ

Fq	h	t	dh	dt	Q	
35		10	45,67	0	42,8	0
		15	66,79	5	21,12	53,26704545
		20	86,76	5	19,97	56,33450175
		25	107,08	5	20,32	55,36417323
		30	127,48	5	20,4	55,14705882
		35	147,43	5	19,95	56,39097744
				promedio (Q)	55,30075134	

Resultados obtenidos con un estado de 40Hz representados en el variador de frecuencia en comunicación con la bomba.

Cuadro XII
PRUEBA DEL SISTEMA EN 40 HZ

Fq	h	t	dh	dt	Q	
40		10	30,25	0	30,25	0
		15	43,65	5	13,4	83,95522388
		20	57,26	5	13,61	82,65980896
		25	70,99	5	13,73	81,93736344
		30	85,49	5	14,5	77,5862069
		35	99,91	5	14,42	78,01664355
				promedio (Q)	80,83104935	

Resultados obtenidos con un estado de 45Hz representados en el variador de frecuencia en comunicación con la bomba.

Cuadro XIII
PRUEBA DEL SISTEMA EN 45 HZ

Fq	h	t	dh	dt	Q	
45		10	24,84	0	24,82	0
		15	36,25	5	11,41	98,5977213
		20	47,61	5	11,36	99,03169014
		25	58,96	5	11,35	99,11894273
		30	70,9	5	11,94	94,22110553
		35	82,11	5	11,21	100,3568243
				promedio (Q)	98,26525679	

Resultados obtenidos con un estado de 50Hz representados en el variador de frecuencia en comunicación con la bomba.

Cuadro XIV
PRUEBA DEL SISTEMA EN 50 HZ

Fq	h	t	dh	dt	Q
50	10	22,63	0	22,63	0
	15	32,49	5	9,86	114,0973631
	20	42	5	9,51	118,29653
	25	51,9	5	9,9	113,6363636
	30	61,69	5	9,79	114,9131767
	35	71,57	5	9,88	113,8663968
			promedio (Q)		114,961966

Resultados obtenidos con un estado de 55Hz representados en el variador de frecuencia en comunicación con la bomba.

Cuadro XV
PRUEBA DEL SISTEMA EN 55 HZ

Fq	h	t	dh	dt	Q
55	10	19,43	0	19,43	0
	15	28,07	5	8,64	130,2083333
	20	36,56	5	8,49	132,5088339
	25	45,02	5	8,46	132,9787234
	30	53,45	5	8,43	133,4519573
	35	61,45	5	8	140,625
			promedio (Q)		133,9545696

Resultados obtenidos con un estado de 60Hz representados en el variador de frecuencia en comunicación con la bomba.

Cuadro XVI
PRUEBA DEL SISTEMA EN 60 HZ

Fq	h	t	dh	dt	Q
60	10	18,89	0	18,89	0
	15	27,67	5	8,78	128,1321185
	20	36,26	5	8,59	130,9662398
	25	44,99	5	8,73	128,8659794
	30	54,1	5	9,11	123,4906696
	35	62,75	5	8,65	130,0578035
			promedio (Q)		128,3025621

Luego de encontrar cada uno de los valores para cada una las frecuencia de trabajo en cada determinada altura y tiempo, se obtiene los valores para proceder a ser reemplazados en la siguiente ecuación de caudal:

$$Q = \frac{(\Delta h)(A_t)}{\Delta t} \quad (53)$$

Asumiendo el caudal obtenido de manera experimental se procede a sacar un promedio entre cada uno de los caudales en diferentes puntos de posición en la altura del tanque.

El variador de frecuencia esta comunicado con el plc por medio de la Signal Board la cual entrega un voltaje de comunicación al variador que corresponde entre los 0 a 10 voltios DC, el voltaje se refleja en la frecuencia que trasmite el variador a la bomba de la siguiente manera:

Cuadro XVII
VOLTAJE - FRECUENCIA

Voltaje	Frecuencia Hz
0	0Hz
10	60Hz

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento del caudal respecto al voltaje de frecuencia.

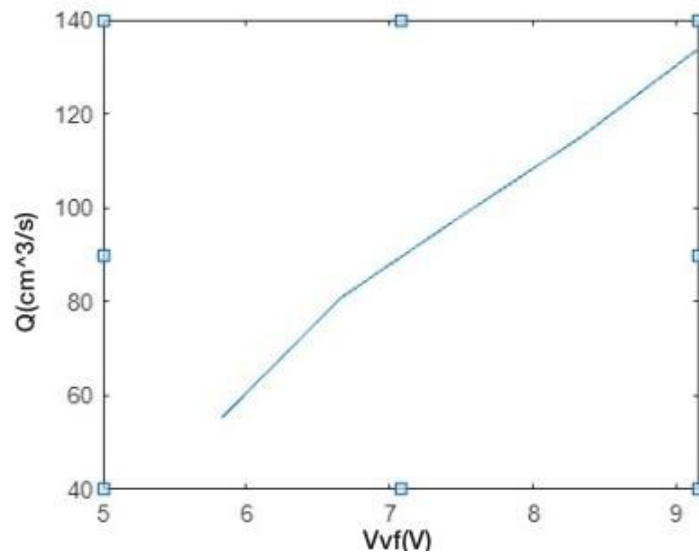


Figura 47. Gráfica de caudal vs voltaje de variador.

V-Ñ. Datos para la ecuación de caudal salida

A partir de los datos ya registrados como lo son la frecuencia y caudal de entrada en el tanque, se analizara una determinada altura cuando la válvula de entrada ingrese el fluido y su descarga este completamente abierta permitiendo el desfogue del tanque y realizar la función de estabilizar el nivel del tanque en diferentes valores de frecuencias moduladas con el potenciómetro del variador.

En la siguiente gráfica se muestra los valores obtenidos a partir de la frecuencia, el caudal y la altura:

Frecuencia(Fr)	Caudal(Q)	Altura(h)cm	Voltaje Variador	ln(Q)	ln(h)
40	80,5258	10,3	6,66	4,38857763	2,3321439
42,5	89,4004	14,5	7,08	4,49312516	2,67414865
45	98,275	18	7,5	4,58776967	2,89037176
47,5	107,1496	25	7,92	4,67422599	3,21887582
50	115,8129	32,7	8,33	4,75197596	3,48737508

Figura 48. Toma de datos: frecuencia, caudal y altura

VI. RESULTADOS

VI-A. Diseño en Autocad Plant

En esta sección se muestra el diseño que se realizo en el software Autocad Plant 3D del modelado de los tanques y la bomba.

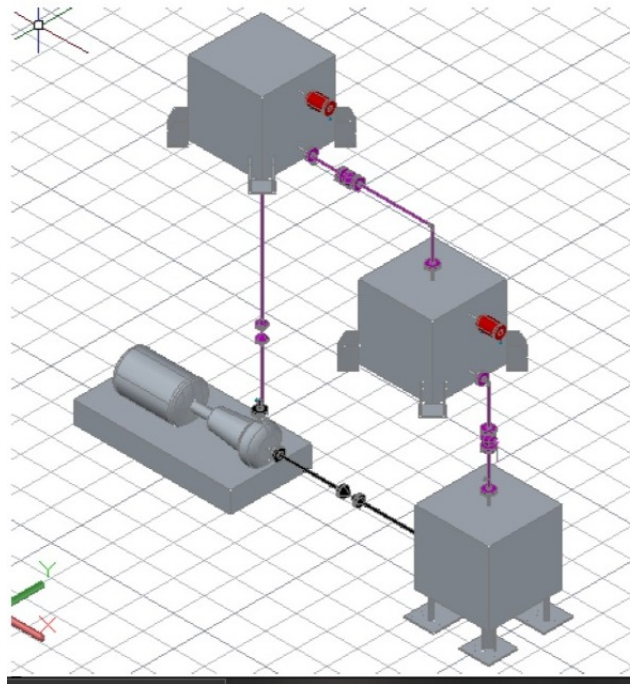


Figura 49. Prueba PID SetPoint vs T(ms) .

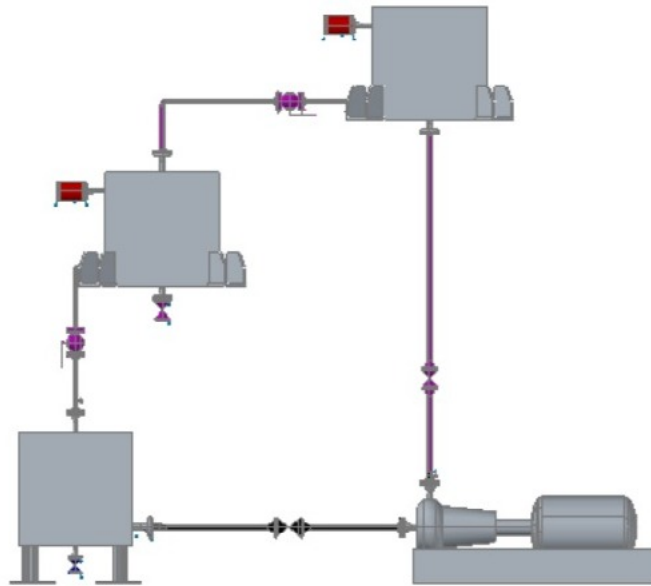


Figura 50. Prueba PID SetPoint vs T(ms) .

VII. PROGRAMACIÓN EN EL SOFTWARE TIA PORTAL

VII-A. Análisis gráfico PID del sistema

A continuación se muestra las imágenes de las gráficas PID del sistema en ciertos set-point digitados:

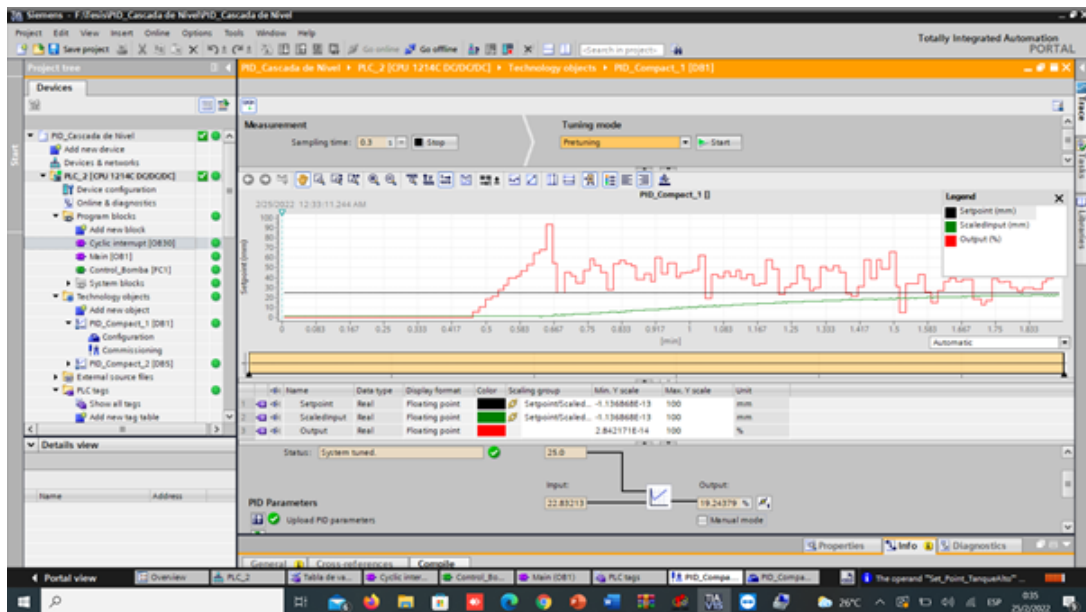


Figura 51. Prueba PID SetPoint vs T(ms).

En la siguiente imagen se realiza una comparación entre el setpoint y el tiempo que se toma en estabilizar la función dentro de su señal en tiempo real.

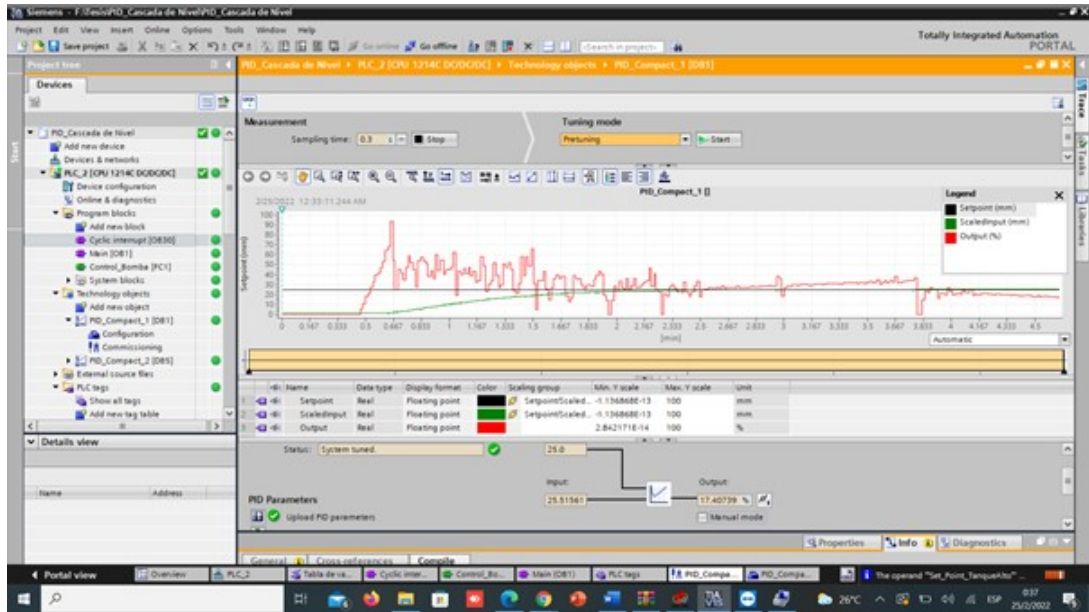


Figura 52. Prueba PID SetPoint vs T(ms) .

En este apartado se visualiza como ha transcurrido un cierto determinado tiempo y la función de setpoint, en tiempo real la cual se esta estabilizando en relación con la señal de setpoint ingresada manualmente.

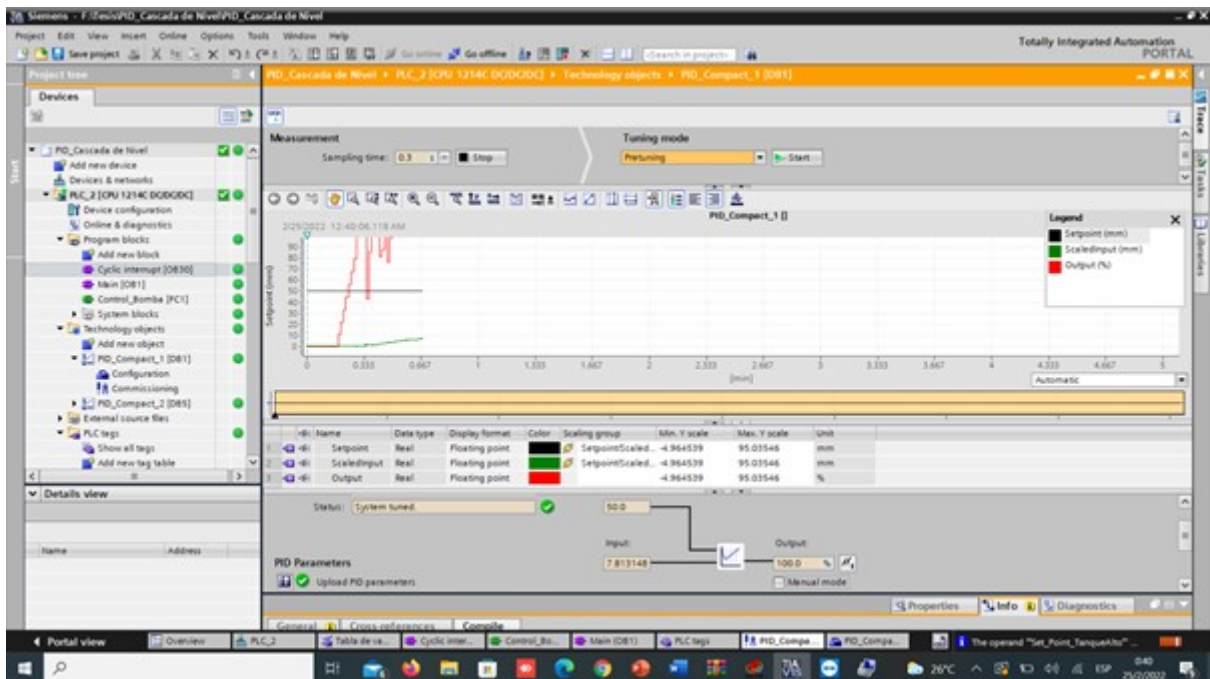


Figura 53. Prueba PID SetPoint vs T(ms) .

En el siguiente gráfico se ingresa de manera manual el valor de setpoint donde se requiere llegar, se pone en marcha el funcionamiento del PID hasta estabilizarlo.

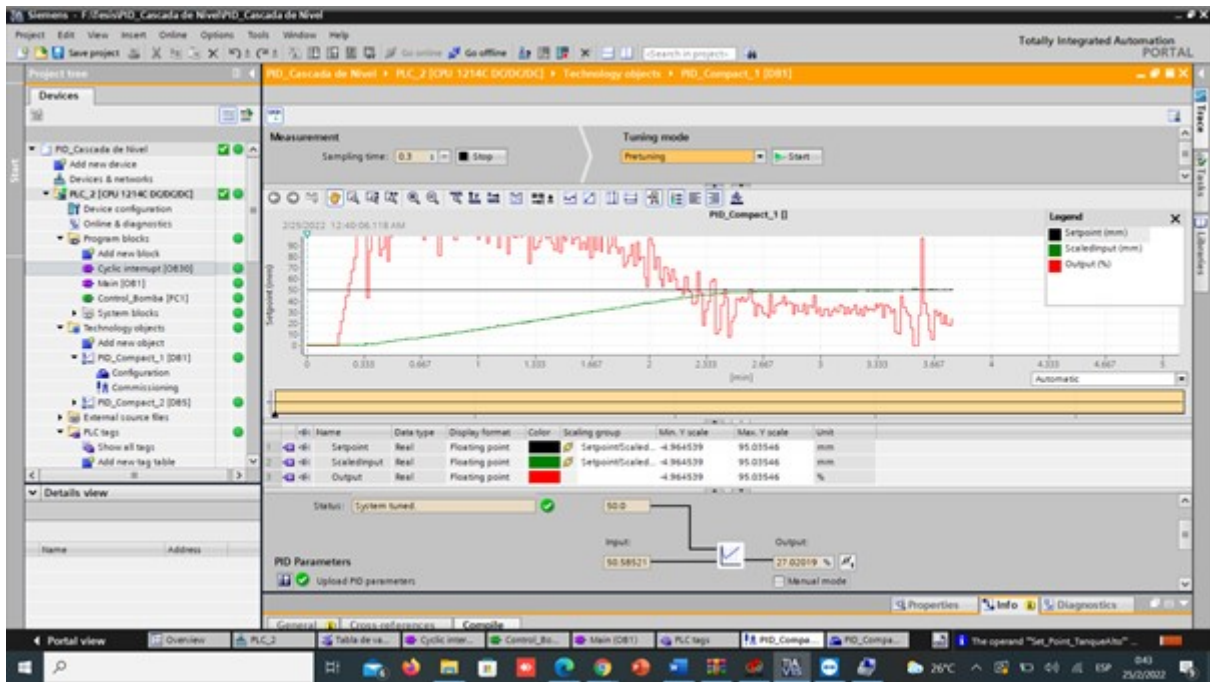


Figura 54. Prueba PID SetPoint vs T(ms) .

Se llega a estabilizar el sistema trabajando a un 50 % dentro de un determinado tiempo de inicialización hasta que las gráficas del PID, ingresadas en los valores de setpoint de manera manual tome el mismo valor en tiempo real son las dos líneas que se muestran en la imagen del HMI.

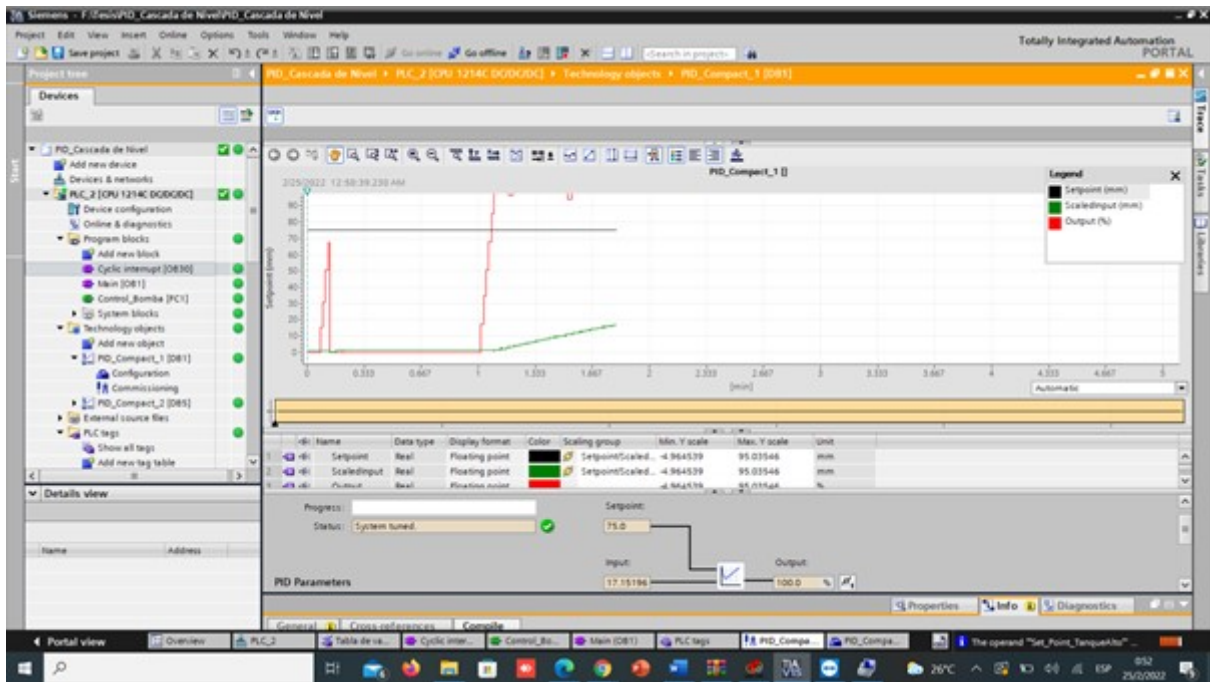


Figura 55. Prueba PID SetPoint vs T(ms) .

Trabajando un 75 % la fluyente de liquido que ingresa se ve con un poco mas de presión debido a que la bomba al ser una distancia mas grande que las anteriores su funcionamiento no se ve interferido por la señal del sensor hasta llegar a un punto cercano del valor ingresado con la real.

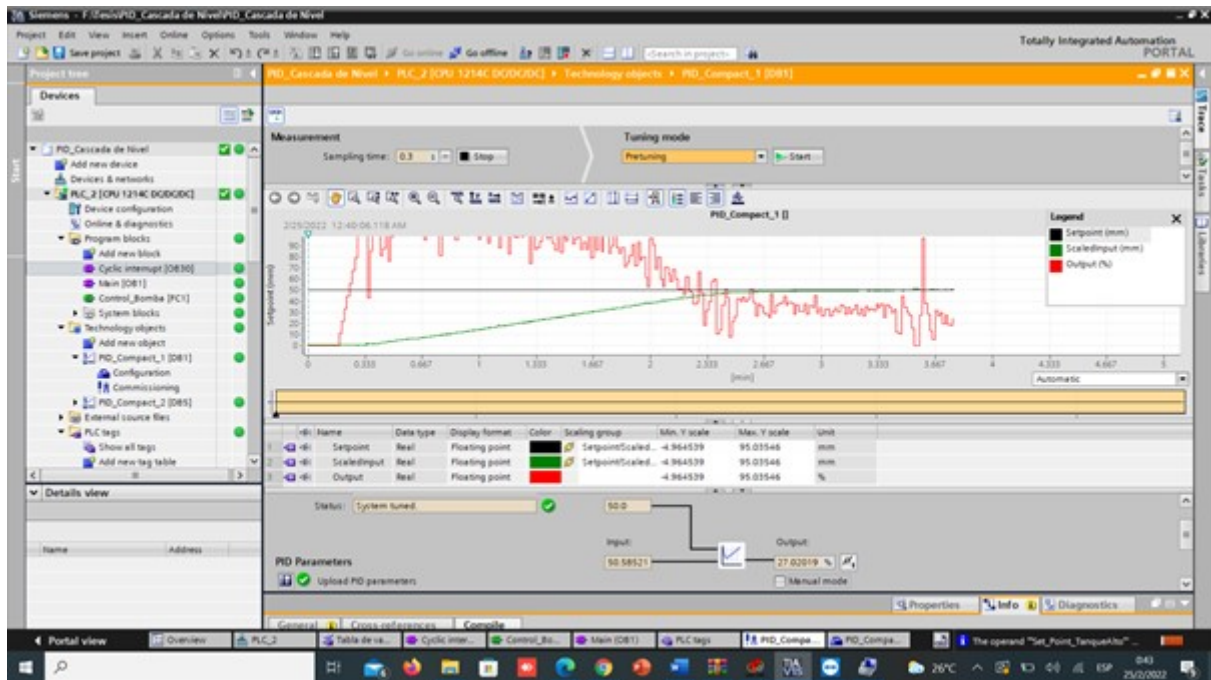


Figura 56. Prueba PID SetPoint vs T(ms).

Estabilización total dentro del sistema a un 70 % en un determinado tiempo, teniendo en cuenta que dentro de la gráfica el tiempo toma su transcurso normal, siempre y cuando no complete el setpoint en tiempo real su valor ingresado de manera manual.

VII-B. Gráficas y ecuaciones obtenidas a partir de las pruebas experimentales

AL realizar el proceso de ajuste de curva utilizando Matlab se obtuvo datos numéricos de tal manera que la curva queda expresada de la siguiente manera

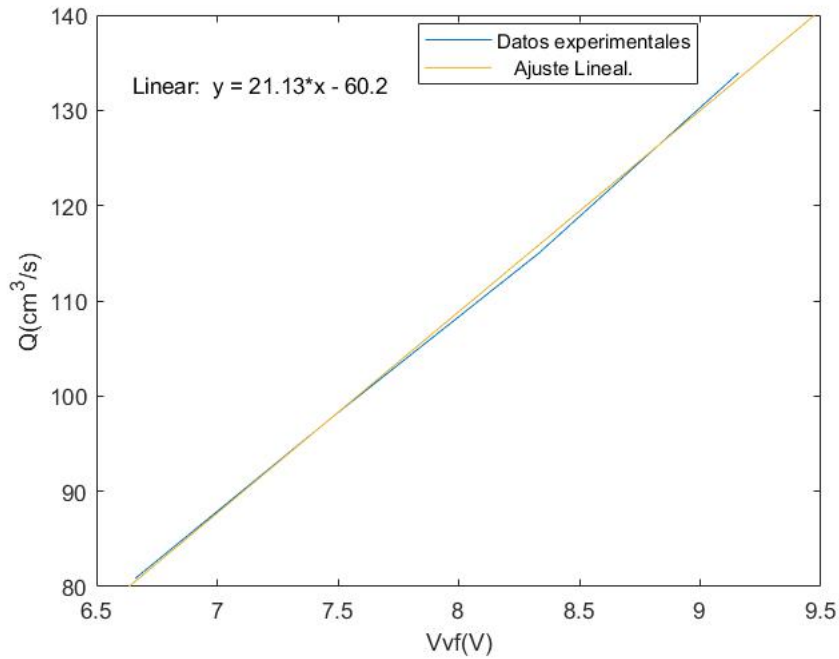


Figura 57. Gráfica de caudal vs voltaje de frecuencia

Ecuación de caudal de entrada obtenida a partir de los siguientes datos:

$$Q_e = m_1 V_v f + b_1 \quad (54)$$

y = Frecuencia en Hz. x = Voltaje aplicado al variador de frecuencia.

$$y = 21,13(x) - 60,2 \quad (55)$$

VII-C. Obtención de ecuación de caudal salida

$$Q = \alpha h^\beta \quad (56)$$

Donde se aplica logaritmo natural para determinar los valores de los parámetros tanto alpha como beta.

$$\ln Q = \ln \alpha + \beta \ln h \quad (57)$$

La ecuación 57 se puede graficar como una recta considerando la variable independiente $\ln h$ y como variable dependiente $\ln Q$, donde:

$$b = \ln \alpha \quad (58)$$

$$m = \beta \quad (59)$$

$$\alpha = e^b \quad (60)$$

Por lo tanto, con este procedimiento se puede encontrar el coeficiente y el exponente de h , obteniendo:

$$Q_s = e^b * h^m \quad (61)$$

Para la ecuación denotada en el apartado de 'Obtención de ecuación de caudal de salida' en su inicio se debe tener presente para su ajuste lineal el parámetro en alpha como en "k".

$$\alpha = kA(2g)^m \quad (62)$$

y para K:

$$k = \frac{\alpha}{A(2g)^m} \quad (63)$$

Cuando se obtiene la ecuación de la recta se puede proceder hacer el reemplazo de la ecuación:

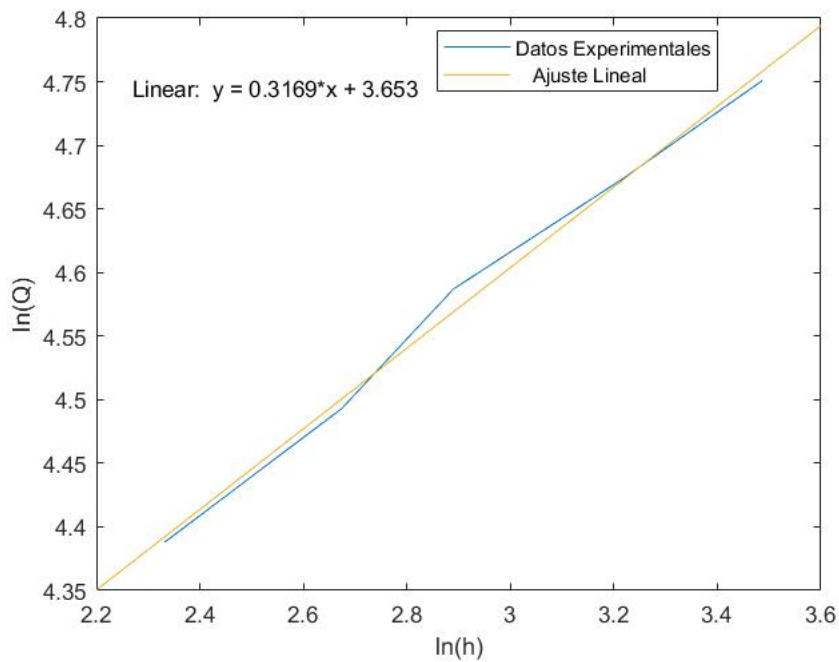


Figura 58. Grafica ln(Q) vs ln(H)

$$y = 0,3169(x) + 3,653 \quad (64)$$

$$Q = \alpha h^\beta \quad (65)$$

$$\ln Q = \ln \alpha + \beta \ln h \quad (66)$$

$$y = \ln Q \quad (67)$$

$$x = \ln h \quad (68)$$

$$b = \ln \alpha \quad (69)$$

$$Q_s = e^b h^m \quad (70)$$

$$Q_s = e^{3,653} h^{0,3169} \quad (71)$$

$$Q_s = 38,59 * h^{0,3169} \quad (72)$$

VII-D. Ecuación general

Luego de realizar la parametrización de cada componente que constituye el sistema de control se llega a una ecuación final donde involucra la resta de un caudal de entrada menos el de salida para obtener un altura en función de una altura derivativa.

$$Ah = (m_1 V_v f + b_1) - (e^b h^m) \quad (73)$$

$$Ah = (21,13V_v f - 60,2) - (e^{3,653} h^{0,3169}) \quad (74)$$

$$Ah = (21,13V_v f - 60,2) - (38,59 * h^{0,3169}) \quad (75)$$

VII-E. Monitoreo con dispositivo móvil

La comunicación que existe entre el HMI y el celular se encuentran comunicados gracias a un sistema de libre acceso dentro de los dispositivos que tiene como nombre TeamViewer mediante a una contraseña personal desde un dispositivo móvil se ingresa a la PC con el objetivo de reflejar y monitorear el sistema mostrado en la pantalla HMI.

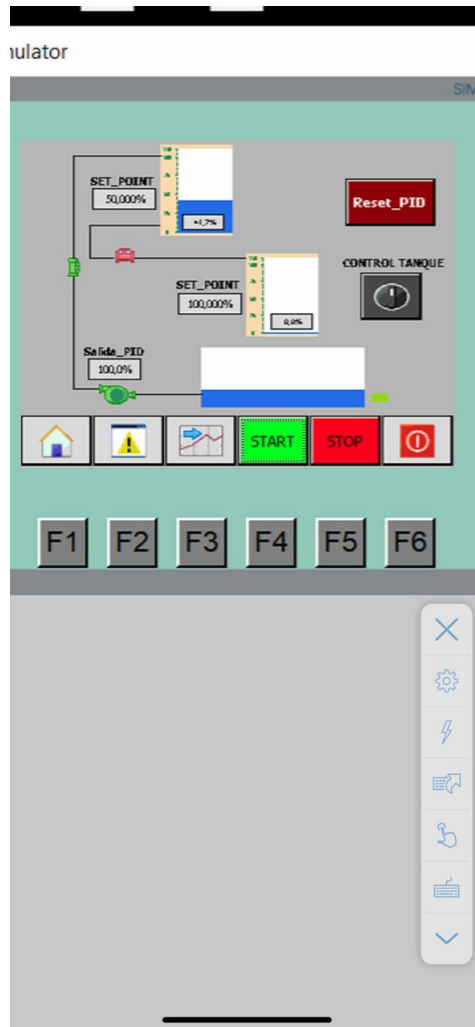


Figura 59. HMI reflejado en celular

VIII. CRONOGRAMA

Cuadro XVIII
TABLA DE CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

Tareas	Responsable	Días	11/05/2021	17/05/2021	14/06/2021	16/06/2021	21/06/2021	24/06/2021	05/07/2021	12/07/2021	14/07/2021	17/07/2021	18/07/2021
Indagación del tema propuesto	Sofía Basantes Lopez Diaz	5											
Charla con el dirigente de tesis en base a tema propuesto.	Ing. Nino Vega	1											
Selección del tema de investigación	Sofía Basantes Lopez Diaz	7											
Investigaciones del tema con mayor enfoque al sistema a realizar en la tesis	Sofía Basantes Lopez Diaz	15											
Definición de objetivos generales y específicos	Sofía Basantes Lopez Diaz	9											
Redacción de justificación del problema de investigación	Sofía Basantes Lopez Diaz	15											
Aseoramiento del tema con el ingeniero a cargo	Ing. Franklin Kumpi.	1											
Elaboración de marco teórico	Sofía Basantes Lopez Diaz	18											
Investigación de materiales a usar en la elaboración física del proyecto	Sofía Basantes Lopez Diaz	4											
Cotización de precios dentro del país y fuera del país de los materiales	Sofía Basantes Lopez Diaz	4											
Elaboración de una tabla de presupuesto	Sofía Basantes Lopez Diaz	2											
Análisis de prueba y error de motor que se usara dentro del proyecto	Sofía Basantes Lopez Diaz	1											
Curso presencial de controles eléctricos	Sofía Basantes Lopez Diaz	15											
Investigación del tipo de motor a usar	Sofía Basantes Lopez Diaz	2											
Investigación de análisis de voltaje para proyecto	Sofía Basantes Lopez Diaz	1											
Cotización de motor trifásico 1hp	Sofía Basantes Lopez Diaz	1											
Cotización de motor trifásico 0.75hp	Sofía Basantes Lopez Diaz	1											
Cotización de diámetros generales para tablero de control	Sofía Basantes Lopez Diaz	1											
Cotización de recipientes para la sustancia líquida a usar	Sofía Basantes Lopez Diaz	1											
Análisis investigativo de sistema de lazo cerrado	Sofía Basantes Lopez Diaz	3											
Investigación de sistema de control en cascada	Sofía Basantes Lopez Diaz	4											
Corrección Tabla de presupuesto	Sofía Basantes Lopez Diaz	2											
Corrección de cronograma de actividades.	Sofía Basantes Lopez Diaz	1											
Corrección de planteamiento de problema	Sofía Basantes Lopez Diaz	2											
Corrección de justificación	Sofía Basantes Lopez Diaz	1											

Cuadro XIX
TABLA DE CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

Tareas	Responsable	Días	20/07/2021	21/07/2021	23/07/2021	27/07/2021	28/07/2021	05/08/2021	10/08/2021	11/08/2021	14/08/2021
Indagación del tema propuesto	Sofía Basantes Lopez Diaz	5									
Charla con el dirigente de tesis en base a tema propuesto.	Ing. Nino Vega	1									
Selección del tema de investigación	Sofía Basantes Lopez Diaz	7									
Investigaciones del tema con mayor enfoque al sistema a realizar en la tesis	Sofía Basantes Lopez Diaz	15									
Definición de objetivos generales y específicos	Sofía Basantes Lopez Diaz	9									
Redacción de justificación del problema de investigación	Sofía Basantes Lopez Diaz	15									
Asesoramiento del tema con el Ingeniero a cargo	Ing. Franklin Kuoouqui.	1									
Elaboración de marco teórico	Sofía Basantes Lopez Diaz	18									
Investigación de materiales a usar en la elaboración física del proyecto	Sofía Basantes Lopez Diaz	4									
Cotización de precios dentro del país y fuera del país de los materiales	Sofía Basantes Lopez Diaz	4									
Elaboración de una tabla de presupuesto	Sofía Basantes Lopez Diaz	2									
Análisis de prueba y error de motor que se usara dentro del proyecto.	Sofía Basantes Lopez Diaz	1									
Curso presencial de controles eléctricos	Sofía Basantes Lopez Diaz	15									
Investigación del tipo de motor a usar	Sofía Basantes Lopez Diaz	2									
Investigación de análisis de voltaje para proyecto	Sofía Basantes Lopez Diaz	1									
Cotización de motor trifásico 1hp	Sofía Basantes Lopez Diaz	1									
Cotización de motor trifásico 0.75hp	Sofía Basantes Lopez Diaz	1									
Cotización de elementos generales para tablero de control	Sofía Basantes Lopez Diaz	1									
Cotización de recipientes para la sustancia líquida a usar	Sofía Basantes Lopez Diaz	1									
Análisis investigativo de sistema de lazo cerrado	Sofía Basantes Lopez Diaz	3									
Investigación de sistema de control en cascada	Sofía Basantes Lopez Diaz	4									
Corrección Tabla de presupuesto	Sofía Basantes Lopez Diaz	2									
Corrección de cronograma de actividades.	Sofía Basantes Lopez Diaz	1									
Corrección de planteamiento de problema	Sofía Basantes Lopez Diaz	2									
Corrección de justificación	Sofía Basantes Lopez Diaz	1									

IX. PRESUPUESTO

A continuación se muestra la tabla de presupuesto de la construcción del prototipo

Cuadro XX
TABLA DE PRESUPUESTO.

Tabla de Presupuesto				
Elemento	Tipo de recurso	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Tubo PVC roscable "PLASTIGAMA" 1/2" x 6mt	Tubería PVC	1	\$20,00	\$20,00
Codo roscable 1/2 Plastigama	Codos	15	\$1,00	\$15,00
Unión Roscable 1/2 Plastigama	Uniones	10	\$1,00	\$10,00
Cinta teflón 12MMX10M	Teflón	5	\$0,75	\$3,75
Flotador De Agua Sensor De nivel 12v On-off	Sensor de flujo	2	\$25,00	\$50,00
Electroválvula 12v Agua Válvula Solenoide 1/4"	Válvula Solenoide	2	\$60,00	\$120,00
Bomba trifásica 0,5 HP	Bomba 3L	1	\$300,00	\$300,00
Tanques Acrílicos (25Lt)	Tanques acrílicos	3	\$100,00	\$300,00
Sensor Ultrasónico PEPPERL - FLUCHS	Sensor de nivel	2	\$300,00	\$600,00
Siemens PLC Simatic s7/1200	PLC S7-1200	1	\$500,00	\$500,00
Samsung Galaxy S8 Plus	Dispositivo android	1	\$400,00	\$400,00
Base del sistema	Estructura metálica	1	\$250,00	\$250,00
Movilización	Trasnporte	1	\$100,00	\$100,00
Signal Board SB1224 con 1A0	Tarjeta de comunicación	1	\$160,00	\$160,00
Alimentación		2	\$20,00	\$40,00
Breaker Aisikai	Control de encendido	2	\$10,00	\$20,00
Cable AWG Flexible Conelsa Numero 12	Cable (25metros)	1	\$50,00	\$50,00
Cable AWG flexible #14	Cable (25metros)	1	\$32,00	\$32,00
Set de juego destornilladores stanley	Borneros	1	\$50,00	\$50,00
Válvula check 1/2	Retención de agua	1	\$3,00	\$3,00
HMI 6"	Pantalla digital	1	\$650,00	\$650,00
Válvulas de bola	válvulas de 1/2	4	\$5,00	\$20,00
Cinta aislante		2	\$2,50	\$5,00
Multímetro		1	\$150,00	\$150,00
Tablero Eléctrico		1	\$75,00	\$75,00
Variador de frecuencia 220Vac	Variador	1	\$350,00	\$350,00
Alicate Industrial	Playo	2	\$12,00	\$24,00
Varios		1	\$100,00	\$100,00
			Costo Total	\$4.397,75

X. CONCLUSIONES

- El software Autocad Plant 3D permite realizar modelados esquemáticos ya sea básicos o completos, con todas las especificaciones técnicas que este requiera para obtener una representación inicial del sistema.
- Con la implementación del sistema SCADA mediante el software Tia Portal se logró obtener todos los parámetros necesarios para controlar el sistema utilizando el lenguaje de programación de tipo ladder.
- Para la elección del sensor de nivel se debe tomar en cuenta las dimensiones del tanque y la altura a la cual será instalado, puesto que cada sensor cuenta con una escala parametrizada de control de detección y espacios inertes dentro de sus rangos de lectura.
- Gracias a las pruebas experimentales se realiza la calibración de altura del sensor y se concluye que el tiempo de estabilización del setpoint digitado se ve interferido por las perturbaciones dentro del tanque, puesto, que el sensor cuenta con una variación del nivel debido al burbujeo dentro del recipiente.
- De los experimentos que se realizaron para obtener el caudal de salida de la bomba respecto al nivel del primer tanque se obtuvo una toma de datos escritos en una tabla para conocer el caudal y tiempo de ingreso al tanque y determinar la ecuación general final.
- De los experimentos que se realizaron para obtener la función que relaciona el caudal de la bomba y el voltaje del variador de frecuencia se observó que la gráfica representada en Matlab nos permite conocer los parámetros de trabajo.

XI. RECOMENDACIONES

- Verificar que el interruptor de seguridad (breaker) este en estado Off antes de ser enchufado a la corriente.
- Antes del encendido comprobar que el tanque reservorio este lleno, puesto que si no lo está, la bomba succionará aire y existirán fallos en el encendido.
- Realizar el posicionamiento del sensor para que no exista inconvenientes en la lectura del mismo dentro del tanque, tomando en cuenta su espacio inerte de lectura.
- Verificar que el sensor ultrasónico muestre un valor positivo de porcentaje en la pantalla HMI, de lo contrario no se encenderá el sistema.
- Se debe tener descargada la aplicación Team Viewer tanto en la computadora como en el celular para realizar el monitoreo remoto.
- Para determinar el estado de estabilización del nivel en el tanque se debe realizar por lo menos 3 pruebas experimentales con el objetivo de tener mayor precisión en el punto de trabajo establecido.

REFERENCIAS

- [1] E. Bossart, *La medición de nivel por presión hidrostática en depósitos cerrados*, abr. de 2013.
- [2] Q. Q. J. Carlos, F. G. Ernesto, J. Bautista López y Q. A. Víctor, «Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable,» vol. 15, págs. 41, 50, 2014.
- [3] T. Cortez, *Instrumentos de medición de nivel*. dirección: https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14084/mod_resource/content/0/instrumentosnivel.pdf.
- [4] P. G. L. Fernando, «Modelo Matemático para vaciado de Tanques,» vol. 22, págs. 89, 94, 2017.
- [5] *Hoja de datos Siemens*, 2020. dirección: <https://www.siemens.com/global/en.html>.
- [6] <http://instrumentacionindustrial.blogspot.com/2007/06/medicion-por-presion-diferencial.html>, 2007.
- [7] P. Jimenez, «Concepto de controladores PID e implementación en un horno de fundición de acero,» *Tecnología en Marcha*, págs. 31-40, 2014.
- [8] B. Kuo, «Sistemas automáticos de control,» *Tecnología Industrial II*,
- [9] L. Lozano, L. Rodriguez y G. Didier, «Diseño, Implementación y Validación de un controlador PID Auto-sintonizado,» *Tecno Logias*, n.º 28, págs. 33-53, 2012.
- [10] *Manual de programación Altivar 31*, 2004. dirección: <https://solar.schneider-electric.com/es/schneider-electric-solar-es/>.
- [11] M. Perez, E. Perez y A. Perez, «Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo,» *Tecnología en Marcha*, 2007.
- [12] R. Quiala Llorens, F. Hernandez Montero y A. Perez Molinet, «Sistema de monitoreo de nivel de liquido en grandes depósitos,» *Revista Ingeniería*, 2018.
- [13] J. A. Sáez, *El control de nivel con indicadores de nivel tipo Bypass*. dirección: <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/nivel/control-nivel-indicadores-nivel-tipo-bypass/>.
- [14] A. Simmonds-Mendoza, N. Cabera-Londono, J. R.-M. N. Berdugo-Barandica y E. Yime-Rodriguez, «Implementación de control PID de nivel en laboratorio usando PLC Siemens S7-300,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 17, págs. 159-178, 2018.
- [15] J. C. Villajulca, *Como funciona una estrategia de control en cascada*, 2020. dirección: <https://instrumentacionycontrol.net/como-funciona-una-estrategia-de-control-en-cascada-definiciones-y-ejemplos/>.

XII. ANEXOS

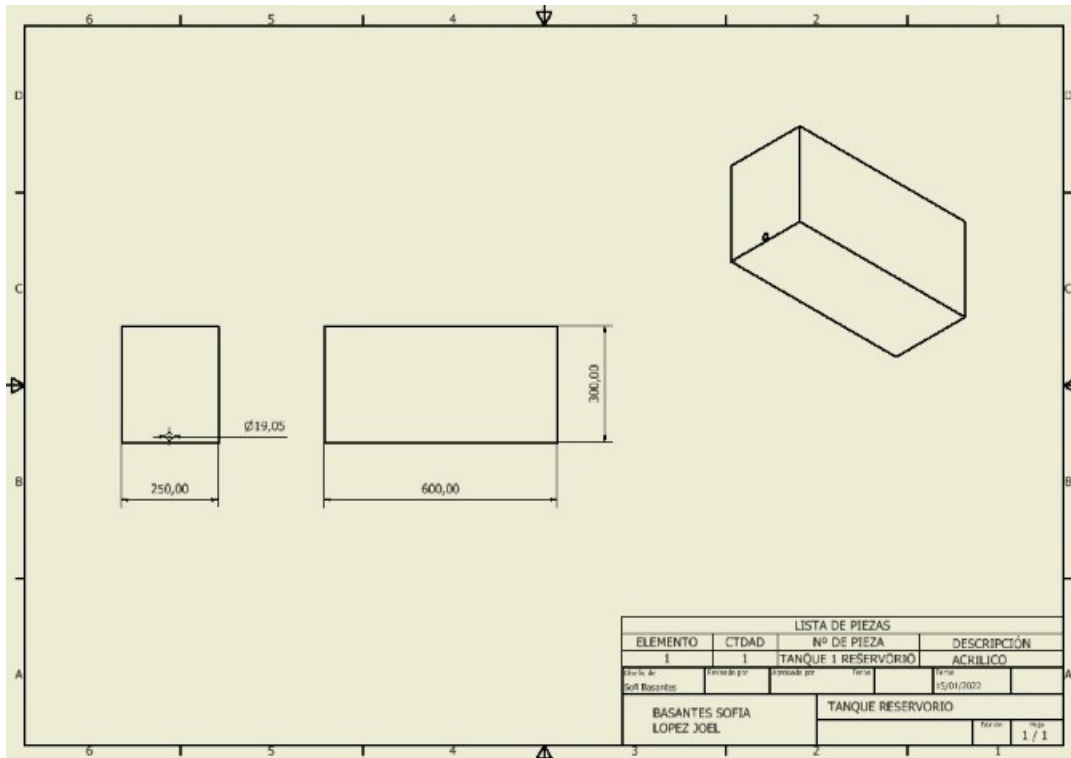


Figura 60. Plano de tanque de reservorio

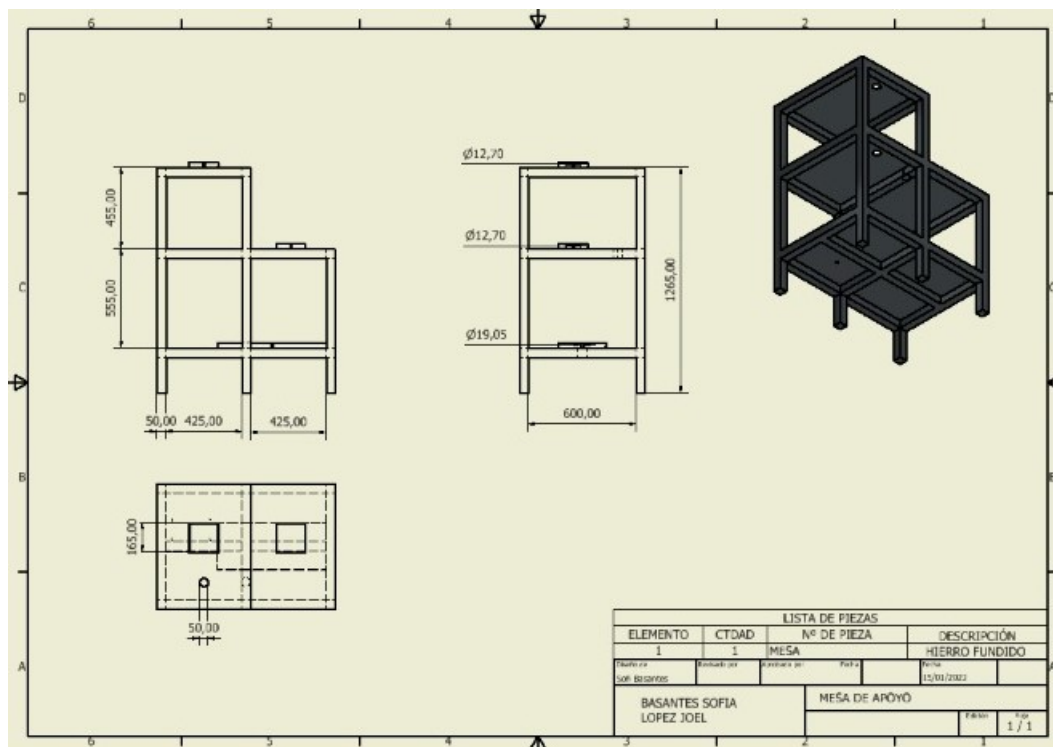


Figura 61. Plano de estructura metálica

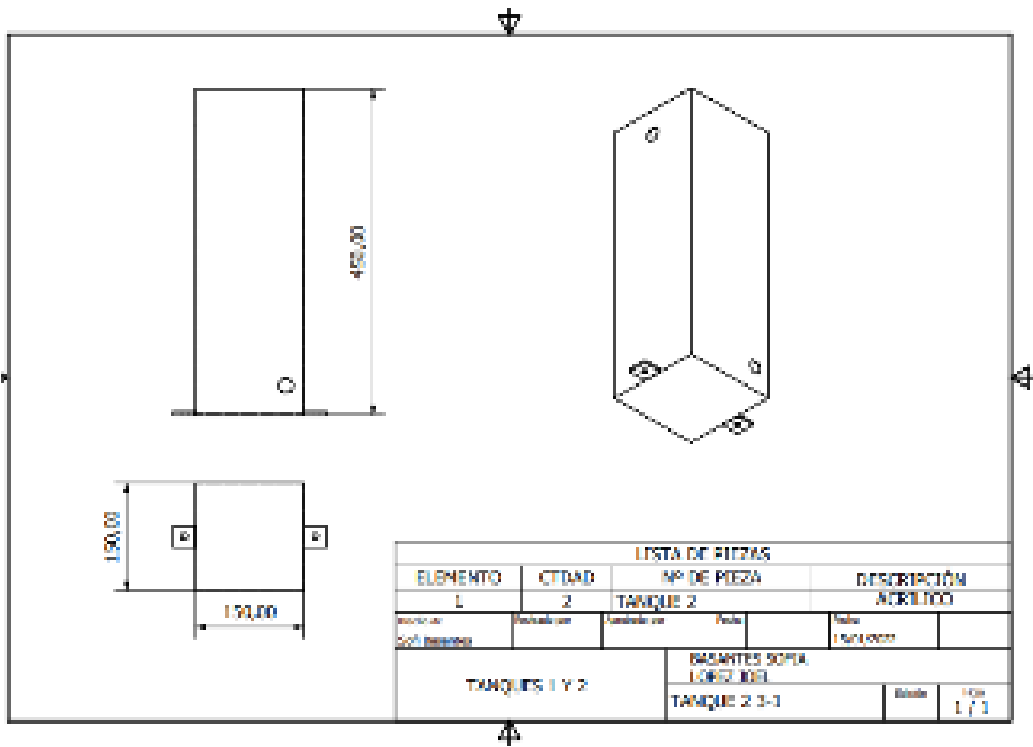


Figura 62. Plano de tanque pequeño

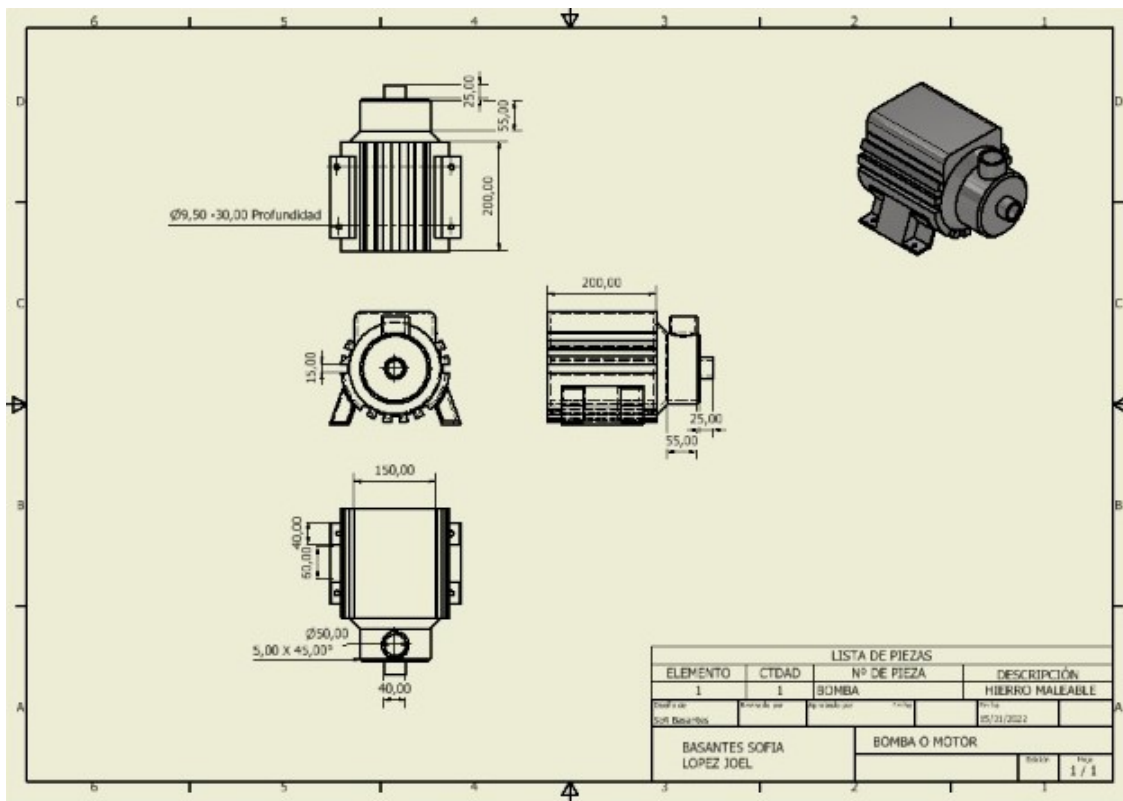


Figura 63. plano de bomba

SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU COMPACTA, DC/DC/DC, E/S INTEGRADAS: 14 DI 24V DC; 10 DO 24 V DC; 2 AI 0 - 10V DC, ALIMENTACION: DC 20,4 - 28,8 V DC, MEMORIA DE PROGRAMA/DATOS 100KB



Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1214C DC/DC/DC
Versión de firmware	V4.1
Ingeniería con	
<ul style="list-style-type: none"> Paquete de programación 	STEP 7 V13 SP1 o superior
Display	
Con display	No
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
<ul style="list-style-type: none"> 24 V DC 	Si
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Tensión de carga L+	
<ul style="list-style-type: none"> Valor nominal (DC) Rango admisible, límite inferior (DC) Rango admisible, límite superior (DC) 	24 V 20,4 V 28,8 V
Intensidad de entrada	

Figura 65. Datasheet del PLC s7 1200 1214 DC/DC/DC