



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta Tecnológica, previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE
CONTROL UTILIZANDO PLC PARA EL PROCESO
DE FLUIDO Y NIVEL DE LLENADO DE TANQUES”**

AUTORA:

ZOILA MARÍA BASTIDAS PERERO

TUTOR:

ING. SENDEY AGUSTÍN VERA GONZÁLEZ, MACI

LA LIBERTAD – ECUADOR

2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios Todopoderoso por ser mi guía a lo largo de mi carrera, por darme fuerzas en los momentos difíciles, y ser el maestro de mi vida que me brindó experiencias y aprendizajes.

Agradezco a mis padres Piedad Perero y Segundo Bastidas, que me apoyaron en todo mi periodo estudiantil y por ser el mejor ejemplo de padres, también quiero agradecer a mis amigos por todas las vivencias compartidas en mi etapa universitaria, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, a mi tutor Sendey Vera, a mis docentes Samuel Bustos y José Sánchez quienes me brindaron su apoyo incondicional compartiendo sus enseñanzas para lograr mi titulación en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones.

Zoila María Bastidas Perero

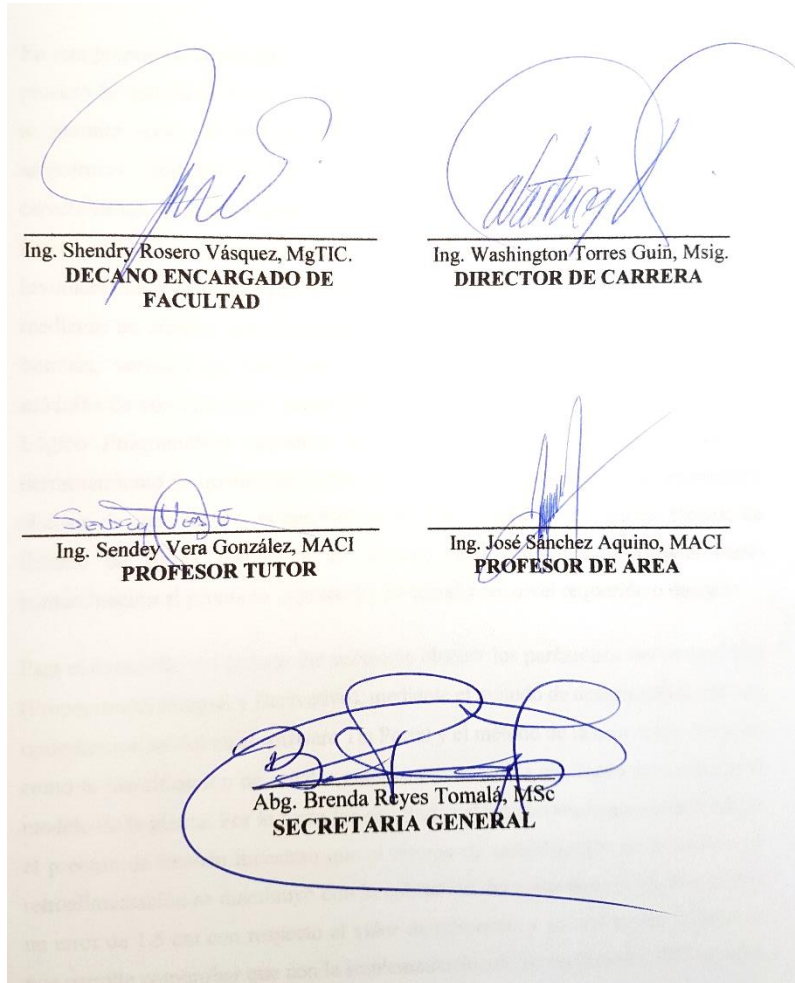
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de titulación denominado: **“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL UTILIZANDO PLC PARA EL PROCESO DE FLUIDO Y NIVEL DE LLENADO DE TANQUES”**, elaborado por la estudiante **BASTIDAS PERERO ZOILA MARÍA**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo a la estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La Libertad, 24 de Agosto del 2017


.....
Ing. Sendey Vera González, MACI

TRIBUNAL DE GRADO



RESUMEN

En esta propuesta tecnológica se muestra el análisis y diseño de un sistema para el proceso de control de nivel y de flujo en el llenado de un tanque, con este trabajo se permite poner en práctica los conocimientos adquiridos de las diferentes asignaturas recibidas en el período estudiantil y conocer las diferentes características técnicas, como el funcionamiento de los componentes lógicos y físicos utilizados en esta propuesta. La importancia de realizar este proyecto involucra una investigación y pruebas experimentales para controlar el nivel y flujo, mediante un sistema que incorpora varios elementos y equipos como sensores, bombas, variador de frecuencia, pantalla HMI (Interfaz Hombre Máquina), módulos de comunicación, conversores digital analógico y un PLC (Controlador Lógico Programable) utilizados en la industria, siendo capaz de evitar el derramamiento de líquidos en tanques y como consecuencia de esto se incrementa el costo de consumo por el desperdicio del mismo, además realizar un proceso de llenado de forma manual y sin control puede presentar problemas como contaminación al producto y precisión de llenado del nivel requerido o deseado.

Para el desarrollo del trabajo fue necesario obtener los parámetros del control PID (Proporcional, Integral y Derivativo), mediante el método de autosintonización con optimización inicial en el software Tia Portal y el método de la caja negra conocida como la identificación de señales entrada versus salida empleado para obtener el modelo de la planta. Por lo tanto los resultados obtenidos mediante las pruebas en el proceso de llenado muestran que el tiempo de estabilización de la planta con retroalimentación se disminuyó con la aplicación del controlador PID, obteniendo un error de 1,5 cm con respecto al valor de referencia y un sobre pico mínimo lo que permite comprobar que con la implementación de un controlador PID se logra optimizar el sistema de llenado.

ABSTRACT

This technological proposal shows the analysis and design of a system for the process of level control and flow in the filling of a tank, with this work it is allowed to put into practice the knowledge acquired from the different subjects received in the student period and to know the different technical characteristics, such as the operation of the logical and physical components used in this proposal. The importance of carrying out this project involves research and experimental tests to control the level and flow, through a system that incorporates various elements and equipment such as sensors, pumps, frequency inverter, HMI (Man Machine Interface) display, communication modules, digital analogue and a PLC (Programmable Logic Controller) used in the industry being able to prevent the spillage of liquids in tanks and as a consequence of this increase the cost of consumption by the waste of the same, also perform a process of filling manually and without control can present problems like contamination to the product and precision of filling of the required or desired level.

For the development of the work it was necessary to obtain the parameters of the PID control (Proportional, Integral and Derivative), using the self-tuning method with initial optimization in the Tia Portal software and the black box method known as the identification of input versus output signals used to obtain the model of the plant. Therefore the results obtained by the tests in the filling process show that the stabilization time of the plant with feedback was decreased with the application of the PID controller, obtaining an error of 1.5 cm with respect to the reference value and a on minimum peak which allows to verify that with the implementation of a PID controller it is possible to optimize the filling system.

DECLARACIÓN

El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena



Zoila María Bastidas Perero

TABLA DE CONTENIDOS

ITEM	PÁGINA
AGRADECIMIENTO	II
APROBACIÓN DEL TUTOR	III
TRIBUNAL DE GRADO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
DECLARACIÓN	VII
TABLA DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
LISTA DE ANEXOS	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
GENERALIDADES DE LA PROPUESTA	2
1.1 ANTECEDENTES.	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 RESULTADOS ESPERADOS.	5
1.5 JUSTIFICACIÓN.	5
1.6 METODOLOGÍA.	6
1.6.1 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.	7
CAPÍTULO II	8
LA PROPUESTA	8
2.1 MARCO CONTEXTUAL	8
2.2 MARCO CONCEPTUAL	8
2.2.1 Sistemas de control.	9
2.2.2 Tipos de control.	9
2.2.3 Control PID.	10
2.2.4 Medición de nivel de líquidos.	11
2.2.5 Sensor ultrasónico.	12
2.2.6 Actuadores.	12
2.2.7 Válvulas	13
2.2.8 Electroválvulas.	13
2.2.9 Comunicación Profinet.	13
2.2.10 Comunicación MODBUS.	13
2.2.11 Comunicación RS 485	13
2.2.12 Comunicación MODBUS - RS 485	14
2.2.13 HMI	14
2.2.14 Lenguaje Ladder	14
2.3 Marco teórico.	14
CAPÍTULO III	16
DESARROLLO DE LA PROPUESTA	16

COMPONENTES DE LA PROPUESTA (LÓGICOS Y FÍSICOS).	16
3.1 COMPONENTES FISICOS	16
3.1.1 Controlador lógico programable	16
3.1.2 Pantalla HMI MODELO: DOP-B03E211	17
3.1.3 Arduino Dueminalove	19
3.1.4 Variador de frecuencia.	19
3.1.5 Sensor ultrasónico HC-SR04.	20
3.1.6 Bomba Centrífuga Thebe th-16 NR 1/2 HP 3F	21
3.1.7 Bomba monofásica	22
3.1.8 Válvulas de Bronce 110 V	23
3.1.9 Sensor de flujo de agua.	24
3.1.10 Módulo de comunicación.	25
3.1.11 Válvulas de bola	26
3.2 COMPONENTES LÓGICOS.	27
3.2.1 Software Tia Portal	27
3.2.2 Software Matlab/Simulink.	28
3.2.3 Software DOPSoft	28
3.2.4 CADE SIMU V3.0	29
3.3 DISEÑO DE LA PROPUESTA.	29
3.3.1 Implementación de la planta para el llenado de tanques.	29
3.3.2 Sistema de dosificación para llenado de agua.	30
3.3.3 Instalación de sistema eléctrico y de control.	31
3.3.4 Diseño y Fabricación del gabinete de control.	32
3.3.5 Programación y funcionamiento del sistema	33
3.3.6 Identificación de la planta para proceso de control y flujo.	39
3.3.7 Programación de la pantalla HMI MODELO: DOP-B03E211	44
3.3.8 Diseño del control PID y simulación del sistema.	50
3.3.9 Configuración de parámetros del variador de frecuencia y PLC.	55
3.4 Análisis comparativo de costos de equipos.	63
3.4.1 Costo de elementos y equipos similares.	64
3.5 PRUEBAS	65
3.6 RESULTADOS	72
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Figura 1	Diagramas de Bloque del Control PID	11
Figura 2	PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY, ONBOARD I/O	16
Figura 3	Pantalla Delta Modelo DOP-B03E211	19
Figura 4	Placa de Arduino para conversión D/A Arduclema	19
Figura 5	Variador de frecuencia Delta 50-60 (Hz)	20
Figura 6	Sensor Ultrasónico	21
Figura 7	Bomba Centrifuga Thebe	21
Figura 8	Bomba Monofásica Paolo	23
Figura 9	Electroválvula de Bronce	23
Figura 10	Sensor de flujo YF-S201	24
Figura 11	Módulo de Comunicación CM 1241	25
Figura 12	Válvula de Bola para permitir el paso del líquido en el proceso	26
Figura 13	Válvula de Bola para permitir el paso del líquido	26
Figura 14	Software Tia Portal V13	27
Figura 15	Software Matlab/Simulink	28
Figura 16	Software DOPSoft para programación de la pantalla HMI	28
Figura 17	Software para realizar el diseño de circuito eléctrico	29
Figura 18	Estructura mecánica del sistema	30
Figura 19	Adecuación de los elementos a utilizar en la planta	31
Figura 20	Instalación del sistema eléctrico y de control	33
Figura 21	Software Tia Portal V13, ventana de creación de proyectos	34
Figura 22.	Variables para inicialización del proceso de llenado de tanques	35
Figura 23	Sistema de encendido de la bomba monofásica	36
Figura 24	Entrada de la señal analógica del sensor de flujo	36
Figura 25	Entrada de la señal analógica del sensor de nivel	37
Figura 26	Diagrama de flujo para la programación del PLC	38
Figura 27	Diagrama de bloques de principio del método de la caja negra	39
Figura 28	Ingreso de datos de entrada y salida para la identificación de señales	40
Figura 29	Función ident para obtener la función de transferencia	40
Figura 30	Generación de la función de transferencia para el control de flujo	41
Figura 31	Función de transferencia para el flujo	41
Figura 32	Ingreso de datos de entrada y salida para la identificación de señales	42
Figura 33	Función IDENT para obtener la función de transferencia	42
Figura 34	Obtención de la función de transferencia de nivel	42
Figura 35	Creación y configuración de variables para la pantalla HMI	44
Figura 36	Asignación de variables para la pantalla HMI	45
Figura 37	Asignación de variables para comunicación PLC-Pantalla HMI	46
Figura 38	Diagrama de flujo de la programación en la pantalla HMI	47
Figura 39	Diagrama eléctrico de la planta del proceso para control y flujo	48
Figura 40	Diagrama topológico del sistema de control	49
Figura 41	Diagrama de bloque general de la planta de control de nivel	49
Figura 42	Diagrama de bloque general de la planta de control de flujo	50
Figura 43	Bloque de programación de la función cíclica para control PID	51

Figura 44 Bloque de función FB	51
Figura 45 Bloque de PID_COMPACT	52
Figura 46 Ajustes Básicos del bloque PID_COMPACT	53
Figura 47 Ajustes del Valor Real del bloque PID_COMPACT	54
Figura 48 Ajustes Avanzados del bloque PID_COMPACT	54
Figura 49 Ajustes Avanzados del bloque PID_COMPACT	55
Figura 50 Variables de entrada y salida para el bloque de control PID	55
Figura 51 Configuración de pines para el variador de frecuencia y el PLC	57
Figura 52 Bloque de comunicación MB_COMM_LOAD	57
Figura 53 Bloque de comunicación para escritura del variador de frecuencia	58
Figura 54 Puesta en servicio del control PID	60
Figura 55 Grafica de variables del controlador PID para el proceso de nivel	60
Figura 56 Grafica de variables del controlador PID para el proceso de flujo	61
Figura 57 Parámetros de control PID de nivel	61
Figura 58 Parámetros de control PID de flujo	61
Figura 59 Finalización de la optimización de los parámetros PID	62
Figura 60 Curva de la función de transferencia de la planta	69
Figura 61 Curva de la planta del proceso de nivel aplicando PID	70
Figura 62 Curva de la función de transferencia del proceso de flujo	70
Figura 63 Curva del proceso de flujo con control PID	71

ÍNDICE DE TABLAS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Tabla 1	Características técnicas del PLC S7 – 1200	17
Tabla 2	Especificaciones técnicas de la pantalla táctil DOP – B03E211	18
Tabla 3	Características técnicas del variador de frecuencia	20
Tabla 4	Características de sensor ultrasónico	21
Tabla 5	Características de la Bomba centrífuga	22
Tabla 6	Datos técnicos de la Bomba centrífuga	23
Tabla 7	Características técnicas de la válvula solenoide	24
Tabla 8	Características Sensor de flujo YF-S201	24
Tabla 9	Datos técnicos del Módulo de comunicación	25
Tabla 10	Datos técnicos de la válvula de bola	26
Tabla 11	Datos técnicos de la válvula de bola	27
Tabla 12	Asignación de variables para comunicación entre equipos	35
Tabla 13	Variable de salida del Bloque PID_COMPACT V13	52
Tabla 14	Parámetros de entrada del Bloque PID_COMPACT	53
Tabla 15	Parámetros de configuración en el variador de frecuencia	56
Tabla 16	Configuración de pines entre el PLC y el Variador de frecuencia	57
Tabla 17	Parámetro del bloque MB_COMM_LOAD	58
Tabla 18	Registros de comunicación para el variador de frecuencia	59
Tabla 19	Direcciones de registros del variador de frecuencia	59
Tabla 20	Parámetros del bloque PID_COMPACT	62
Tabla 21	Costo de implementación del sistema de control	63
Tabla 22	Costo de implementación de equipos similares para el sistema	64
Tabla 23	Pruebas de calibración del sensor de distancia	65
Tabla 24	Diferencia del valor medido y valor real para nivel	66
Tabla 25	Pruebas de calibración del sensor de flujo	66
Tabla 26	Diferencia del valor medido y valor real para el flujo	66
Tabla 27	Prueba de Funcionamiento de la bomba y el variador de frecuencia	67
Tabla 28	Obtención de la medida de caudal	68
Tabla 29	Resultados de la planta para el control de nivel	70
Tabla 30	Resultados de la planta para el control de flujo	71

LISTA DE ANEXOS

N	DESCRIPCIÓN
1	Variables utilizadas en la programación del PLC
2	Programa para conversión del sensor ultrasónico.
3	Programa de conversión para el sensor de flujo.
4	Resultado de pruebas del control PID para el sistema control.
5	Elaboración de placas para el conversor D/A
6	Placa de conversor D/A Instaladas en el tablero de control.
7	Diagrama del circuito eléctrico del conversores D/A, Proteus.
8	Datos de sistema de los sensores y el variador
9	Tablero de control del sistema para el proceso de nivel y flujo.
10	Elaboración del tablero de control
11	Planta del proceso de control de nivel y flujo.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los sistemas de control automáticos, son de gran importancia para las industrias ya que sin ellos no se podrían mantener los diferentes procesos con eficiencia, calidad y a menor tiempo siendo necesario ajustar diversos parámetros de acuerdo a las condiciones de la planta y del operador, de acuerdo a la problemática que se presentan como por ejemplo, desperdicio de líquidos dosificación incorrecta, contaminación del producto y precisión de llenado. En esta propuesta se desarrolla un sistema para el control de nivel y flujo mediante un controlador PID (proporcional, integral, derivativo) y una pantalla HMI para supervisar los datos de los sensores y accionar las electroválvulas.

El control PID soluciona algunos problemas en diferentes procesos industriales y es usado en la industria en un 95% según la Universidad Francisco de Paula Santander, Bucaramanga, Colombia, este control cada vez es más explotado aunque su comprensión en la parte teórica requiere de mucho análisis y estudio. Estos controladores tienen relación con la comunicación de datos en conjunto con dispositivos como son los PLCs.

Los avances tecnológicos a través del tiempo han hecho que se puedan mejorar sus métodos de producción en las empresas, la automatización junto con la instrumentación ofrecen mejoras tanto en el trabajo del operador como en los procesos. Los controladores, actuadores y sensores son un complemento para monitorear procesos donde se utilice variables como caudal, presión, temperatura, y nivel.

Esta propuesta tecnológica se utiliza un PLC (Controlador Lógico Programable) para el control del proceso de flujo y nivel de llenado de tanques mediante un mecanismo tradicional conocido como PID usado generalmente en la industria para el control de diferentes procesos.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA PROPUESTA

1.1 ANTECEDENTES.

Actualmente existe una estrecha relación entre la Ingeniería Electrónica y el campo del Control Industrial, estas ramas forman un conjunto tecnológico de automatización de procesos, para el estudio de estas disciplinas se aplican controladores lógicos programables que son de importancia para los docentes y estudiantes para su formación de profesionales (Gómez, 2012). En las industrias y en los hogares se requieren sistemas de control que sean capaces de evitar el derramamiento de líquidos en tanques y como consecuencia de esto se incrementa el costo de consumo por el desperdicio del mismo o afecta en la producción de las industrias. Realizar un proceso de llenado de forma manual puede presentar problemas como contaminación al producto y precisión de llenado del nivel requerido o deseado, generalmente en las industrias existe una sección en su proceso que se enfoca al tratamiento, medición y monitoreo de nivel de algún líquido contenido en un tanque, por ejemplo en industrias de bebidas, de lácteos o farmacéuticas, que en ocasiones estos productos almacenados deben ser combinados de manera óptima, en la preparación de un derivado o insumo de otro proceso para que su producto este en óptimas condiciones para el consumo del cliente (Reyes, 2011).

En las empresas que trabajan con sistema de vapor por ejemplo, tienen la necesidad de mantener un depósito de agua conectado directamente a una caldera, para evitar contratiempos en este caso que se quede el depósito de almacenamiento vacío, se sobrecaliente la caldera y como consecuencia se pare la producción. Por esta razón se tiene la necesidad de automatizar el sistema de llenado del depósito de agua y llevar un control del nivel y flujo para que no represente una pérdida de tiempo y dinero para la empresa (Calderón, 2011).

Debido a la necesidad de los sectores industriales de ser más eficientes operacionalmente, las empresas han optado por adoptar métodos de control que les

permita tomar acciones eficaces sobre las oportunidades de mejora que se tienen en el proceso productivo.

El estudio físico de los líquidos lo que se conoce como hidrostática e hidrodinámica, comprende características como viscosidad, tensión superficial y presión que han sido de gran importancia para análisis físicos y procesos industriales, esto se aplican a procesos reales como por ejemplo la fabricación de bebidas energizantes, jugos o aceites. En estos procesos se necesita de la dosificación adecuada de cada componente para obtener un buen producto, por consiguiente se debe realizar un control programable y secuencial en dispositivos electromecánicos utilizados en estos tipos de procesos.

La existencia del usos de varios líquidos en productos de consumo, el traslado de líquidos por tuberías, la variación fluidos y el progreso de nuevas tecnologías en el campo de la automatización han provocado que el ser humano desarrolle sistemas que sean capaz de resolver diversos problemas de procesos con líquidos así por ejemplo el ahorro de tiempo y automatización de control de líquidos, en estos procesos se utilizan los dispositivos como electroválvulas para permitir paulatinamente el paso o no del fluido, el PLC (CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE), dispositivo que ofrece un mejor rendimiento en los sistemas de automatización, y ha tenido un gran impulso en las industrias, porque contiene todo lo necesario para operar y está diseñado para controlar procesos, almacenar datos y realizar cálculos matemáticos. Para el control de proceso de nivel del sistema planteado se utilizó el software TIA PORTAL V13 para la programación del PLC y así poder obtener los parámetros del controlador.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

Para el desarrollo de la propuesta tecnológica se diseñó un sistema con control PID, para el proceso de llenado de tanques, el escenario de experimentación tiene dos tanques: tanque uno o tanque principal que estará como objeto de observación en donde se tomarán las medidas de volumen del líquido para luego determinar el control de flujo del líquido y la variación de nivel. El Tanque dos utilizado para el reservorio de agua.

Estos tanques tienen una capacidad de 220 litros, conectados de tal manera que el fluido circulará del tanque de reservorio hacia el tanque principal, para el proceso de llenado se utiliza una bomba eléctrica trifásica conectada a un variador con esto se puede permitir el cambio de la velocidad de la marcha de la bomba y por tanto el tiempo de llenado o el aumento del volumen en el tanque, la experimentación se hará acorde a la necesidad de compensar la altura de nivel que sea requerido.

Para el estudio de la variación de flujo se aplica una diferencia de frecuencia en la bomba con esto aumentará o disminuirá la velocidad de marcha y al conseguir variar esta velocidad producirá cambios de flujo del líquido a través de la tubería, este cambio de frecuencia es registrado a través de un sensor y el PLC que ingresa y procesa el dato, empleando un código de control programable realizado en el Software especializado TIA Portal V13. Matlab/Simulink es el software utilizado para inferir sobre la función de transferencia de esta planta, además servirá para obtener los resultados de las gráficas de simulación del control aplicado en esta planta. En el proceso de llenado de líquido en el tanque, se realizan pruebas en donde se obtienen patrones de datos entradas y de salidas que se lo conoce como la adquisición de datos, proceso y ejecución de control.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

Diseñar un proceso de control PID para el monitoreo del flujo y nivel, en el llenado de un tanque mediante la autosintonización de parámetros utilizando el software TIA PORTAL V13.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudio de dispositivos y equipos aplicados en la automatización de procesos industriales para el control de fluido y nivel de líquido.
- Diseñar el algoritmo de programación de control en el software Tia Portal para el sistema.
- Obtener los parámetros del controlador PID para optimizar el proceso de control de nivel en el llenado de un tanque.

- Analizar los resultados del diseño de proceso de control de fluido y nivel de llenado de tanques.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS.

La propuesta pretende proponer un sistema de control de producción enfocado para el área de llenado de empresas donde en uno de sus procesos requiera la dosificación adecuada del líquido aumentando así su eficiencia operacional.

Con la aplicación de este método de control se optimizará el llenado de tanques lo que permitirá tener una precisión en el llenado y evitar desperdicios de líquidos, mediante la aplicación de software y equipos por medio de pruebas experimentales como la optimización inicial.

Considerando las líneas de investigación existentes se puede profundizar métodos de control, investigando tecnologías avanzadas y formar recursos humanos con los temas de proyectos para desarrollar materiales educativos y ampliar herramientas de interés para la comunidad estudiantil, analizar y potencializar los entornos de aprendizaje en el área técnica que beneficie el campo industrial.

1.5 JUSTIFICACIÓN.

El desarrollo de tecnologías que existe en la actualidad ha provocado cambios reduciendo estructuras y optimizando procesos, ampliando sistemas que automaticen el análisis de la información y que brinden instrumentos que provean la toma de decisiones.

La importancia de realizar este proyecto involucra una investigación y pruebas experimentales para controlar y monitorear el nivel y flujo, mediante un sistema que incorpora sensores, un variador de frecuencia, bombas, electroválvulas y un PLC que sirve para el control utilizado en el procesos de llenado de tanques, de modo que al contar con un sistema de control PID y obteniendo sus parámetros será de mucha utilidad para una empresa que en sus procesos desee supervisar su correcta dosificación del líquido, pero sobre todo que pueda controlar que no haya

desperdicio del mismo lo cual afecta en su producción optimizando tiempos de estabilización según el proceso de llenado.

Los sistemas de control constituyen la herramienta más empleada en las industrias a nivel de todo el mundo, para llevar información en tiempo real y así optimizar las respuestas del sistema, por esta razón la propuesta se plantea en torno a la necesidad de poder familiarizarse con el campo industrial y aprender sobre el manejo de equipos tecnológicos se proporcionara una herramienta de monitoreo y control de líquidos para conocer los parámetros de un controlador PID de manera que se evite la sintonización de los controladores de manera manual sino que se haga de forma autónoma, pero también ayudara a adquirir conocimientos para así conocer un proceso real mediante la implementación de instrumentos de medición y de la misma manera el funcionamiento de equipo de uso industrial.

El sistema de control implementado tiene elementos con tecnología SIEMENS una de la más usadas en automatización industrial hoy en día, de esta manera los estudiantes que utilicen la planta podrán familiarizarse y adquirir sólidos conocimientos en los equipos y software que encontrarán cuando vayan al campo laboral.

1.6 METODOLOGÍA.

La propuesta tecnológica consta de las siguientes fases para su desarrollo:

FASE 1

Se empleó fuentes de información como sustento del desarrollo de la investigación para la propuesta, de tal manera que se utiliza fuentes bibliográficas de autores que hacen referencia al análisis teórico de los sistemas de control en el proceso de llenado de tanques aplicando métodos de autosintonización de parámetros proporcional, integral y derivativo.

Como complemento para el desarrollo de la propuesta se aplicó los conocimientos adquiridos en el periodo estudiantil en las asignaturas de microcontroladores, electrónica y cursos de automatización y control, por este motivo se toma como universo a los conocimientos obtenidos en la etapa universitaria.

FASE 2

Se aplica el método experimental mediante técnicas de observación y análisis de datos, cuantitativamente se registran las señales de entrada y de salida estos datos son adquiridos por diferentes sensores y de acuerdo al dato procesado se analizan la información numérica para validar el diseño del proceso.

FASE 3

El alcance del estudio es de tipo descriptivo porque permite evaluar los proceso en etapas, describir todas la partes electrónica de control y programación utilizada en el sistema de automatización de llenado de tanques, conociendo así el funcionamiento de cada uno de los dispositivos empleados tomando en cuenta sus aplicaciones y ventajas en industrias e incluso en el hogar. Este diseño está basado en el estudio de controladores PID y para aplicar la lógica secuencial del sistema se utilizó mecanismos de análisis incluidos en los softwares de TIA Portal V 13 y Matlab.

1.6.1 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.

Para la realizar del procesamiento de la información sobre control de llenado de tanques se cumplió con los siguientes requisitos:

- Recolección de información mediante libros y tesis basadas en los controladores PID y sus métodos de sintonización.
- Lectura minuciosa de la información sobre llenado de tanques y control de nivel.
- Interpretar los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas.

Este proyecto se basa en aplicaciones prácticas que una vez establecidas las diferentes alternativas de estudio de automatización se deberá plantear el diseño correspondiente.

CAPÍTULO II

LA PROPUESTA

2.1 MARCO CONTEXTUAL

En la actualidad los sistemas de control se caracterizan por ser de gran ayuda para resolver problemas en las industrias, gracias a los avances de la tecnología se ha desarrollado diferentes tipos de controladores, por tal razón esta propuesta tecnológica puede ser un gran ayuda para la investigación y el conocimiento sobre los métodos para un mejor control de procesos tanto en la parte académica como también en lo profesional (Cendoya, 2012).

La implementación de la planta se realizará en el laboratorio de electrónica de la Universidad Estatal Península de Santa Elena en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones uno de los principales motivos para el desarrollo de este proyecto es dar a conocer sobre componentes lógicos y físicos usados en el control pero sobre todo aprender nuevos mecanismos adicionales para adecuarse a los requerimientos de los sistemas modernos de control y automatización en la parte industrial para controlar el nivel y flujo de líquidos lo cual puede ser de gran ventaja a la hora de formar parte en el ambiente laboral.

El control procesos y la diversidad de elementos como sensores, actuadores, dispositivos de comunicación, interfaces de adquisición de datos y variadores forman parte de un sistema de control, en este caso se estudiará el controlador PID que influencia tiene en el sistema y como es implementado con PLCs y otros dispositivos para proceso con líquidos.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

En esta parte de la propuesta se mencionan a continuación los conceptos básicos de sistemas de control PID, medición de líquidos, sensores, actuadores entre otros, mediante una explicación que aportan al desarrollo en la investigación.

2.2.1 Sistemas de control.

Todo proceso industrial debe tener un sistema de control el cual es un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado en este caso controlar el nivel y flujo en el llenado de un tanque operación que nos conduce a un resultado determinado (Cendoya, 2012).

2.2.2 Tipos de control.

A continuación se menciona dos sistemas de control el de lazo abierto y lazo cerrado.

2.2.2.1 Sistema de control de lazo abierto.

Este control involucra una predicción de la señal de control ya que es necesaria para ajustar la variable de salida y el valor deseado. En este caso la variable controlada no se realimenta como en el caso del sistema de lazo cerrado, es decir, su valor es desconocido, las perturbaciones y los cambios en la planta pueden generar grandes desviaciones del valor de salida esperado conocida como error (Enríquez, 2017)

2.2.2.2 Sistema de control de lazo cerrado

En este sistema se mide la variable controlada, y se la compara con un valor de referencia método que será usado para comparar valores de nivel y flujo con respecto a un set point. El controlador realiza acciones de acuerdo al resultado de la comparación. De esta manera se puede alcanzar el valor deseado de la señal de salida con gran exactitud disminuyendo en error. (Enríquez, 2017).

En un sistema de lazo cerrado intervienen los siguientes elementos cada uno de ellos con importantes al momento de realizar este tipo de sistema:

- Proceso: Operación que va a ser controlada.
- Planta: conjunto de elementos físicos que se desean controlar
- Sistema: conjunto de componentes que trabajan para cumplir con un objetivo
- Señal de salida: variable que se desea controlar.

- Valor de referencia: valor que se desea que alcance la variable que se desea controlar.
- Error: diferencia entre valor de referencia y señal de salida.
- Señal de control: señal que produce en controlador y permite disminuir el error.
- Perturbación: Señal que afecta a la variable controlada.
- Controlador: sistema que compara el valor de referencia y la salida deseada.
- Actuadores y sensores.

2.2.3 Control PID.

Un PID es un mecanismo de control basado en la realimentación que calcula el error entre un valor medido y el valor que se quiere lograr (*set point*), para utilizar una acción correctora que ajuste el proceso a la salida del sistema mediante el cálculo de los parámetros mencionados a continuación. El algoritmo de cálculo del control PID se da en 3 parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo (Trejos, 2011)

2.2.3.1 Componentes de un controlador PID.

El parámetro Integral (I) se refiere al tiempo que tarda para llevar a cabo una acción correctiva. Mientras el valor sea lo más mínimo, el ajuste es más rápido y como resultado puede que se provoque inestabilidad en el sistema, oscilaciones y vibración de la bomba (Antonio, 2015).

$$u(t) = ki \int_0^t e(t). dt + Uo \quad (1)$$

$$\frac{U(S)}{E(S)} = \frac{1}{Ti S} \quad (2)$$

Ti = tiempo d integración

El parámetro Derivativo (D) emite una acción predictiva, es decir, predice el error y automáticamente manifiesta con una acción eficaz. Responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud

del error se vuelva muy grande. La correcta programación de estos parámetros ayudará a controlar de manera eficaz nuestro nivel o flujo deseado (Antonio, 2015).

$$u(t) = kd \int_0^t e(t). dt \quad (3)$$

El valor Proporcional determina la reacción del error actual, este parámetro se encarga de reducir el tiempo de crecimiento y el error de estado estable. [4]

$$u(t) = kp * e(t) \quad (4)$$

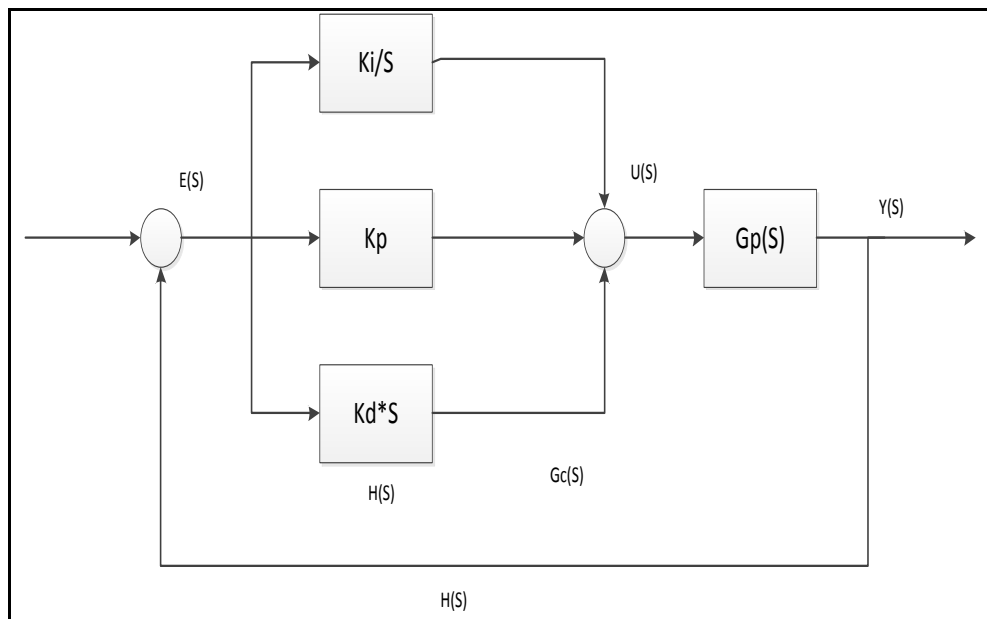


Figura 1: Diagramas de Bloque del Control PID.

2.2.4 Medición de nivel de líquidos.

La medición de nivel, su detección o su monitoreo, es parte fundamental en la industria, especialmente usado en el tratamiento de las aguas y en el almacenamiento de líquidos en tanques. La medición de otros parámetros como el caudal también forma parte en la medición de líquidos, la determinación del nivel permite evaluar la cantidad de líquido en un reservorio o recipiente industrial de dimensiones conocidas. Los medidores de nivel tienen sus escalas en unidades de longitud, de masa, de peso o de volumen, para medir nivel en un líquido se determina la distancia existente entre una línea de referencia que es el fondo del recipiente y la superficie del fluido (Borja, 2017).

2.2.4.1 Medición de Nivel

Medición de nivel por sensor ultrasónico.- El medidor de nivel ultrasónico se basa en emitir un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo impulso en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del estanque es decir depende del volumen contenido en el recipiente (Borja, 2017).

2.2.4.2 Medición de Flujo.

El flujo es una de las variables de proceso más frecuentemente medidas, por ello se han desarrollado muchos tipos de sensores de flujo. El flujo se refiere a la cantidad y frecuencia de movimiento de una sustancia, que puede ser sólida, líquida o gaseosa. (Salazar, 2009).

Caudal se lo define como la cantidad de fluido Q que desplaza en una unidad de tiempo.

Dónde

$$Q = \text{Caudal} \left(\frac{m^3}{seg} \right) \quad (5)$$

$$V = \text{velocidad} \left(\frac{m}{seg} \right) \quad (6)$$

$$\Delta t = \text{derivada del tiempo} \quad (7)$$

2.2.5 Sensor ultrasónico.

El funcionamiento de este tipo de sensor para medir la distancia es la emisión de un pulso al incidir sobre un objeto, en parte se refleja, en parte se transmite y en parte es absorbida. Si existe un movimiento coherente entre la fuente de emisión y el reflector, se produce un cambio de frecuencia de la radiación (efecto Doppler). (Diego, 2010).

2.2.6 Actuadores.

Un actuador es un equipo que sirve para regular la variable de control y ejecutar la acción de control, pueden ser de 3 tipos: Actuadores eléctricos como por ejemplo motor, relé y electroválvulas, actuadores neumáticos y actuadores hidráulicos (Díaz, 2003)

2.2.7 Válvulas

Una válvula es un elemento mecánico con el cual se puede iniciar, parar o regular el paso de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más conductos (Cadena, 2006)

2.2.8 Electroválvulas.

Las electroválvulas o válvulas solenoides son dispositivos diseñados para control de flujo ON/OFF de un fluido. Están diseñadas para utilizarse con aire agua, gas, aire entre otros. Pueden estar fabricadas en latón, acero inoxidable o PVC, esto depende del fluido en el que se vayan a utilizar de acuerdo a eso es el material de la válvula (Maltarollo, 2014).

2.2.9 Comunicación Profinet.

Profinet, es un tipo de comunicación que se refiere a la innovación de las redes de campo lo cual que incluye los dispositivos PLC'S y los diferentes sistemas de comunicación entre estos dispositivos conectados a la red Ethernet aportando un alto rendimiento en su seguridad y las respuestas requeridas en las instalaciones industriales (Antonio, 2015)

2.2.10 Comunicación MODBUS.

El protocolo MODBUS es un sistema abierto de red muy extenso en el campo de la automatización industrial que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos. Este protocolo tiene versiones principales como: MODBUS RTU para comunicación serial, y MODBUS/TCP, para comunicación Ethernet a través de un medio físico para su transmisión (JuankFero, 2013).

2.2.11 Comunicación RS 485

La comunicación RS 485 es un estándar multipunto, permitir eliminar ciertos ruidos que se originan el transporte de la información a través de un medio de comunicación especifica simplemente las características eléctricas del driver y del

receptor para ser utilizado en la línea de transmisión, pero no especifica ningún tipo de protocolo (Mayne, 2003).

2.2.12 Comunicación MODBUS - RS 485

Este es un tipo de protocolo de serie abierto, se basa en una arquitectura conocida como maestro /esclavo, este protocolo interconecta todos los equipos de campo como por ejemplo actuadores, controladores, sensores y es usada ampliamente en la automatización de diferentes procesos (Villegas, 2010).

2.2.13 HMI

Es una interfaz que ayuda a la interacción entre un humano y una máquina, las cuales pueden ir desde los paneles de control para plantas nucleares hasta botones de entrada en un celular. Una interfaz hombre máquina es la que permite que el usuario u operador del sistema de control o supervisión, interactúe con los procesos (Antonio, 2015)

2.2.14 Lenguaje Ladder

Este lenguaje también es conocido como lenguaje de escalera, este tiene un tipo de programación gráfica muy reconocida dentro de los PLC, puesto que está basado en los diseños eléctricos de control este tipo de programación es fácil y sencillo.

2.3 Marco teórico.

En las industrias se utilizan alrededor del 95% lazos de control PID, en su gran mayoría el control proporcional e Integral PI ya que para el usuario el uso de leyes de control de este mecanismo son muy simples (Ruíz, 2002)

Según Desborough y Miller (2002) en un estudio habla que existe sobre más de 11.000 controladores en refinerías, industrias químicas y papeleras, lo cual arrojó como resultado que el 97% de dichos controladores poseían estructura PID, reafirmando que este tipo de control es utilizado en la mayor parte en la industria (Cova, 2005).

En el año 1868, J. C. Maxwell se caracterizó por el desarrollo de los sistemas de control automático inventados el cual aplicó una teoría matemática relacionada con la teoría de control usando el modelo de ecuación diferencial de un regulador por lo tanto el campo de las matemáticas juega un papel significativo al momento de hacer los análisis correspondientes para tener en cuenta cómo funciona un proceso de nivel y flujo (Ramirez, 2012).

En el año (2016), el Instituto politécnico Nacional escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica Almanza Sánchez Yonathan Ángel Márquez López Oscar José nos hablan que hoy en día es inimaginable sin la existencia de la instrumentación de control puesto que se utiliza para la medición de los distintos parámetros que intervienen en algún proceso de fabricación industrial es fundamental para obtener vigilancia, control de calidad y mando sobre los productos, resulta necesario y básico el conocimiento sobre funcionamiento de los instrumentos de medición y de control, y su papel dentro del proceso, es básico para quienes desarrollan su actividad profesional dentro de este campo, como por ejemplo el jefe u operador del proceso, el proyectista, etc. (Almanza Sánchez, 2006).

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

COMPONENTES DE LA PROPUESTA (LÓGICOS Y FÍSICOS).

3.1 COMPONENTES FÍSICOS

A continuación se describe toda la parte física y tangible con sus respectivas características de cada uno de los elementos a utilizar en nuestro sistema de control entre ellos mencionamos los siguientes: PLC, pantalla HMI, Bomba trifásica, sensor ultrasónico, Arduino entre otros.

3.1.1 Controlador lógico programable

El PLC S7-1200 6ES7 212-1BE40-0XB0, CPU 1212C AC/DC/RLY, ONBOARD I/O mostrado en la figura 2 permite controlar varios dispositivos para las diferentes tareas de automatización. Incorpora un puerto ETHERNET para la comunicación PROFINET, este dispositivo nos servirá de control y nos permitirá realizar diferentes acciones para todo nuestro sistema como prender y apagar bombas, inicializar poner en pare el sistema también permite encontrar los parámetros del controlador PID. En la tabla 1 se muestran las características técnicas del PLC S7-1200 como los números de puertos que tiene el equipo, entradas analógicas, salidas entre otras características que son importantes al momento de poner en funcionamiento el PLC.



Figura 2: PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY, ONBOARD I/O.

Características técnicas del PLC S7-1200	
Fabricante	SIEMENS
Referencia	6ES7 212-1BE40-0XB0
Tipo	2120
Memoria	50 Kbyte
Número máximo de módulos	2
Puertos	1
Norma física	RJ45
Intensidad DE	ETH-PROFINET
Entradas	8
Tipo de entrada digital	DC24V
Intensidad ED	1 mA
Salidas digitales	6
Tipo de salida digital	Relé
Intensidad SD	2000 mA
Entradas analógicas	2
Tipo de entrada analógica	0-10V
Resolución de las entradas analógicas	10
Salidas analógica	0
Ancho	90 mm
Alto	100 mm
Profundidad	75 mm
Temperatura máxima	60
Temperatura mínima	-20
Peso	0,45kg
Tensión de alimentación	AC 110 -AC230 V
Intensidad de alimentación	80 mA

Tabla 1: Características técnicas del PLC S7 – 1200: Siemens

3.1.2 Pantalla HMI MODELO: DOP-B03E211

La pantalla táctil HMI de la figura 3 sirve como interfaz gráfica de control y comunicación a través de Ethernet con el PLC S7-1200 para realizar diferentes funciones como encender electroválvulas, generar una perturbación y monitorear los datos de proceso. En la tabla 2 se describe las características de la pantalla HMI modelo DOP – B03E211.

	Descripción	
Memoria	MCU	32- bit RISC micro controlador
	Flash ROM	Flash ROM 128 MB, SO: 30 MB/ Backup: 16MB/, Aplic. del usuario: 82 MB
	SDRAM	64 Mb
	Backut Memoria	16 Mb
	Memoria Integrada	128 MB
Ambiente	Humedad Ambiental	10% ~ 90% RH [0° ~ 40°C], 10% ~ 55% RH [41° ~ 50°C], Grado de contaminación 2
	Temperatura de Func. Mínima	0°C
	Temperatura de Func. Máxima	+50°C
	Índice de Protección	IP IP65
Descripción de pantalla	Modelo del Fabricante	DOP-B03E211
	Color del Display	Color
	Sistema Operativo	Delta en tiempo real del sistema operativo
	Retroiluminación	Sí
	Tipo de Display	TFT LCD (65536 colores)
	Longitud	129mm
	Profundidad	39mm
	Resolución del Display	480 x 272pixels
	Anchura	103mm
	Peso	Aprox. 264 g
	Dimensiones	129 x 103 x 39 mm
	Tamaño de la pantalla	95,04 x 53,856 mm
	Tamaño del Display	4,3 pulg.
Eléctrico	Tensión de Aliment.	24 Vdc
	Salida del efecto del Sonido Buzzer	Frecuencia de múltiples tonos (2K – 4K Hz) 85 dB
	Consumo de Energía	2,64 W
	Corriente de Consumo	300 mA
Interfaz	USB	1 USB host Ver 1.1 / 1 USB Client Ver 2.0
	Puerto de Comunicaciones	COM 1= RS – 232/ RS – 485
	Número de Puertos	2
	Tipo de Puerto	COM, Ethernet

Tabla 2: Especificaciones técnicas de la pantalla táctil DOP – B03E211: dspace.espoeh.edu.ec.



Figura 3: Pantalla Delta Modelo: DOP-B03E211.

3.1.3 Arduino Dueminalove

La placa de circuito Arduino de la figura 4 con micro controlador Atmega328 se la utiliza en el sistema como medio de conversión para el sensor de distancia y poder así obtener la señal analógica. Incorpora unas clemas o bornas de tornillo para unas conexiones eléctricas más robustas y fiables (raymirabel, 2015).



Figura 4: Placa de Arduino para conversión D/A: Arduclema

3.1.4 Variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencia de la figura 5 son sistemas utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna que sirve para variar su velocidad sin reducir su eficacia. El variador se utiliza como parte del control para la bomba trifásica y de esta manera controlar las variables utilizadas en el proceso sus características se presentan en la tabla 3. (Jhon, 2015)



Figura 5: Variador de frecuencia Delta 50-60 (Hz)

Características del Variador de frecuencia	
Modelo:	VFD007EL23A
Temperatura del aire:	-10 ~ +50°C (14 ~ 122°F) para UL & cUL -10 ~ +40°C (14 ~ 104°F) para el montaje lado
Voltaje máximo de salida	240V
Rango de Frecuencia	0, 1-600 Hz
Voltaje nominal	220 V
Corriente	8.7 A
Potencia de entrada	1 HP – 0.75 KW
Potencia de salida	3 HP
Corriente de salida	4.2 Amperios

Tabla 3: Características técnicas del variador de frecuencia: www.delta.com.tw.

3.1.5 Sensor ultrasónico HC-SR04.

El sensor ultrasónico HC-SR04 de la figura 6 es utilizado para medir el nivel del líquido en el tanque principal de la planta implementada consta de transmisor ultrasónico, receptor y circuitos de control, la distancia entre la unidad y el objeto se calcula mediante el tiempo de ida y vuelta de la prolongación de sonido y emitiendo como el ancho de un pulso. En la tabla 4 se muestran sus características técnicas (AccuDIY, 2011)

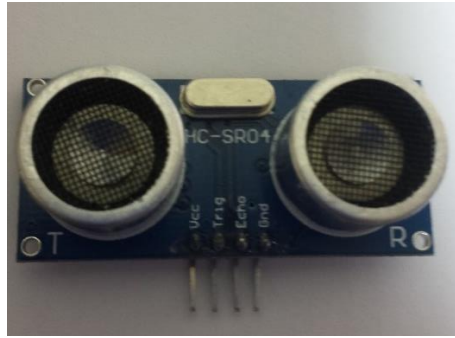


Figura 6: Sensor Ultrasónico.

Características del SENSOR ULTRASONICO	
Modelo	HC-SR04.
Rango de medición de distancia:	2 cm- 400 cm
Precisión:	0.3cm
Angulo detectado:	15 grados
Voltaje de Funcionamiento:	+ 5VCC
Consumo de corriente:	15mA
Dimensiones	45 x 20 x 15 mm
Señal de disparo de entrada	> Pulso TTL 10us
Frecuencia de operación	40KHz
Señal de salida	Pulso TTL con anchura que representa la distancia

Tabla 4: Características de sensor ultrasónico: Electronilab.

3.1.6 Bomba Centrífuga Thebe th-16 NR 1/2 HP 3F

En nuestro trabajo se utiliza una bomba centrífuga figura 7 para el control de llenado del tanque principal estará conectada hacia un variador de frecuencia, esta es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio, la estructura de la bomba consiste en un rodete que produce una carga de presión por la rotación del mismo dentro de una cubierta (QuimiNet, 2012)



Figura 7: Bomba Centrífuga Thebe utilizada para realizar el llenado del tanque

En la tabla 5 se presentan las características técnicas de la bomba trifásica.

Características de la Bomba Centrifuga THEBE TH-16NR 1/2HP 3F.	
Modelo	THEBE TH-16NR
Voltaje	220/380/440 V 3F
Velocidad Angular	3480 rpm
Rotor	Noryl
Corriente	1.80/1.04/0.9 Amperios
Frecuencia	60 Hz
Potencia	½ HP
Factor de servicio	1.60
Rendimiento	72 %
Color	Verde
Grado de protección	21
Factor de Potencia	0.75
Temperatura de Ambiente Maximo	40°C
Carcasa	Hierro Fundido
Presión Máxima	4.6 bar
Flujo Maximo	16,5 m ³ /h
Succión de agua tubería	1.1/2 "
Represión	1"

Tabla 5: Características de la Bomba centrifuga: site.thebe.com.

3.1.7 Bomba monofásica

Para realizar una perturbación en el sistema se utiliza una bomba monofásica mostrada en la figura 8 de marca PAOLO, la tabla 6 presenta sus características, esta bomba será usada para disminuir el líquido en el tanque principal y que a su vez permita activar el control PID.



Figura 8: Bomba Monofásica Paolo

Características de la bomba monofásica	
Modelo:	PBP-50
Voltaje	115- 230V
Presión	0-10 bar
Hmax	40 m
HP	0,5
Intensidad	2,5 A
Potencia máxima	550 W
Caudal	40l/min
IP	44
Frecuencia	60 Hz

Tabla 6: Datos técnicos de la Bomba centrífuga.

3.1.8 Válvulas de Bronce 110 V

Esta válvula mostrada en la figura 9 permitirá el paso o no del fluido de agua del tanque de reservorio hacia el tanque principal mediante dos estado uno abierto para el paso del líquido y el otro cerrado para obstruir el paso trabajando con una tensión de 110 V como se muestra en las características de la tabla 7.



Figura 9: Electroválvula de Bronce.

Características de la válvula solenoide de bronce	
Modelo:	2W41
Voltaje	110- 120 V
Presión	0-10 bar
Medida	1/2" NPT

Tabla 7: Características técnicas de la válvula solenoide.

3.1.9 Sensor de flujo de agua.

Este sensor de la figura 10 es utilizado para determinar la cantidad de líquido que pasa a través de un conducto lo que se denomina flujo consta de un molino y un sensor magnético de efecto Hall, las características técnicas del sensor son mencionadas en la tabla 8.



Figura 10: Sensor de flujo YF-S201

Características Sensor de flujo YF-S201	
Modelo:	YF-S201
Salida del Ciclo de Trabajo:	50% +-10%
Rosca:	1/2"
Tamaño:	2.5" x 1.4" x 1.4"
Largo del Cable:	15cm
Durabilidad:	Mínimo 300,000 ciclos
Máxima Corriente de operación:	15mA a 5V
Velocidad de Flujo:	1 a 30 Litros/Minuto
Rango de Temperatura:	-25 a +80°C
Rango de Humedad:	35%-80% RH
Pulsos por Litro:	450
Precisión:	±10%
Tipo de Sensor:	Efecto Hall
Voltaje Nominal:	5 a 18V DC (Voltaje Mínimo Requerido 4.5V)
Voltaje de Salida:	5V TTL
Conectores nominales:	tubería de 1/2"
Máxima Presión de Agua:	2.0 MPa.
Diámetro externo de:	0.78"

Tabla 8: Características Sensor de flujo YF-S201: chips.mecatronicum.com

3.1.10 Módulo de comunicación.

El módulo CM 1241 6ES7241-1CH32-0XB0, RS422/485 de la figura 11, (HEMBRA) permitirá la comunicación entre el variador y el PLC a través del estándar RS 485 por un medio físico cuyos terminales son un conector DB9 hacia el modulo y un conector RJ45 hacia el variador de frecuencia.

El módulo de comunicación tiene sus siguientes especificaciones técnicas nombradas en la tabla 9.



Figura 11. Módulo de Comunicación CM 1241

Características Técnicas	
Descripción del producto	CM 1241 RS422/485
Tensión de alimentación	24VDC
Intensidad de entrada	220 mA
Interfaz	RS 422/485
Longitud del cable punto a punto	1000 m
Grado de protección y clase de protección	Grado de protección según EN 60529 - IP20
Temperatura mínima	-20 -40°C
Temperatura máxima	50 70°C
Ancho	30 mm
Alto	100 mm
Profundidad	75 mm
Peso	aprox. 155 g

Tabla 9. Datos técnicos del Módulo de comunicación: mall.industry.siemens.com

3.1.11 Válvulas de bola

Las válvulas de bola mostrada en la figura 12 y 13 con cada una de sus características técnicas nombradas en tabla 10 y 11 son utilizadas en la planta para control de nivel y flujo tienen una buena capacidad de cierre porque es sencillo para abrir y cerrar la válvula girando una manivela a 90°, estas pueden ser de paso completo, lo que significa que la válvula estará abierta al mismo tamaño que el interior de las tuberías. (Oscar Fernando Gil Trejos, 2011).



Figura 12: Válvula de Bola para permitir el paso del fluido en el proceso.

Características de la Válvula de Bola	
Modelo:	NIBCO® CPVC-CTS
Tipo:	Bola
Medio.	Para Agua
Presión:	10.3 bar (149.39 psi)
Accionamiento:	Manual
Configuración:	De Plástico
Función:	De Distribución
Temperatura:	Min: 73 ° F (22,78 ° C) - Máx.: 140 °F (60 °C)

Tabla 10: Características técnicas de la válvula de bola: www.construnario.com



Figura 13: Válvula de Bola para el proceso de control

Características de la Válvula de Bola	
Modelo:	M-H PN25
Tipo:	Bola
Medio.	Para Agua
Presión:	Baja
Accionamiento:	Manual
Configuración:	De latón, Acero
Función:	De Distribución
Temperatura:	Máx. 180°C

Tabla 11: Datos técnicos de la válvula de bola: www.directindustry.es

3.2 COMPONENTES LÓGICOS.

Se describe a continuación todo el conjunto de programas que se utiliza en el desarrollo de la propuesta tecnológica.

3.2.1 Software Tia Portal

TIA Portal mostrado en la figura 14 es un sistema utilizado en ingeniería que permite configurar de forma eficiente y sencilla todos los procesos de control de la planta, ofrece un entorno de ingeniería unificado para todas las tareas de control, visualización y accionamiento de los diferentes elementos como por ejemplo luz pilotos, pulsadores, bombas entre otros. En este software se realiza la programación de todo nuestro proceso para comunicación con el hardware. (Siemens, 2013)

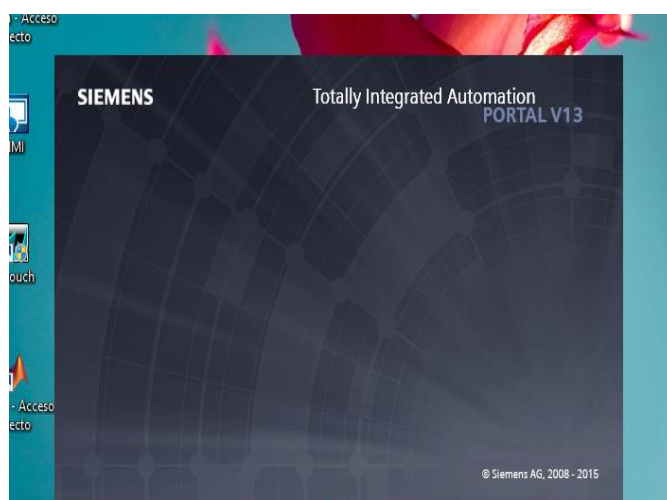


Figura 14: Software Tia Portal V13: SIEMENS (2015) TIA PORTAL: TIA PORTAL V13

3.2.2 Software Matlab/Simulink.

MATLAB de la figura 15 es un software que permite realizar cálculos numéricos, se lo utiliza para el diseño y modelo del sistema para encontrar la función de transferencia de la planta, adicionalmente tiene una aplicación conocida como SIMULINK que sirve para construir y simular modelos de sistemas físicos y sistemas de control mediante diagramas de bloques. (Moreira, 2012).

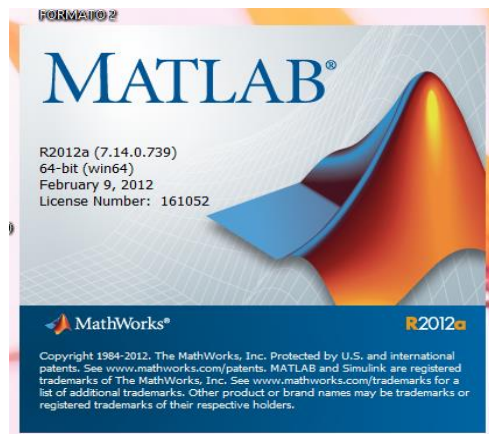


Figura 15: Software Matlab/Simulink: MATLAB®

3.2.3 Software DOPSoft

DOPSoft es un software que nos permite monitorear y manipular ciertos elementos del sistema también sirve de interfaz gráfica, en éste programa podemos armar las distintas páginas que va a tener nuestro proyecto y configurar las redes de comunicación que utilizaremos, brinda la posibilidad de hacer de puente para comunicarnos con un PLC. (MICRO, 2014)

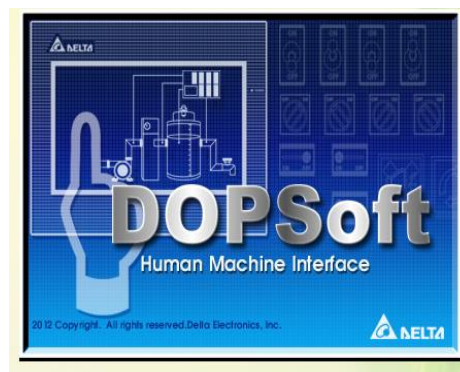


Figura 16: Software DOPSoft para programación de la pantalla HMI: ©DOPSoft

3.2.4 CADE SIMU V3.0

Es un programa, de diseño electrotécnico mostrado en la figura 17 que permite colocar distintos símbolos eléctricos y electrónicos de manera fácil, con él se realizó el diseño eléctrico de nuestra planta de control de nivel y flujo que sirvió para realizar las respectivas conexiones en el tablero de control. Permite también elaborar y diseñar esquemas y diagramas eléctricos y sirve como un simulador de electricidad industrial, ideal para las instalaciones. (CADE Simu, 2017)



Figura 17: Software para realizar el diseño de circuito eléctrico: ©Juan Villanueva.

3.3 DISEÑO DE LA PROPUESTA.

3.3.1 Implementación de la planta para el llenado de tanques.

La ejecución de esta propuesta tiene dos partes principales la parte del control con su sistema eléctrico y la parte mecánica que fueron diseñadas de acuerdo a los requerimientos necesarios para realizar pruebas y cumplir con los objetivos deseados.

3.3.1.1 Desarrollo de la Estructura mecánica.

La estructura del sistema del llenado de agua consta de lo siguiente:

- 1.- Se plantea una plataforma metálica donde se ubican los componentes y conexiones que incluyen un gabinete con un espacio para panel eléctrico y electrónico, tomando en cuenta las dimensiones de cada dispositivo como también los elementos de tubería y tanque que serán instalados en esta plataforma esto muestra en la figura 18.

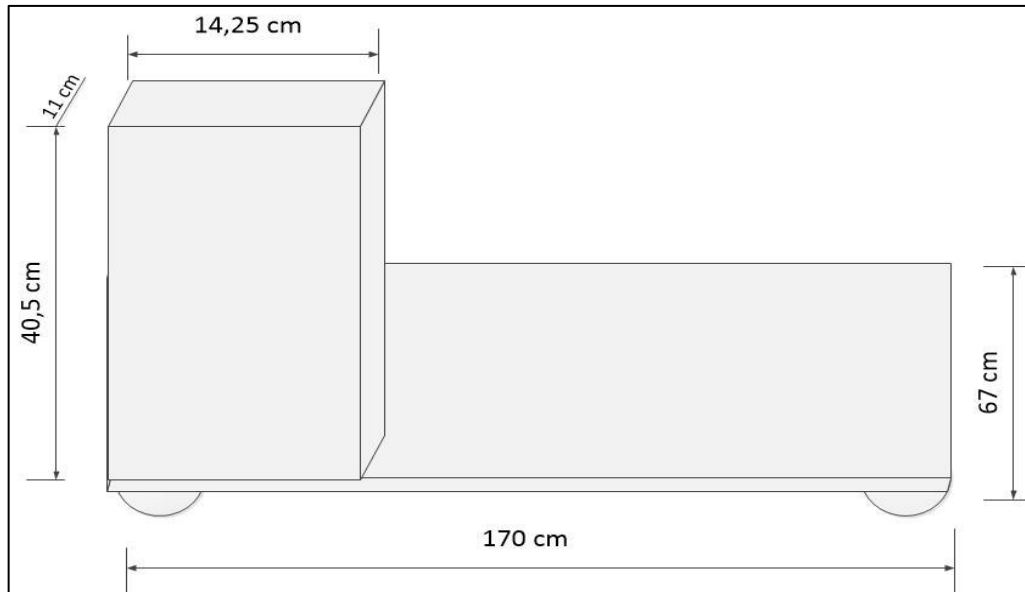


Figura 18: Estructura mecánica del sistema.

2.- Se procede a cortar la plancha metálica y soldar de acuerdo a las dimensiones ya establecidas y se coloca en la base 4 ruedas giratorias para facilitar el traslado de la planta.

3.3.2 Sistema de dosificación para llenado de agua.

La distribución del líquido se establece mediante siguientes pasos:

1.- Se escoge el sensor encargado para la medición del líquido (agua) el cual será colocado en el tanque principal.

2.- El volumen del reservorio y del tanque principal se determina por las medidas del fabricante de los tanques los cuales miden 111cm de alto x 55 cm de diámetro que contienen un volumen de 220 litros equivalentes a 58 galones.

Para el llenado se escoge una muestra para poder comenzar con la dosificación del agua.

3.- Se establece el sitio y longitud como se muestra en la figura 19 de donde serán ubicados los tanques en la plataforma y como también la ubicación de las bombas, Monofásica y trifásica la cual serán instalada en la parte central de la estructura metálica y en su costado se encuentran colocados los tanques de reserva y el tanque principal.



Figura 19: Adecuación de los elementos a utilizar en la planta

5.-Realizar la instalación de tuberías con todos sus accesorios necesarios tales como codos de 90°, adaptadores, tapón macho roca y embones, unión universal, adaptadores, tapón hembra, teflón, tuberías , electroválvulas, válvulas y las bombas.

3.3.3 Instalación de sistema eléctrico y de control.

La instalación del sistema eléctrico y de control mediante el diseño eléctrico de la figura 39 está planteado en los siguientes pasos:

- 1.- Para la planta de llenado se utilizan dos sensores, el sensor de caudal o flujo que determina la cantidad fluido que pasara por las tuberías y el sensor ultrasónico que recoge la señal a través de pulsos y sirve para medir la longitud ambos pasan por un conversor digital analógico antes de ingresar a la entrada analógica del PLC ver (Anexo 2,3).
- 2.- Sensor ultrasónico está ubicado en el parte interna del tanque principal a 73 cm de altura con respecto a la base del tanque.
- 3.- Sensor de flujo ubicado entre la bomba trifásica seguida de la electroválvula en la conexión de la tubería y la válvula de bola.
- 4.- La ubicación de las bombas están instaladas en bases de la estructura metálica fijados en la plataforma y que no son movibles, se escogió los elementos necesarios

para el control de acuerdo a lo requería el sistema entre ellos tenemos los siguientes dispositivos electrónicos.

- Controlador lógico Programable: 6ES7 212-1BE40-0XB0 SIEMENS S7 1200, CPU 1212C, COMPACT CPU, AC/DC/RLY, ONBOARD I/O.
- Pantalla HMI: MODELO: DOP-B03E211 y Variador de frecuencia Delta

3.3.4 Diseño y Fabricación del gabinete de control.

El tablero de control de la figura 20 está construido de acuerdo a las medidas y espacio de ubicación de los dispositivos electrónicos, regletas, rieles, borneras luces pilotos, pulsadores, disyuntores, porta fusibles, variador de frecuencia y conversores digitales analógicos, PLC y HMI.

El circuito de alimentación del tablero de control consta de lo siguiente:

Disyuntor Bifásico Principal.- tiene como función alimentar todo el tablero es decir el sistema este elemento se desconecta automáticamente cuando la intensidad supera los 16 A, este abre sus contactos de forma automática, también alimenta el variador de frecuencia y el transformador para las placas de conversión digital analógica, si ocurre un problema con el PLC, este se desconectara evitando que se accione la bomba trifásica.

Portafusiles de 32 A.- Protege a los dispositivos que realizan el control, como el PLC el cual incluye los pulsadores de marcha, paro en conjunto con luces pilotos que inicializan el sistema y la pantalla HMI.

Placas electrónicas de conversión digital/analógica.- están alimentadas mediante un transformador e internamente cuenta con una fuente de poder de 5V para ser distribuido hacia la alimentación de los sensores ver (Anexo 4, 5,6).

En el gabinete también se emplean elementos como borneras, rieles, finales de borneras, cable número 12 y 14, canaletas entre otros ver (Anexo 7).

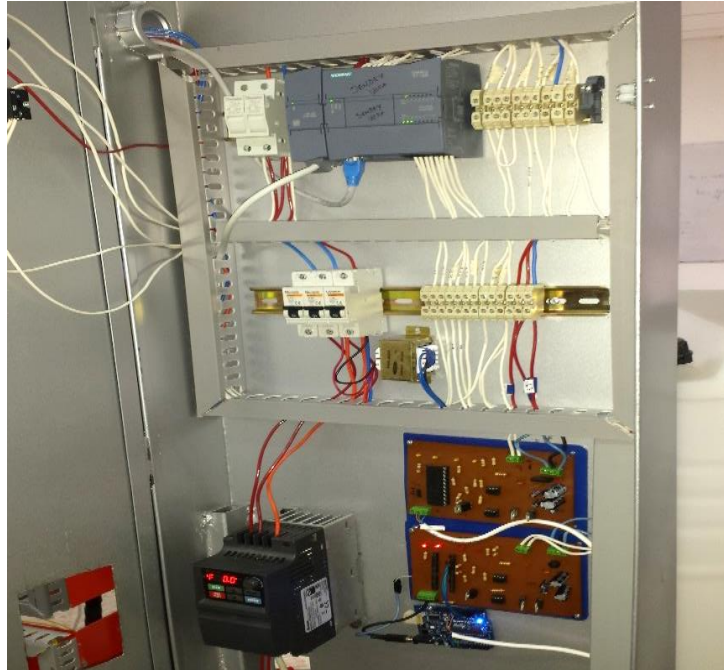


Figura 20: Instalación del sistema eléctrico y de control.

3.3.5 Programación y funcionamiento del sistema

El sistema lógico es parte importante para la secuencia de los eventos y de la activación de elementos colocados en el sistema de manera que cumplen con el funcionamiento de lo que se requiere en el proceso.

3.3.5.1 Funcionamiento del sistema.

En el panel frontal del gabinete de control el operador inicializa el sistema el cual permitirá accionar bombas electroválvulas y ejecutar el control PID. Para nuestro análisis del sistema de control de nivel se utiliza un sensor ultrasónico que mide el nivel de llenado en un tanque y lo transforma en una señal de tensión de 0-10 V. 0 V corresponden a un nivel de llenado de 0 galones y 10 V a un nivel de llenado de 42 galones. Este sensor está conectado en la segunda entrada analógica de SIMATIC S7-1200 la cual permite medir la distancia a la que el líquido, por lo que se necesita de calibración de programación para obtener las medidas adecuadas. En la propuesta se realizará un control “PID” para la dosificación de llenado de tanque, esto se lo realizara en un solo tanque, con el programa TIA PORTAL se podrá obtener los parámetros para este tipo de control que son K_p , K_i , K_d .

3.3.5.2 Programación de la planta de llenado.

En esta parte se utiliza la comunicación PROFINET (Ethernet) y MODBUS para los equipos de control:

- El controlador lógico programable s7 1200 con CPU 1212C AC/DC/RLY tiene integrado un puerto de comunicación PROFINET al igual que la pantalla HMI
- La computadora portátil que será utilizada tiene integrada un puerto de comunicación Ethernet y un módulo de comunicación MODBUS para el control del variador de frecuencia.

Para la programación y comunicación del sistema de llenado serán utilizados el software como TIA PORTAL V13, DOPSoft y Matlab/Simulink.

3.3.5.3 Creación y programación del PLC S7 1200 en el software Tia Portal.

La programación del PLC, se la hace en el software Tia Portal V13 mostrado en la figura 21, primero se crea un proyecto luego se debe configurar el hardware con su respectiva conexión en red de los dispositivos, utilizar las funciones Online y diagnóstico y creación de bloque de datos y de función. En esta sección se permite asignar el nombre del proyecto, descripción del programa, la ubicación donde se desea guardar el proyecto y el nombre del autor.

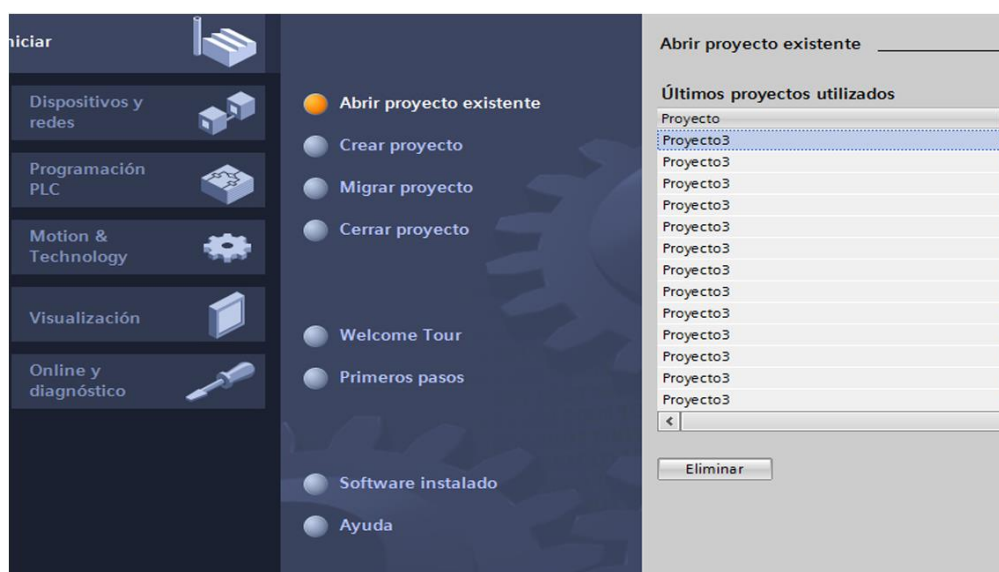


Figura 21: Software Tia Portal, ventana de creación de proyectos: ©Siemens AG.

Una vez escogido el hardware correcto se procede asignar la dirección IP con los valores de la tabla 12, se debe tomar en cuenta que la máscara y la dirección de la red deben ser iguales para todo los equipos a utilizar, si se utilizara una diferente asignación habrá problemas en la transmisión y recepción de datos.

Equipo	Mascara	Dirección IP
PLC S7 – 1200	255.255.255.0	192.168.0.15
HMI	255.255.255.0	192.168.0.53
PC PORTATIL	255.255.255.0	192.168.0.114

Tabla 12: Asignación de variables para comunicación entre equipos

En la figura 22 se presenta las variables para la inicialización del sistema de control PID, el cual consta de un encendido con la variable %I0.0 y de un pulsador de pare %I0.1 para detener el proceso.

En esta parte también está la programación para el encendido de las electroválvulas y la bomba trifásica controlada por el variador mediante comunicación Modbus. Las variables utilizadas en el programa se pueden visualizar en el (Anexo 1).

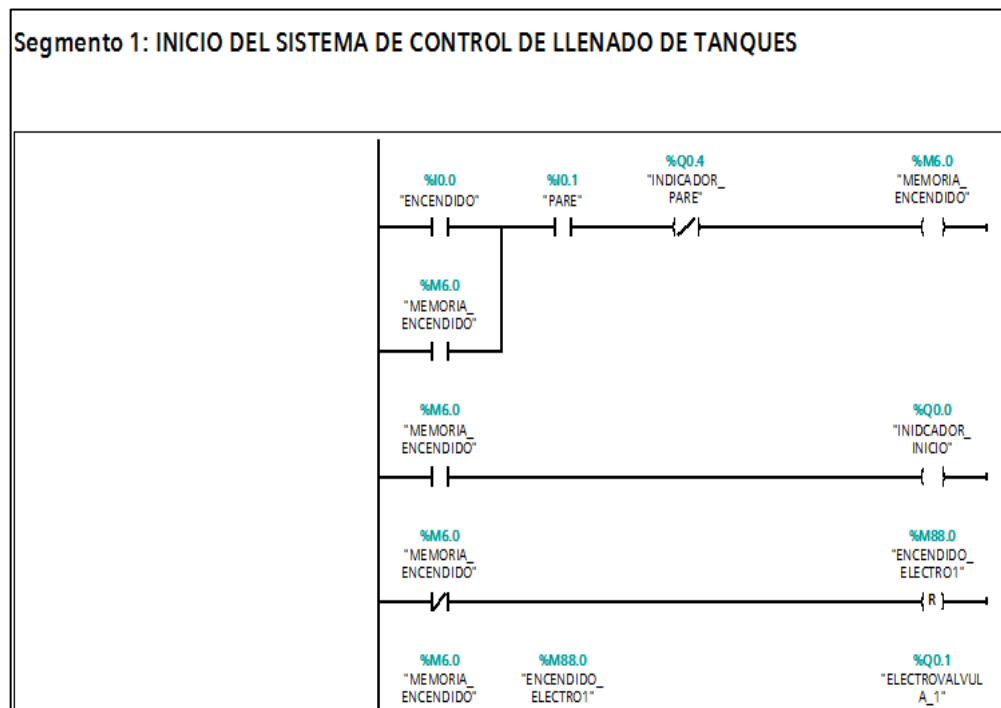


Figura 22. Variables para inicialización del proceso de llenado de tanques.

Segmento 2: PRETURBACION DEL SISTEMA: ENCENDIDO DE LA BOMBA MONOFASICA

Comentario

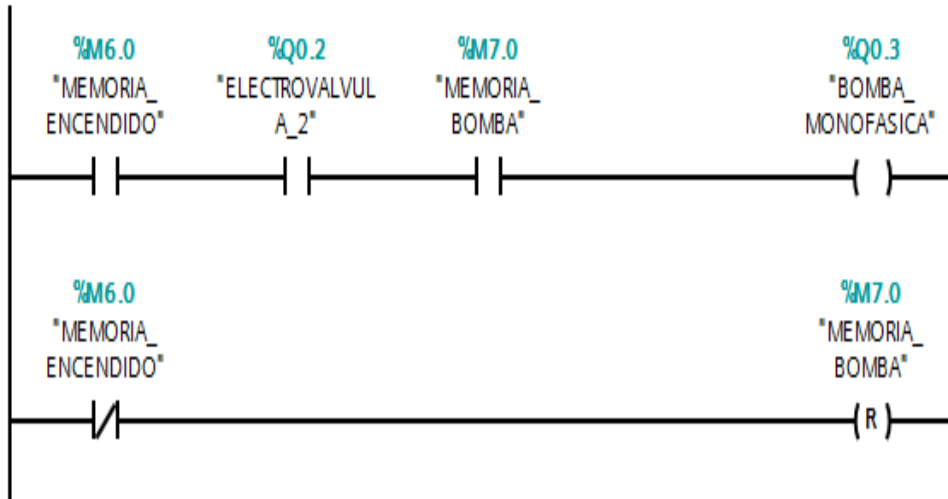


Figura 23: Sistema de encendido de la bomba monofásica.

La figura 23 representa la lógica de encendido de la bomba monofásica para extraer el agua del tanque principal y llevarla al tanque de reservorio, además también sirve como perturbación en el proceso del control PID.

Segmento 3: ENTRADA ANALOGICA DEL CAUDAL

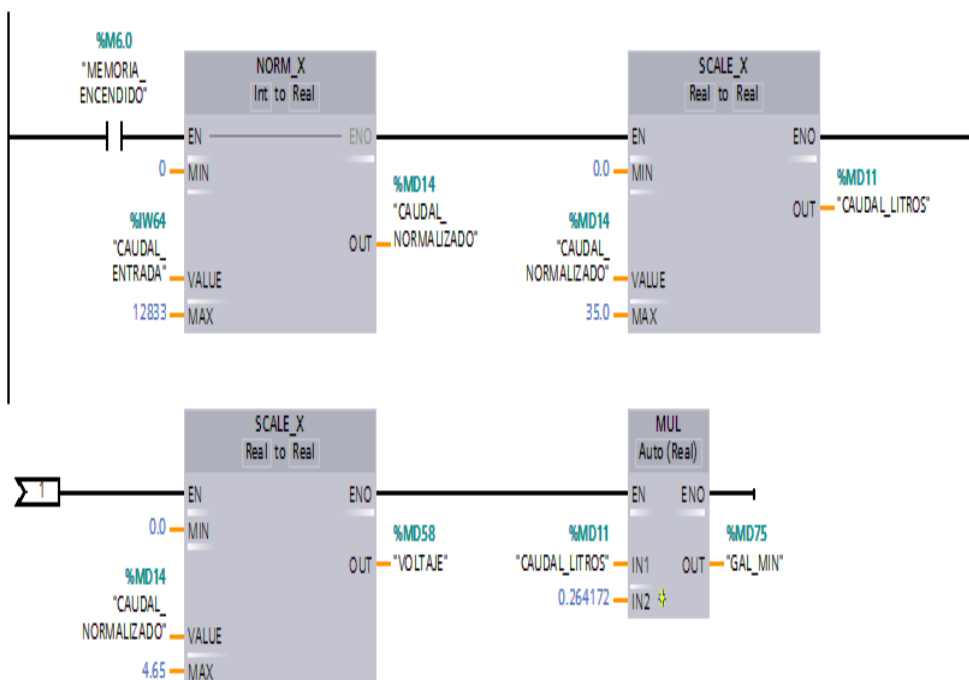


Figura 24: Entrada de la señal analógica del sensor de flujo.

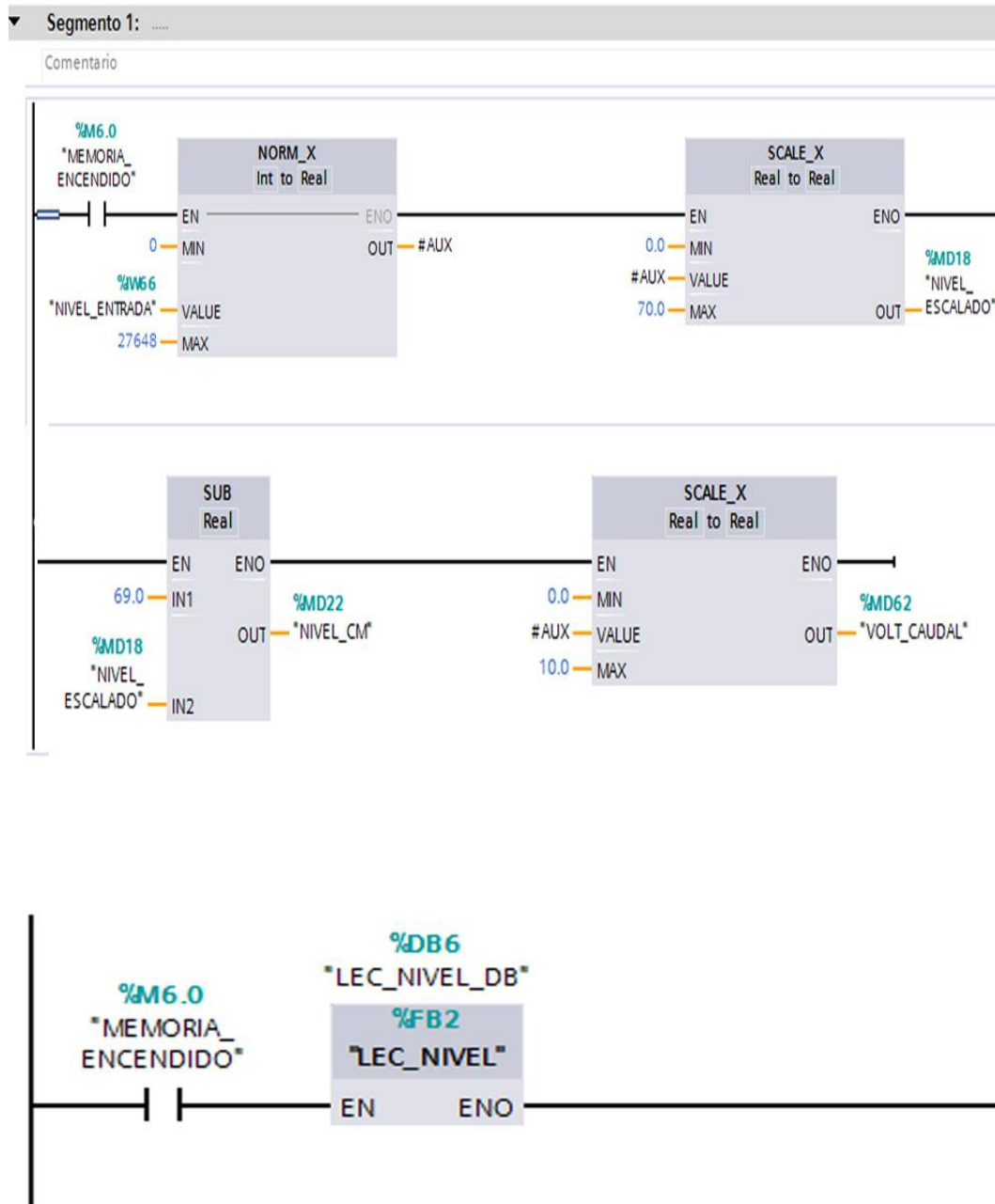


Figura 25: Entrada de la señal analógica del sensor de nivel.

La figura 24 y 25 muestra la programación para las entradas analógicas del PLC para el sensor ultrasónico para medir el nivel y del sensor de flujo adicionalmente el bloque de datos donde estará almacenado el valor de la longitud.

En la sección que presenta la figura 26 se describe todas las operaciones realizadas en la programación del PLC sobre el proceso desde el inicio hasta el final mostradas en el diagrama de flujo.

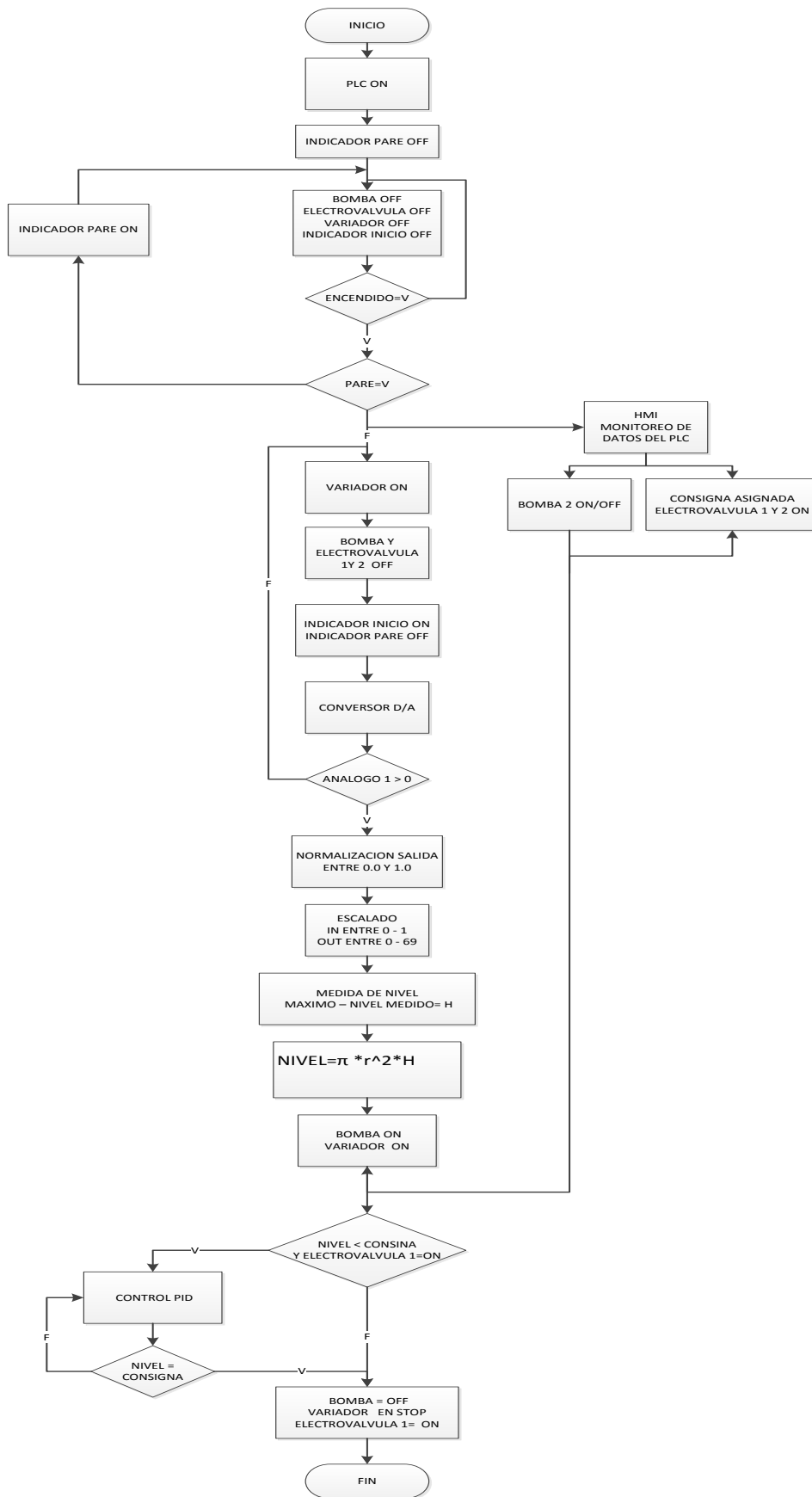


Figura 26: Diagrama de flujo para la programación del PLC

3.3.6 Identificación de la planta para proceso de control y flujo.

Existen diferentes técnicas de identificación de sistemas debido a la gran cantidad de sistemas dinámicos que encontramos en nuestro medio, estas técnicas se utilizan de acuerdo a la aplicación requerida, porque se hace uso de la experimentación y recolección de datos, como una alternativa para obtener la ecuación de la función de transferencia de una planta.

Para la ejecución y simulación de esta propuesta se elige el método de la identificación de la planta o también se lo conoce como método de la caja negra. Para realizar la identificación se utiliza el software Matlab con la función IDENT este proceso consiste en realizar un estudio de un mecanismo a partir de su forma de comportamiento de salida para una entrada determinada, sin incluir el funcionamiento interno de los elementos.

La experimentación va a consistir en la en el cambio de la señal frecuencia aplicada en el variador de la planta registrada como señal de entrada, en el sistema de lazo abierto y se registran las salidas como las medidas del sensor de flujo y de nivel mostrada en la figura 27 del diagrama de bloques.



Figura 27. Diagrama de bloques de principio del método de la caja negra.

3.3.6.1 Obtención de la función de transferencia para el proceso de control de flujo.

Los datos obtenidos de la experimentación se cargan al programa Matlab una vez creada la variable de flujo para la señal de salida y frecuencia como señal de entrada como se muestra en la figura 28.

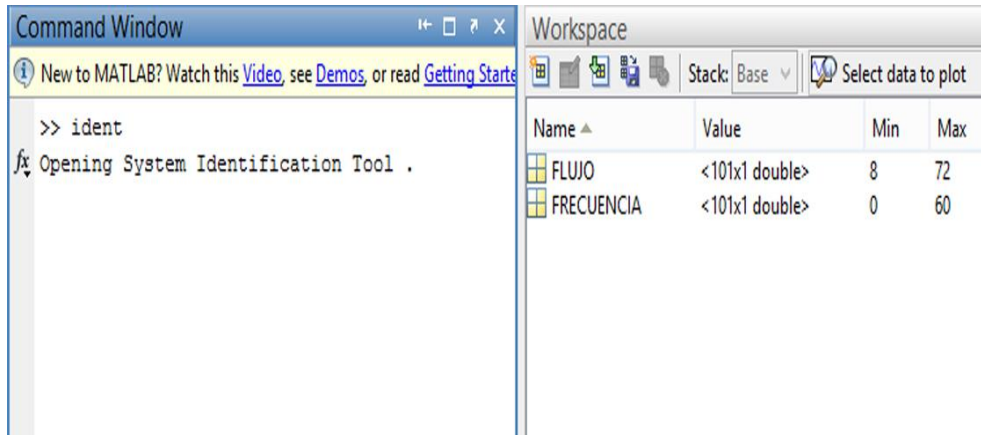


Figura 28: Ingreso de datos de entrada y salida para la identificación de señales

Se escribe la palabra `ident` y aparecerá una ventana donde se van a cargar los datos de entrada y salida se selecciona donde dice `import data` y se escoge la opción `time domain data` se colocan los datos necesarios y se importan como se presenta en la figura 29.

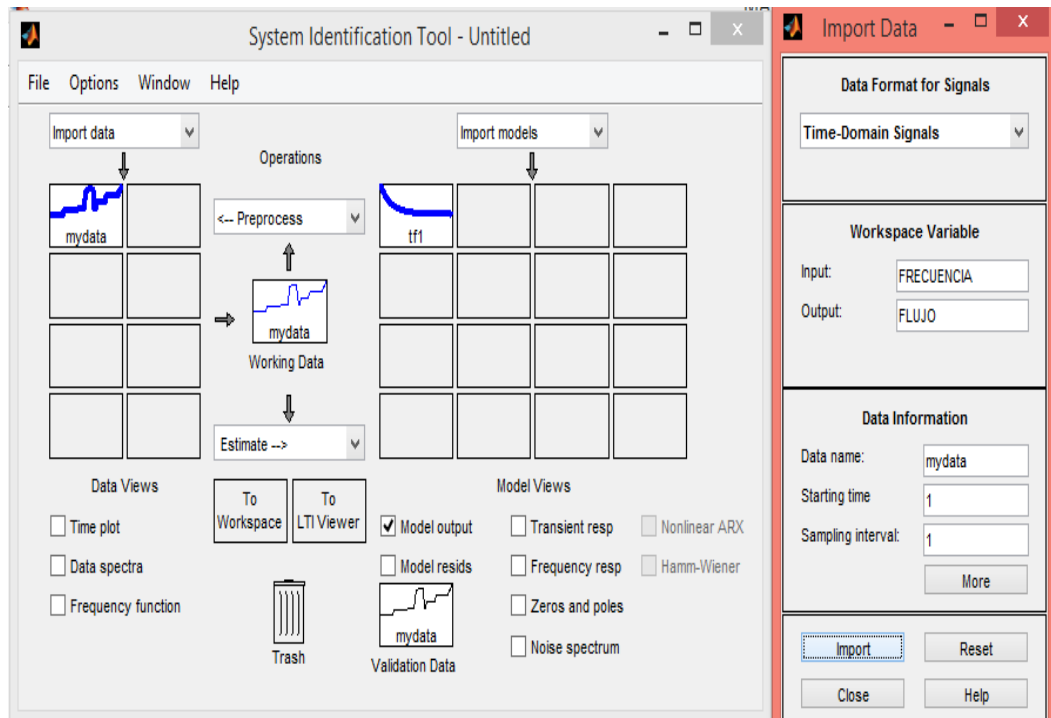


Figura 29: Función `ident` para obtener la función de transferencia

Luego se escoge la opción `Transfer Function Model` como se muestra en la figura 30 y una vez generada la señal se procede a observar la validación de la función en la opción `model output` mientras mayor sea el porcentaje mejor es la experimentación realizada de acuerdo a los datos.

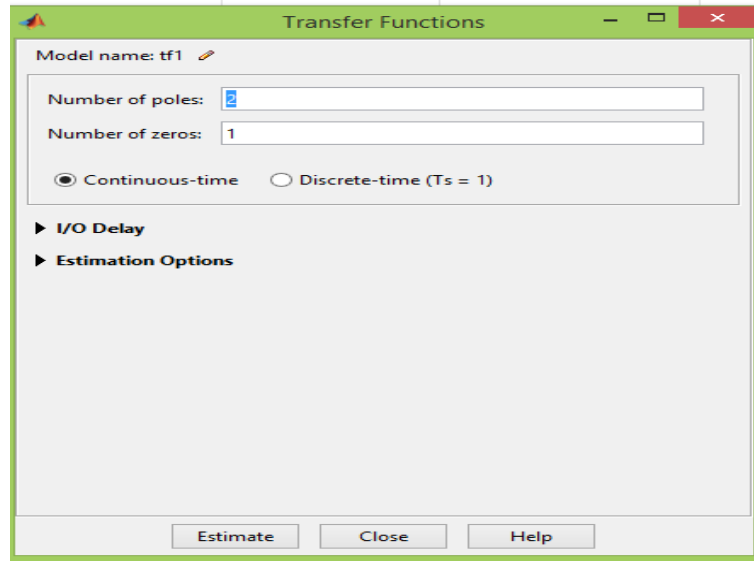


Figura 30: Generación de la función de transferencia para el control de flujo.

En este proceso de nivel se obtuvo la función de transferencia que se muestra en la figura 31 donde el modelo tiene como validación un 71.43%.

```

From input "u1" to output "y1":
  1.015 s - 0.001165
-----
s^2 + 1.828 s + 6.062e-11
Name: tf1
Parameterization:
  Number of poles: 2   Number of zeros: 1
  Number of free coefficients: 4
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 71.43% (simulation focus)
FPE: 61.01, MSE: 11.1

```

Figura 31: Función de transferencia para el flujo.

3.3.6.2 Obtención de la función de transferencia para el proceso de control de nivel.

En esta sección se sigue los pasos del proceso anterior es decir se cargan los datos de experimentación de señal de entrada que es la frecuencia y la señal salida que es el nivel obtenido a través del sensor luego se llama a la función de identificación en Matlab para obtener el modelo de la planta como se detallan en las figuras 32 y 33.

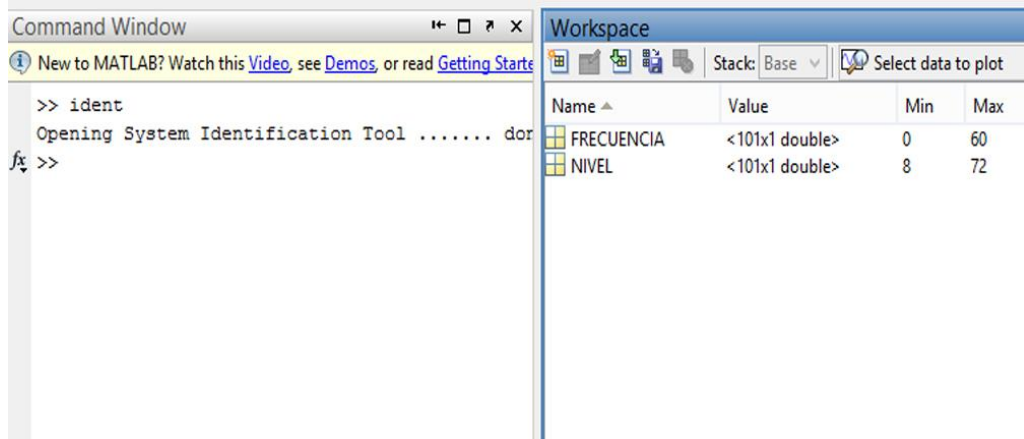


Figura 32: Ingreso de datos de entrada y salida para la identificación de señales

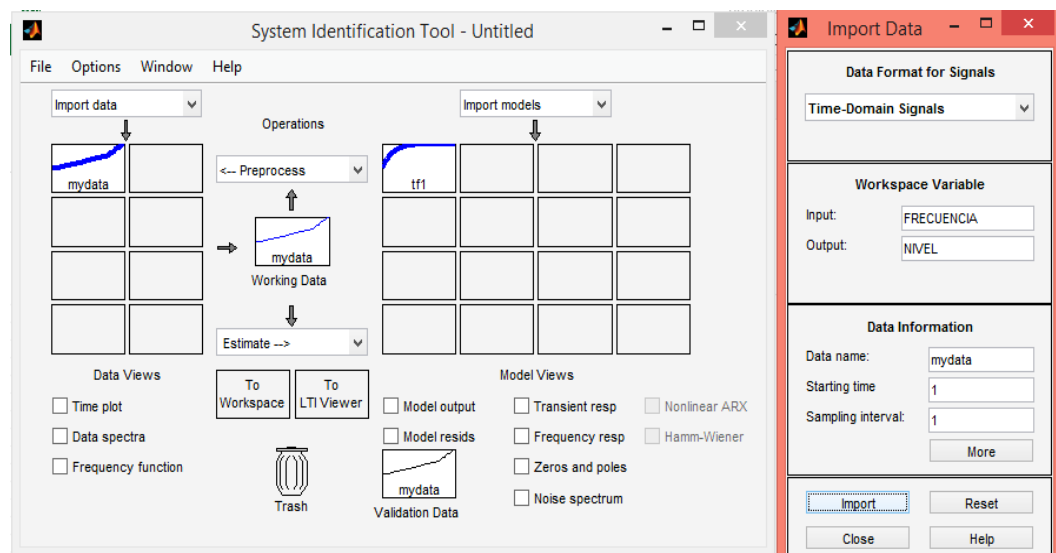


Figura 33: Función IDENT para obtener la función de transferencia

```
From input "u1" to output "y1":
  6.008e-05 s + 4.031e-05
-----
s^2 + 0.01715 s + 8.682e-15
Name: tf1
Parameterization:
  Number of poles: 2   Number of zeros: 1
  Number of free coefficients: 4
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 68.75% (simulation focus)
FPE: 49.79, MSE: 37.82
```

Figura 34. Obtención de la función de transferencia de nivel.

En la figura 34 se muestra el modelo de planta tiene una validación de 69% en la obtención de la función de transferencia.

Función de transferencia de segundo orden para el proceso de control de nivel a lazo abierto.

Numero de polos 2, Numero de zeros 1

$$\frac{6.008e^{-05} s - 4.031e^{-05}}{s^2 + 0.01715s + 8.682e^{-15}} \quad (8)$$

Función de transferencia de segundo orden para el proceso de control de flujo a lazo abierto.

Numero de polos 2, Numero de zeros 1

$$\frac{1.015 s - 0.001165}{s^2 + 1.828s + 6.062e^{-11}} \quad (9)$$

Obtención de la función de transferencia a lazo cerrado para el proceso de nivel y flujo.

En el software Matlab se utiliza la función feedback para obtener la función de transferencia a lazo cerrado con una retroalimentación unitaria una vez obtenida la función de transferencia a lazo abierto.

$$Retr = feedback(Gc, 1). \quad (10)$$

Donde se obtiene la siguiente función de transferencia a lazo cerrado para el proceso de control de flujo:

$$\frac{1.015 s + 0.001165}{s^2 + 2.843s + 0.001165} \quad (11)$$

Luego se aplica la función Step (Retr) a la función de lazo cerrado para obtener las características de respuesta temporal de una función de transferencia dada ante una entrada escalón o impulso unitario como se muestra en la figura 62. De la misma

manera se procede a realizar el cálculo de la función de transferencia a lazo cerrado para el proceso de control de nivel y finalmente aplicarle una respuesta temporal de una función de transferencia dada ante una entrada escalón o impulso unitario Step (Retr1) como se muestra en la figura 60:

$$Retr1 = feedback(Gc1, 1) \quad (12)$$

$$\frac{6.008e^{-05} s - 4.031e^{-05}}{s^2 + 0.01721s + 4.031e^{-05}} \quad (13)$$

3.3.7 Programación de la pantalla HMI MODELO: DOP-B03E211

Para establecer la comunicación entre la pantalla HMI y el PLC S7-1200 se utiliza la comunicación PROFINET mediante Ethernet se le asigna en el software DOPSoft una dirección IP en este caso 192.168.0.53 y se escoge el tipo de pantalla a utilizar dentro de la red establecida para el funcionamiento de sistema en este caso la B03E211 con resolución de 480*272 como se presenta en la figura 35. Los elementos se asignan de acuerdo al control ya sea de nivel o de flujo en los que se insertaran botoneras de programación.

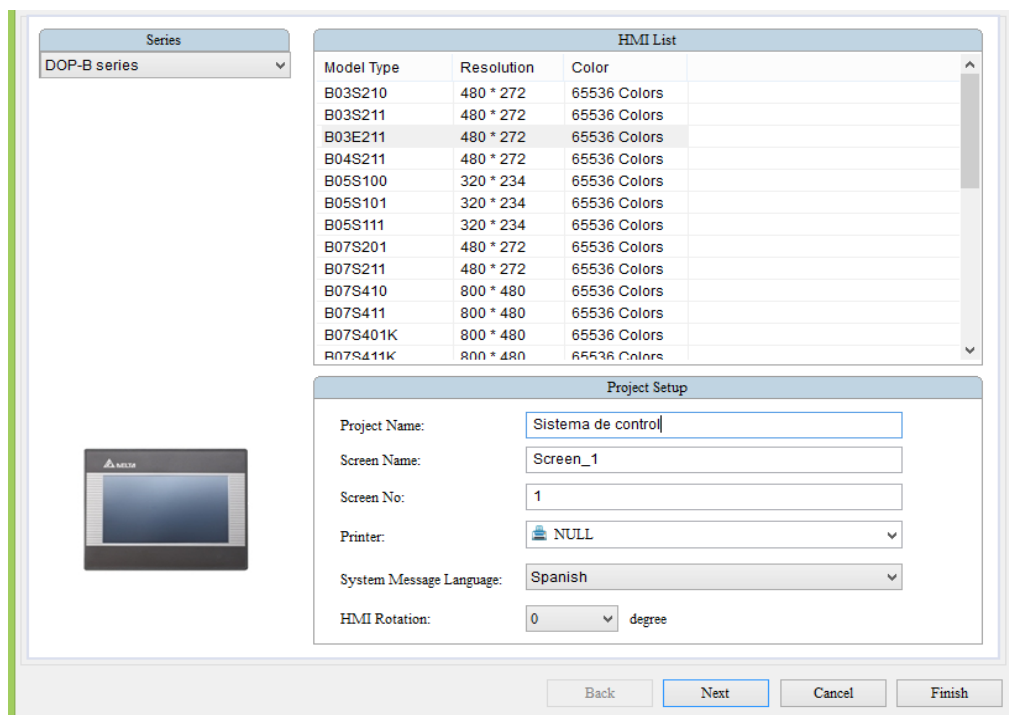


Figura 35: Creación y configuración de variables para la pantalla HMI.

En la figura 36 se muestran las configuraciones de los elementos utilizados en el proceso de nivel y flujo realizados en la pantalla HMI como el accionamiento de electroválvulas y las variables indicadas por el software Tia Portal V13 para su comunicación entre ambos equipos.

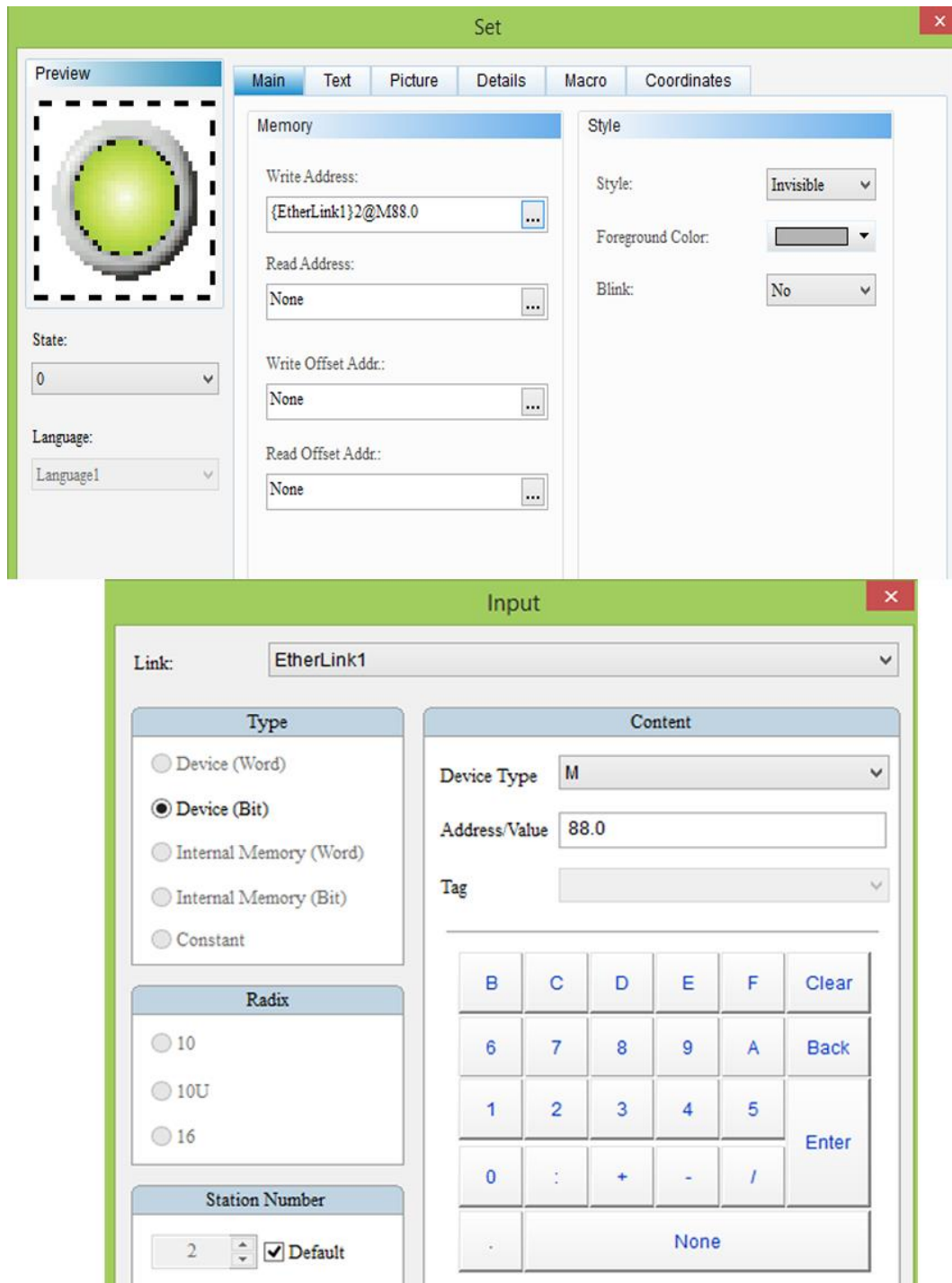


Figura 36: Asignación de variables para la pantalla HMI.

En la figura 37 se muestran la pantalla de monitoreo y control, con los variables de nivel, flujo, frecuencia y volumen los cuales serán monitoreados a través de este equipo, se muestra los indicadores para el encendido y apagado de electroválvulas como el de las bombas además se pueden ingresar los valor del set point para el proceso de control PID.

Cada proceso nivel y flujo respectivamente tiene su ventana de control y monitoreo de datos, esto es un complemento para que el sistema funcione correctamente y se pueda monitorear parámetros del sistema.



Figura 37: Asignación de variables para comunicación PLC-Pantalla HMI.

En la figura 38 se muestra el diagrama de flujo de la programación en el software DOPSoft para la pantalla HMI.

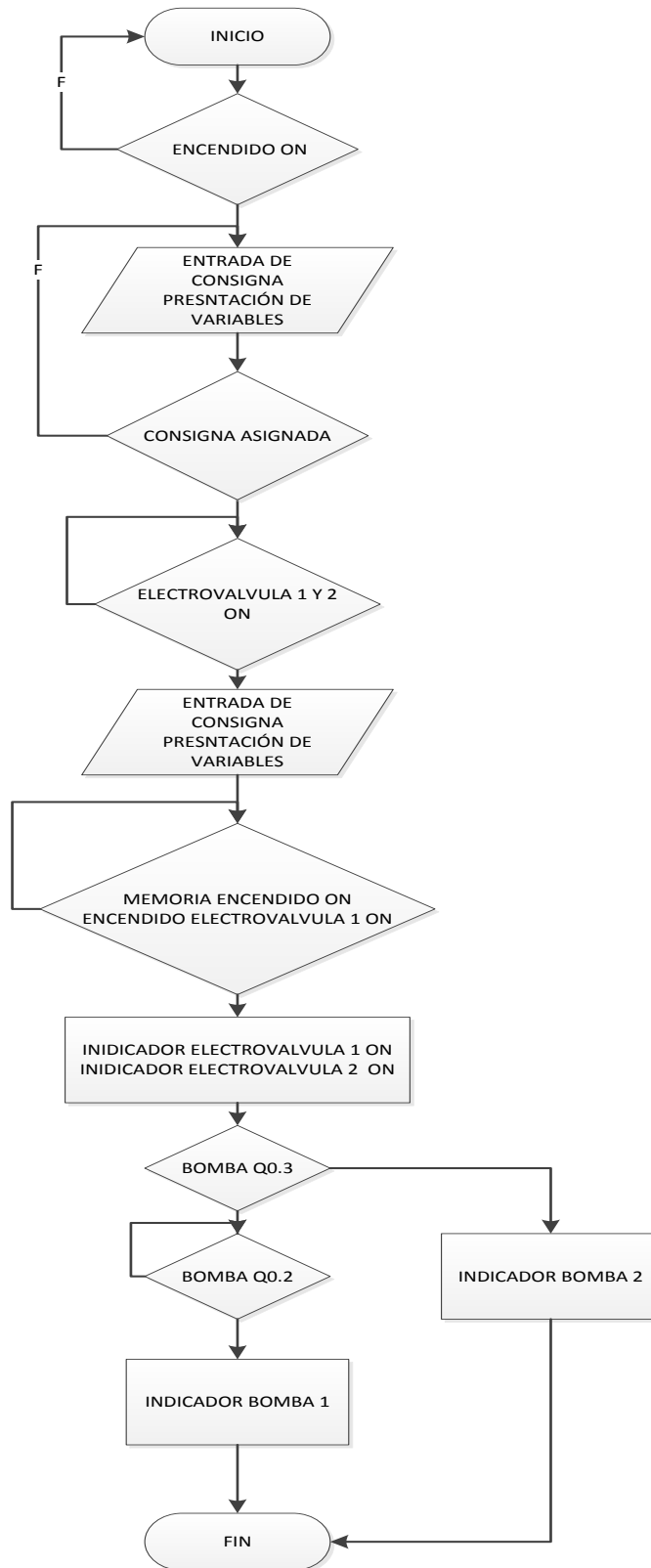


Figura 38: Diagrama de flujo de la programación en la pantalla HMI.

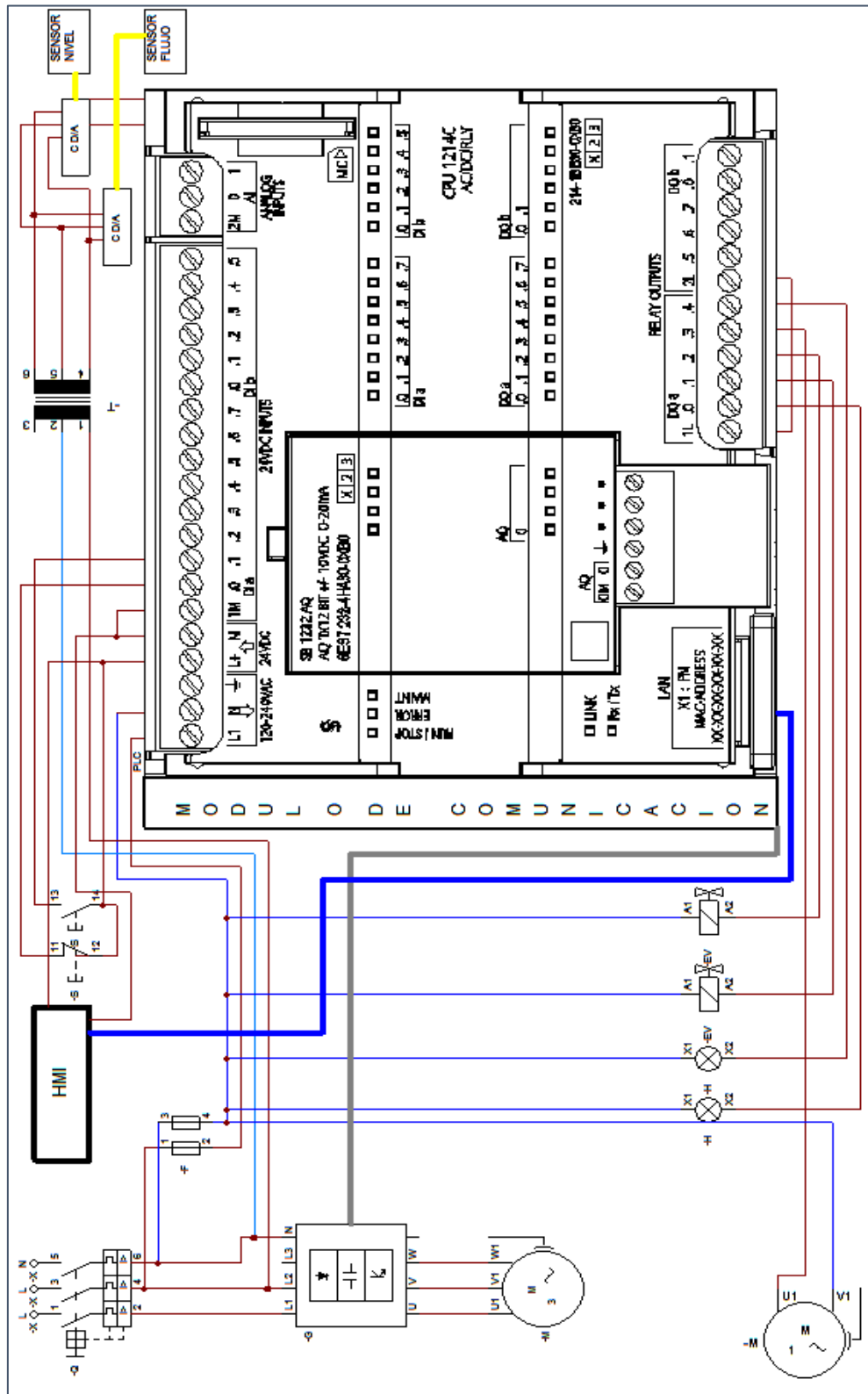


Figura 39: Diagrama eléctrico de la planta del proceso para control y flujo

A continuación se muestra en la figura 40 el diagrama de topológico del sistema y se muestra la comunicación entre los equipos a utilizar.

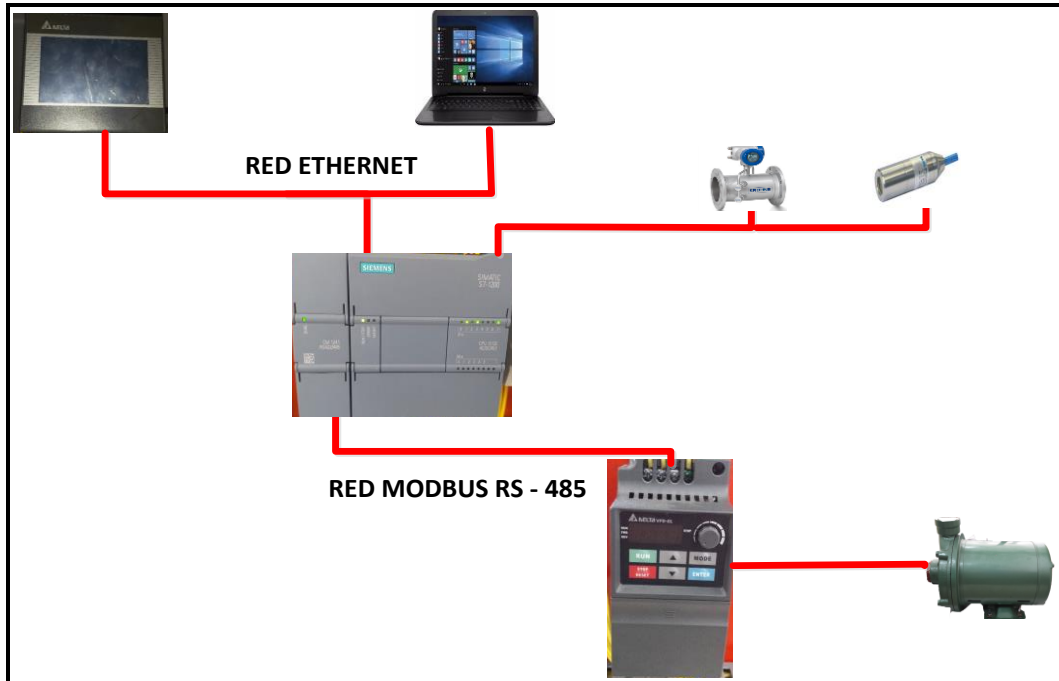


Figura 40: Diagrama topológico del sistema de control.

En la figura 41 se observa el diagrama de bloques del sistema para el proceso de nivel, donde a representa la diferencia entre el valor de referencia y el valor medido por el sensor conocida como el error, b es la salida de controlador, c representa la señal de salida del sistema y por último la d significa la señal de retroalimentación de la señal de salida.

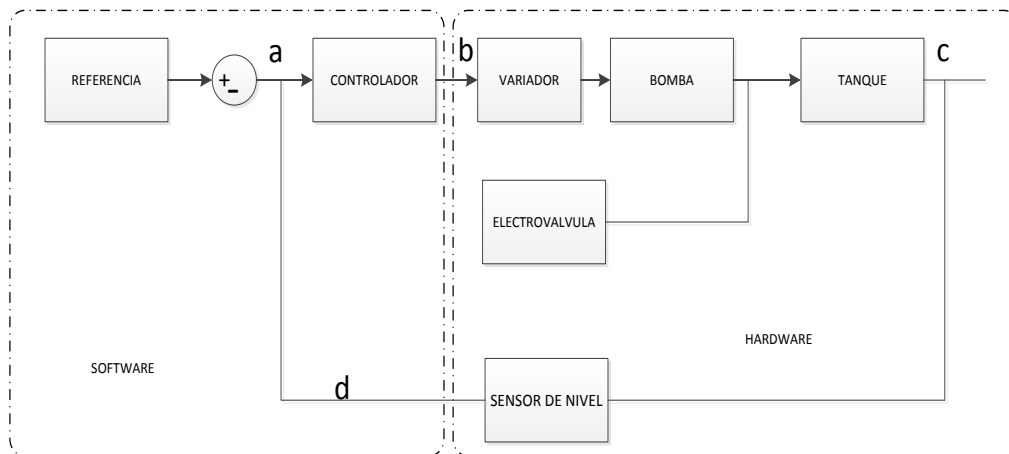


Figura 41: Diagrama de bloque general de la planta de control de nivel.

En la figura 42 se observa el diagrama de bloques del sistema para el proceso de flujo, donde a representa la diferencia entre el valor de referencia y el valor medido por el sensor conocida como el error, b es la salida de controlador, c representa la

señal de salida del sistema y por último la d significa la señal de retroalimentación de la señal de salida.

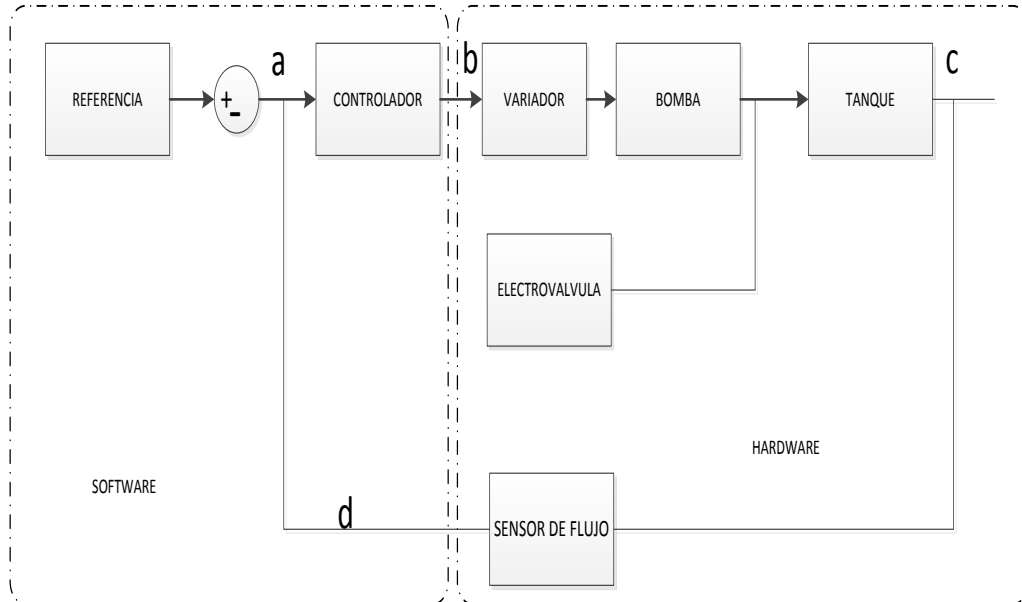


Figura 42: Diagrama de bloque general de la planta de control de flujo

3.3.8 Diseño del control PID y simulación del sistema.

La importancia y la finalidad de obtener el modelo de la planta a través de la identificación del sistema es para diseñar un controlador PID para el proceso de flujo y nivel este controlador es uno de los métodos clásicos de control para ello usaremos el software TIA Portal V13 específicamente el bloque tecnológico PID_COMPACT, a continuación se detallan los pasos a seguir para obtener los parámetros de control PID.

Programación y asignación de bloques para el control PID.

El procedimiento para la programación de control PID en el software TIA Portal es el siguiente:

Para colocar un bloque de PID se selecciona en la opción agregar un nuevo bloque donde se escoge el tipo de bloque OB que es donde vamos a insertar el bloque del PID este sirve como interfaz entre el SO y el programa de usuario.

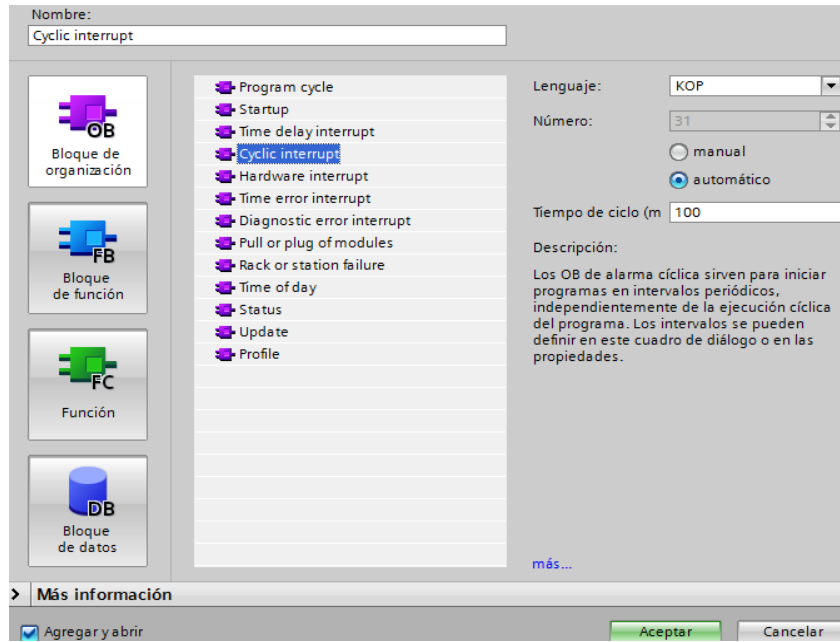


Figura 43: Bloque de programación de la función cíclica para control PID

Se agrega un Bloque de Función FB el cual permite asignar una memoria para una llamada el cual genera un bloque de datos.

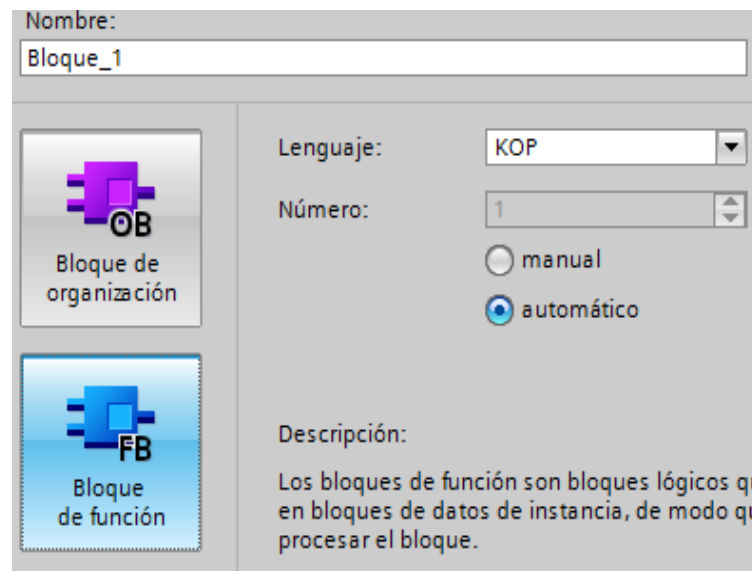


Figura 44: Bloque de función FB

En el menú de funciones tecnológicas que se encuentra del lado derecho del programa se escoge tecnología, PID Compact y lo arrastramos hacia la ventana de trabajo donde se le asignaran variables correspondientes al proceso.

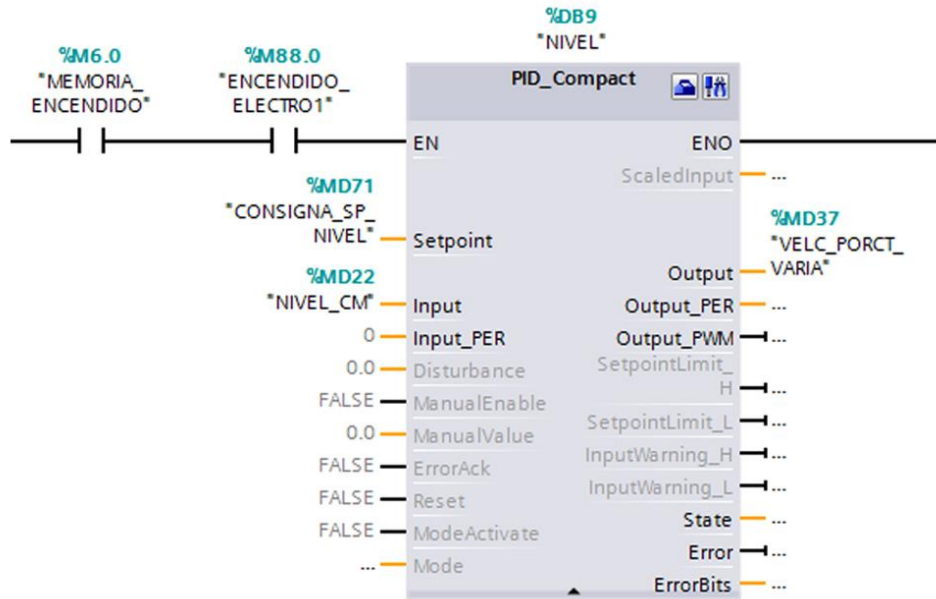


Figura 45: Bloque de PID_COMPACT

En la tabla 13 se describen las variables de entrada y salida del Bloque PID_COMPACT donde se podrá observar los valores de salida cuando se haya aplicado el controlador mediante la optimización inicial.

Parámetro	Tipo de Datos	Descripción
Scaledinput	Real	Valor real de la salida escalado
Output	Real	Valor real de la salida
Output_PWM	Bool	Valor de salida modulado por ancho de impulso.
SetpointLimit_H	Bool	SetpointLimit_H=TRUE, significa que se ha alcanzado el límite superior absoluto de la consigna.
Output_PER	Word	Valor analógico para la salida
SetpointLimit_L	Bool	Cuando el SetpointLimit_L=True, significa que se ha alcanzado el límite inferior absoluto de la consigna.
InputWarning_H	Bool	Cuando InputWarning_H=TRUE, significa que se ha alcanzado o rebasado el límite superior de advertencia de valor real.
InputWarnin_L	Bool	InputWarning_L=TRUE, significa que se ha alcanzado o rebasado por defecto el límite inferior de
Error	DWord	El parámetro Error indica los mensajes de error.
State	Int	Modo de operación actual del regulador PID.

Tabla 13: Variable de salida del Bloque PID_COMPACT: Software Tia Portal V13

Parámetro	Tipo de Datos	Descripción
SetPoint	Real	Consigna del regulador PID en modo automático
Input	Real	Se utiliza como origen del valor real.
Input_PER	Word	Entrada analógica como origen del valor real
Reset	Bool	El parámetro Reset realiza un arranque del regulador.
ManualEnable	Bool	El flanco FALSETRUE selecciona el modo de operación "Modo manual" State =4.
ManualValue	Real	Este valor se utiliza en el modo manual como valor de salida.

Tabla 14: Parámetros de entrada del Bloque PID_COMPACT: Software Tia Portal V13

En ajustes básicos se escoge el tipo de regulación en este caso nivel y de caudal longitud en cm y caudal en l/min también se activa el modo de operación tras arranque del CPU, las conexiones de la entrada y salida de variables con el regulador.

En la Entrada _input (Real) escogemos la variable de longitud para el primer proceso y caudal para el segundo proceso de control PID y en la salida Output se coloca la salida real que va a controlar la frecuencia en el variador para que aumente o disminuya la velocidad de la bomba esta trabaja en un rango del 100%.

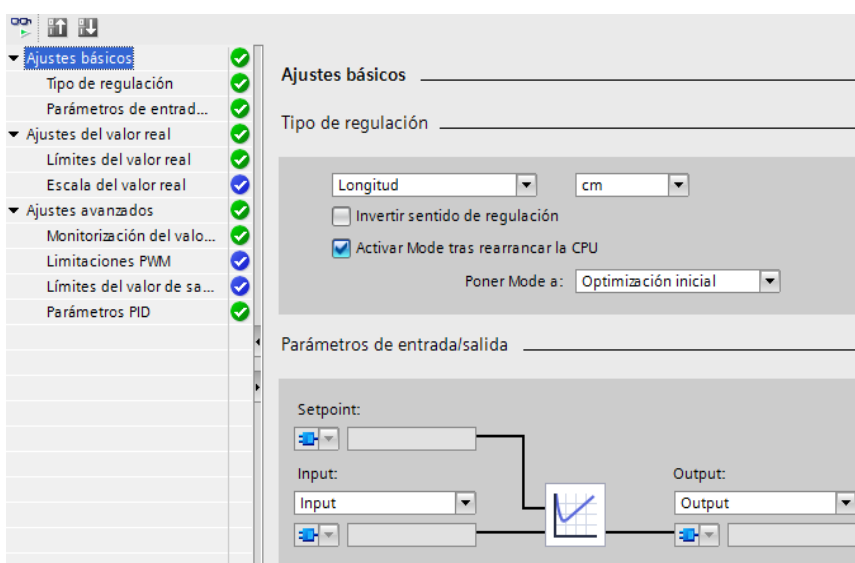


Figura 46: Ajustes Básicos del bloque PID_COMPACT

En esta figura 47 se coloca parámetros de límite de valor real de medidas del tanque es decir valor superior 70 cm e inferior 10 cm de longitud hasta dónde puede llenar el tanque.

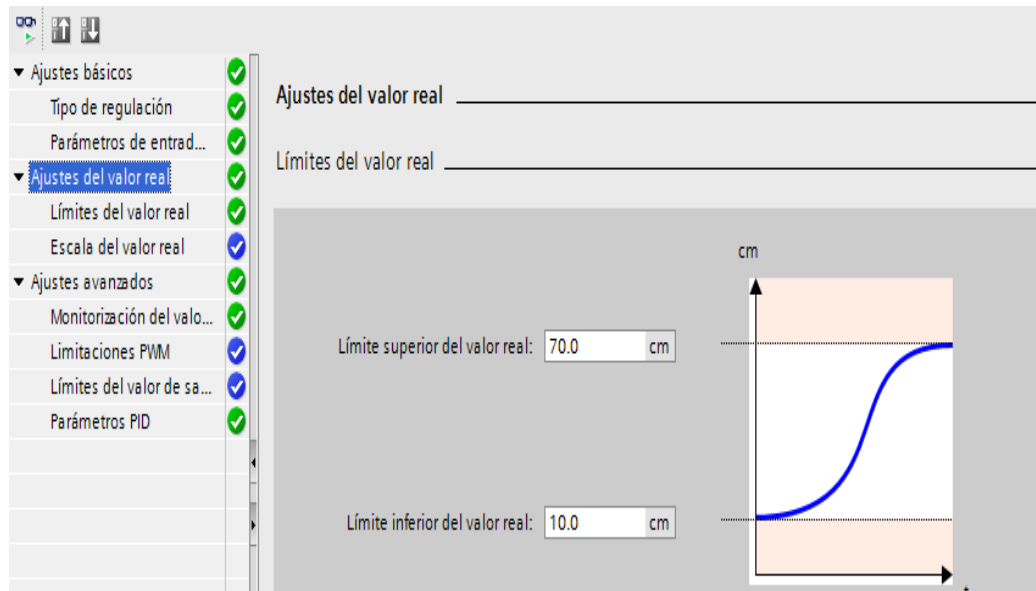


Figura 47: Ajustes del Valor Real del bloque PID_COMPACT

En los ajustes avanzados se selecciona monitorización del valor real donde se coloca un valor de longitud para advertencia con referencia al set point.

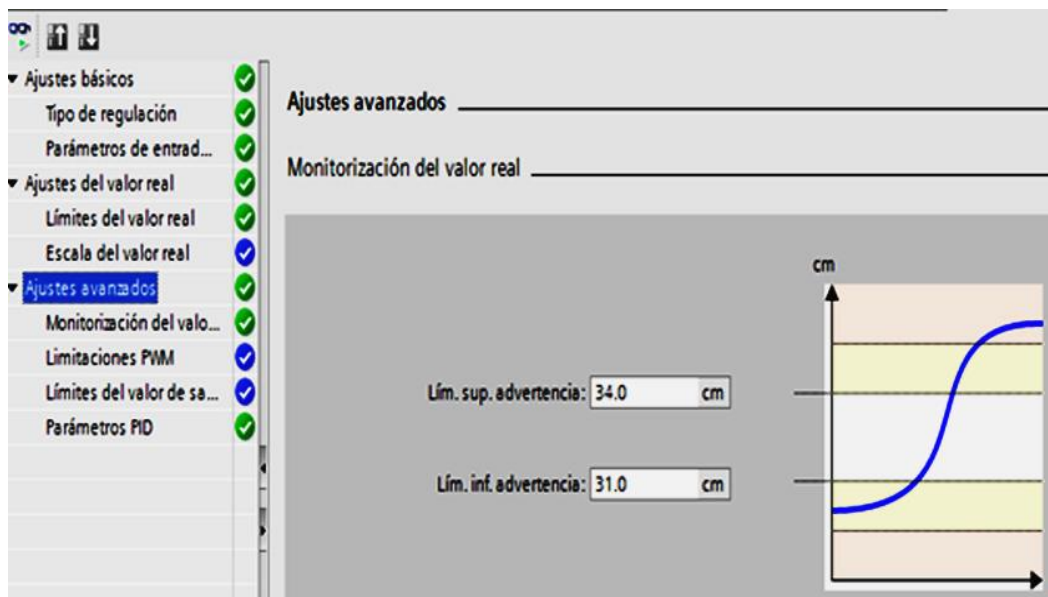


Figura 48: Ajustes Avanzados del bloque PID_COMPACT

En estos ajustes avanzados se observa los límites del valor de salida del control PID en esta caso funciona de 0 a un 100% como máximo porcentaje de la frecuencia.

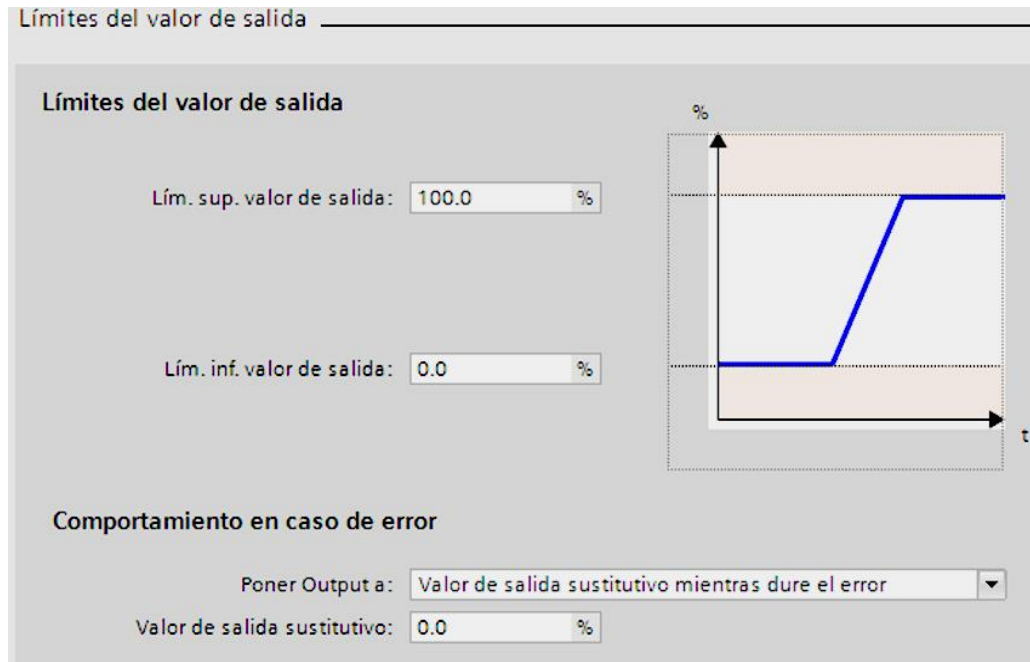


Figura 49: Ajustes Avanzados del bloque PID_COMPACT

A continuación en la figura 50 se muestran la dirección y el tipo de las variables de entrada y salida asignadas para el control PID como el set point, encendido de electroválvulas, medida del sensor y salida del bloque de control.

Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"CONSIGNA_SP_NIVEL"	%MD71	Real	ENTRADA DE LA CONSIGNA SET POINT
"ENCENDIDO_ELECTRO1"	%M88.0	Bool	ENCENDIDO ELECTROVALVULA
"MEMORIA_ENCENDIDO"	%M6.0	Bool	INDICADOR ENCENDIDO
"NIVEL_CM"	%MD22	Real	ENTRADA ANALOGA DE NIVEL
"VELC_PORCT_VARIA"	%MD37	Real	SALIDA DEL CONTROL PID

Figura 50: Variables de entrada y salida para el bloque de control PID

3.3.9 Configuración de parámetros del variador de frecuencia y PLC.

Para establecer la comunicación entre el PLC y el variador se realizan las siguientes configuraciones en los Parámetros del variador.

Los grupos utilizados para nuestra configuración son los siguientes:

El variador de frecuencia tiene una configuración sencilla que consta de 11 grupos.

Grupo 0: Parámetros del usuario

Grupo 2: Parámetros del método de operación

Grupo 9: Parámetros de comunicación

En el grupo 0 se muestran los parámetros 02,00 para restablecer el variador de frecuencia el valor 9 con una frecuencia de 50Hz y el valor de 10 para una frecuencia de 60 Hz.

En el grupo 2 se crean los parámetros de configuración entre Variador y PLC, mostrada en la tabla 12 para establecer la comunicación entre el módulo de comunicación y el variador de frecuencia mediante la comunicación RJ-45 en la configuración 3. En la configuración 3 y 4 del grupo 02,01 se habilita o se deshabilita el teclado del variador de frecuencia. En el parámetro 9 se establecen la velocidad de transmisión, la dirección y el protocolo de comunicación del variador con el modulo RS 485.

Parámetro de usuario grupo 0			
Parámetro	Explicación	Configuración	Config. de fabrica
00,02	Reinicio de parámetros	9: Todos los parámetros son reestablecidos a sus valores de fabrica (50 Hz, 230 V/400 V o 220 V / 380 V 10: Todos los parámetros son reestablecidos a sus valores de fábrica (60 Hz, 220 V / 440 V).	0
Parámetros de método de operación del grupo 2 se establece la comunicación PLC variador			
02,00	Fuente del primer comando de frecuencia maestra	3: Comunicación RS-485 (RJ-45) 4: Potenciómetro del teclado digital	1
02,01	Fuente del primer comando de operación	3: Comunicación RS-485 (RJ-45). DETENER/REINICIALIZAR del teclado habilitados. 4: Comunicación RS-485 (RJ-45). DETENER/REINICIALIZAR del teclado deshabilitados.	1
Parámetros de comunicación del grupo 9			
09,00	Dirección de comunicación	1 a 254	1
09,01	Velocidad de transmisión	1: Tasa de baudios 9600 bps	1
09,04	Protocolo de comunicación	6: 8,N,1 (Modbus, RTU)	1

Tabla 15: Parámetros de configuración en el variador de frecuencia: www.delta.com.tw

Para la comunicación entre el PLC, el módulo de comunicación y variador de frecuencia se utiliza un cable UTP de un extremo va un conector DB9 para el módulo rs422/485 y del otro va un conector RJ45 conectado al variador este tiene las siguientes configuraciones.

Configuración de conexión de pines para el variador de frecuencia. CONECTOR RJ-45	Configuración de conexión de pines para el Modulo de comunicación RS422/485. CONECTOR DB9
PIN 5(+)	PIN 8(+)
PIN 4(-)	PIN 3(-)

Tabla 16: Configuración de pines entre el PLC y el Variador de frecuencia.

En la figura 51 se presenta la conexión de los cables con sus términos para tener una transmisión y recepción de dato.

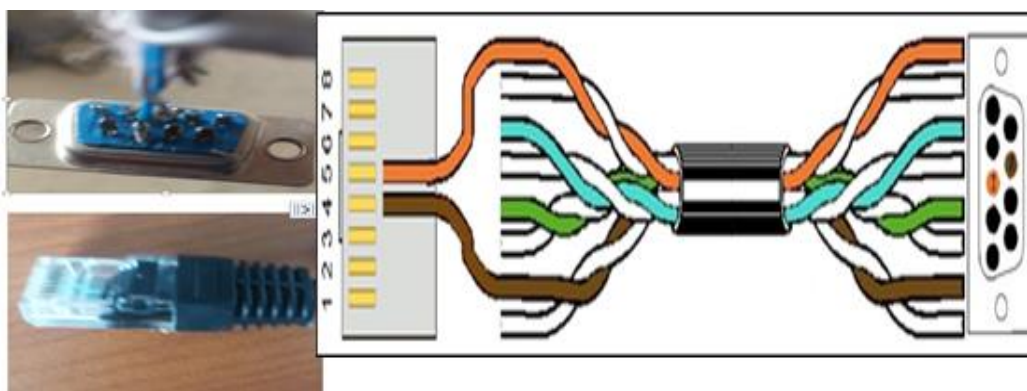


Figura 51: Configuración de pines para el variador de frecuencia y el PLC.

3.3.10 Configuración de comunicación del variador de frecuencia con el PLC.

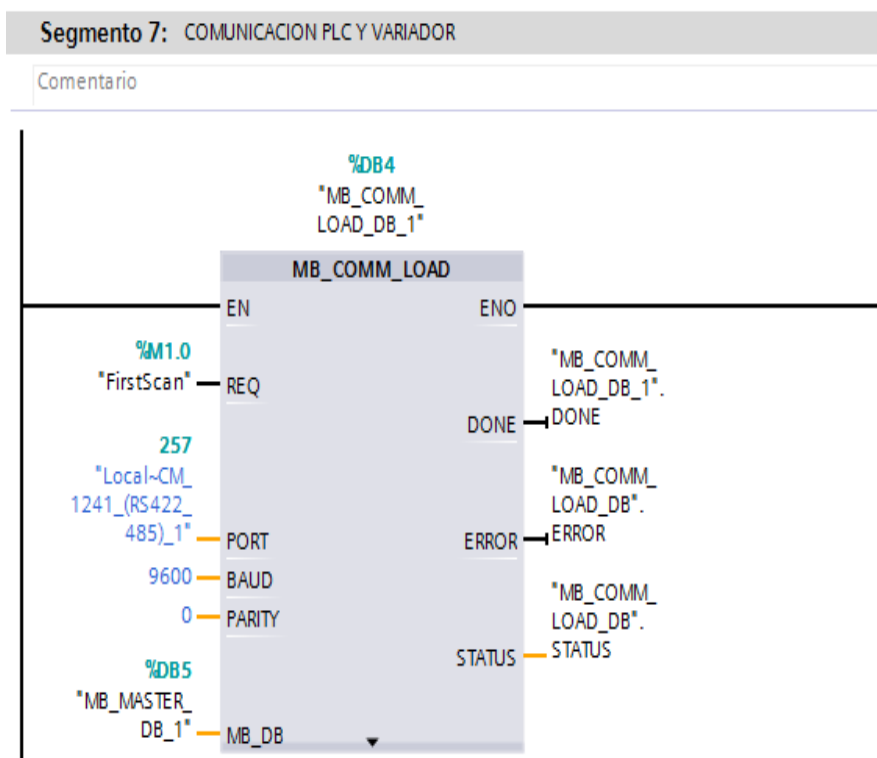


Figura 52: Bloque de comunicación MB_COMM_LOAD.

En esta sección se muestra en la figura 52 la configuración del bloque MB_COMM_LOAD de parámetro presentada en la tabla 17 para la comunicación entre el PLC y el módulo de comunicación RS 485 donde se ingresa la identificación del puerto, la velocidad de transmisión y la paridad.

Parámetro	Tipo de datos	Descripción
REQ - input	Bool	Ejecución de la instrucción con flanco ascendente. Se coloca un first scan.
PORT input	PORT	Identificación del puerto de comunicación conexión del cuadro PORT y se escoge local 422/485.
Baud-input	UDINT	Selección de la velocidad de transferencia en este caso 9600.
Parity-input	UINT	Selección de paridad ninguna
MB_DB	Input	Una referencia al bloque de datos instancia de las instrucciones "MB_MASTER" o "MB_SLAVE".

Tabla 17. Parámetro del bloque MB_COMM_LOAD: Software Tia Portal V13

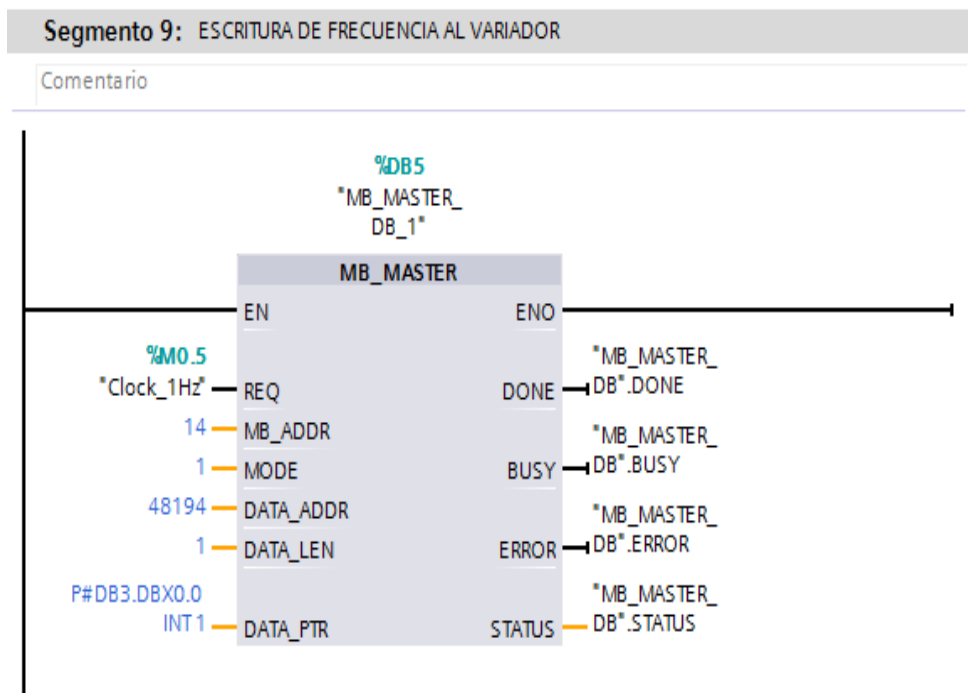


Figura 53: Bloque de comunicación para escritura del variador de frecuencia

En la figura 53 del bloque MB_MASTER_DB_1 se coloca la dirección del variador, el registro de escritura de la frecuencia y el bloque de datos donde se almacenarán los valores registrados.

Frecuencia	Tipo de datos	Memoria en el bloque de datos	Comentario
Frecuencia[0]	Int	0.0	Escritura de la frecuencia
Frecuencia[1]	Int	2.0	Lectura de frecuencia
Frecuencia[5]	Int	10.0	Encendido y apagado de la bomba

Tabla 18: Registros de comunicación para el variador de frecuencia: www.delta.com.tw

La tabla 19 se presenta los comandos de lectura y de escritura donde se muestra la dirección 2001H del registro de variador, podemos escribir 1 para proceder a parar el variador y 2 para arrancar el variador es decir poner en marcha la bomba trifásica, en la dirección 2002H de registro escribimos el datos de frecuencia sin tomar en cuenta el punto del decimal es decir para 60.00Hz. Se escribe como dato 6000, en la dirección 2103H podemos leer el dato de frecuencia sin tomar en cuenta el punto decimal.

Contenido	Dirección	Función
Comando Sólo escritura	2001H 8193 DEC	Bit 0-1 01B: Detener(permite detener el variador) 10B: Operar (permite poner en marcha el variador).
	2002H 8194 DEC	Comando Frecuencia Escritura de frecuencia(permite escribir la frecuencia deseada)
Monitor de estado Sólo para lectura	2103H 8451 DEC	Lectura de Frecuencia

Tabla 19: Direcciones de registros del variador de frecuencia: www.delta.com.tw

Puesta en servicio del control PID del proceso de nivel y flujo.

Para obtener los parámetros del control PID se necesita realizar la optimización inicial para determinar la sintonización de parámetros del controlador y el comportamiento del sistema a una entrada escalón. En el bloque del PID se selecciona el icono que indica puesta en servicio y se mostrara la ventana que se muestra en la figura 54 aquí se modifica el modo de optimización y la medición que es el tiempo de muestreo.

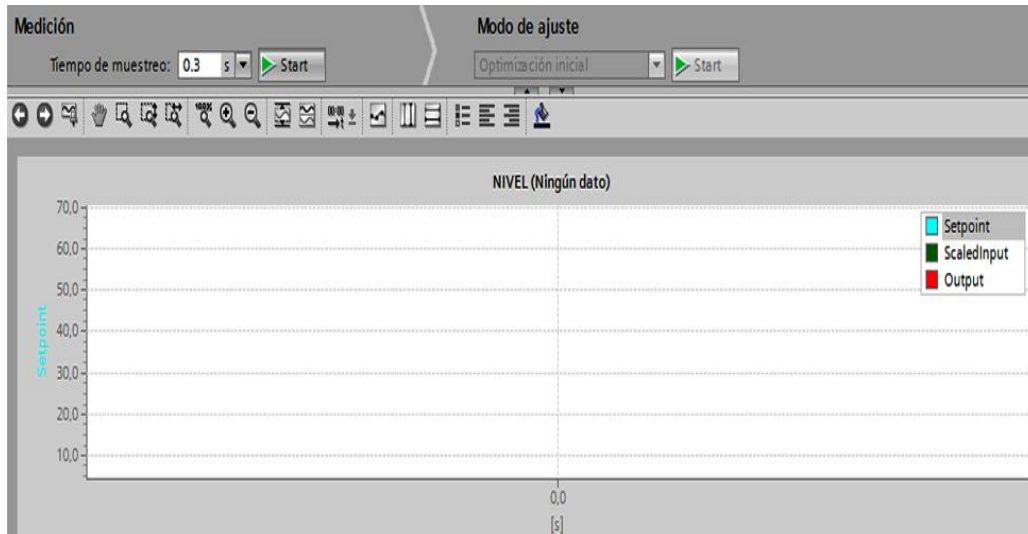


Figura 54: Puesta en servicio del control PID

A continuación se selecciona el botón Start para que empiece a ejecutar la optimización inicial para ambos procesos, se realiza el mismo procedimiento para obtener los parámetros de forma individual para el control de flujo y nivel.

A continuación en la figura 55 el programa Tia PORTAL empieza a graficar las curvas de respuesta de la variable de control, input (entrada) de color verde, set point de color celeste y output color rojo (Salida).

Se realizaron también otras pruebas para obtener resultados deseados ver (Anexo 3).

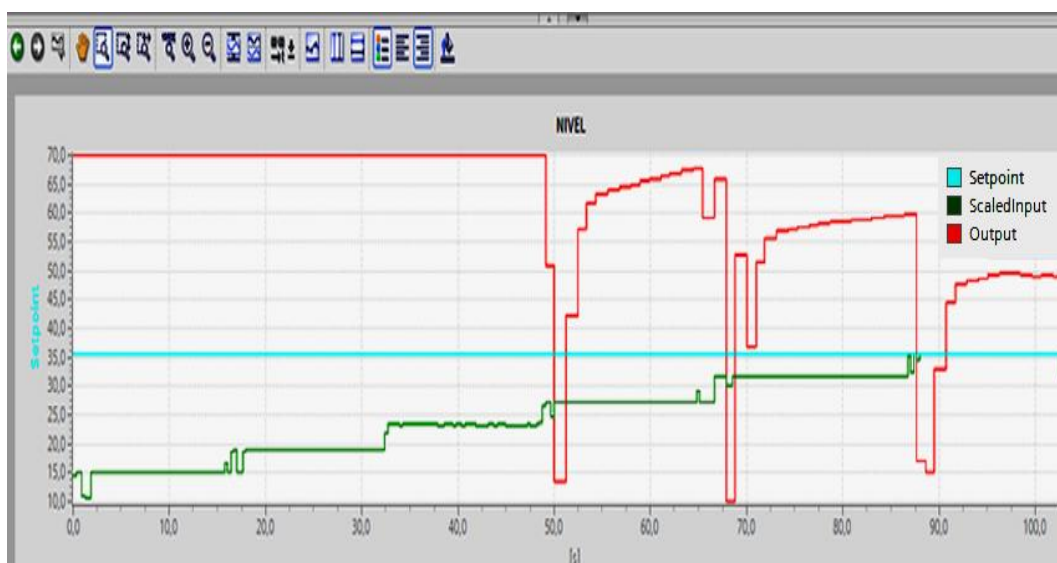


Figura 55: Grafica de variables del controlador PID para el proceso de nivel.

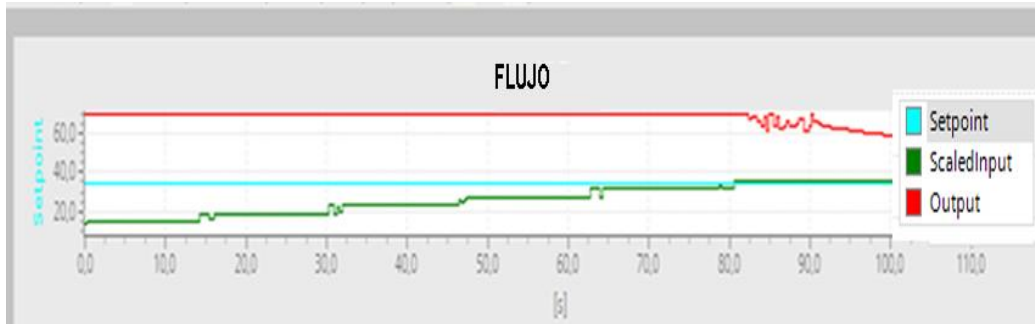


Figura 56: Grafica de variables del controlador PID para el proceso de flujo.

En la figura 57 y 58 se puede observar los parámetros de los dos procesos que han sido obtenidos con la optimización inicial.

Parámetros PID

Activar entrada manual

Ganancia proporcional: 3.66

Tiempo de integración: 18300 s

Tiempo derivativo: -4.090561 s

Coefficiente retardo derivativo: 0.1

Ponderación de la acción P: 0.8

Ponderación de la acción D: 0.0

Tiempo muestreo algoritmo PID: 0.399986 s

Regla para la optimización

Estructura del regulador: PID

Figura 57: Parámetros de control PID de nivel

Parámetros PID

Activar entrada manual

Ganancia proporcional: 4.730861

Tiempo de integración: 7.962575 s

Tiempo derivativo: 1.39345 s

Coefficiente retardo derivativo: 0.1

Ponderación de la acción P: 0.8

Ponderación de la acción D: 0.0

Tiempo muestreo algoritmo PID: 9.99981E-2 s

Regla para la optimización

Estructura del regulador: PID

Figura 58: Parámetros de control PID de flujo

Finalmente se deben cargar los parámetros de optimización inicial al PLC en el icono que se muestra en la figura 59 una vez cargados estos parámetros se quedan guardados en la memoria.

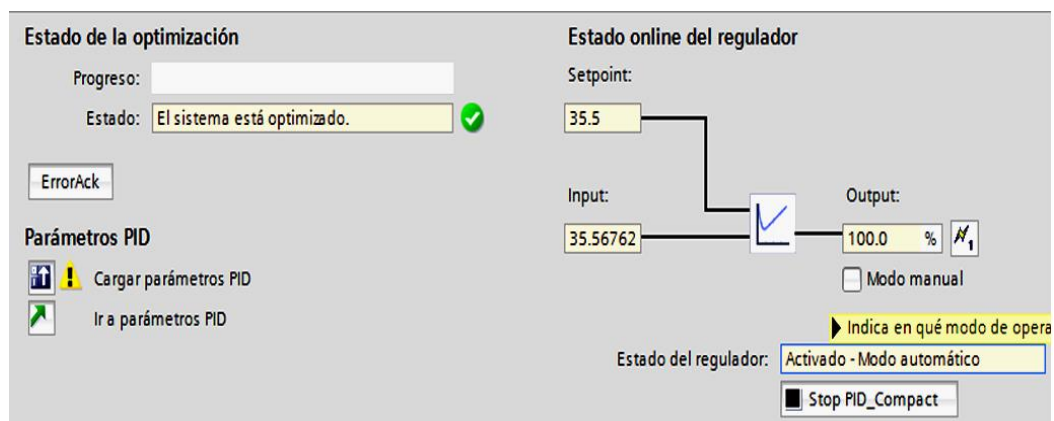


Figura 59: Finalización de la optimización de los parámetros PID

En la tabla 20 se muestran los Parámetros del bloque PID_COMPACT después de la optimización inicial y las variables de la ecuación en términos de TIA PORTAL.

Parámetro-variable	Simbología	Valor
Valor de salida	y	%MD37
Consigna	w	%MD71
Valor de proceso	x	%MD22
Ganancia proporcional	Kp	4.730861
Tiempo de integración	Ti	7.962575
Tiempo derivativo	Td	1.39345
Ponderación de acción P	b	0.8
Ponderación de acción D	c	0.0
Coefficiente de retardo derivativo	a	0.1

Tabla 20. Parámetros del bloque PID_COMPACT: Software TIA Portal V13

Calculo de parámetros de forma estándar del control PID del proceso de nivel.

$$k_p = 3,66 \quad (13)$$

$$k_i = \frac{k_p}{T_i} \quad k_i = \frac{3,66}{18300} \quad k_i = 0,0002 \quad (14)$$

$$k_d = k_p * T_d \quad k_d = 3,66 * -1.117 \quad (15)$$

$$k_d = -4.09 \quad (16)$$

Calculo de parámetros de forma estándar del control PID del proceso de flujo.

$$k_p = 4.730861 \quad (17)$$

$$k_i = \frac{k_p}{T_i} \quad k_i = \frac{4.730861}{7.962575} \quad k_i = 0.594137 \quad (18)$$

$$k_d = k_p * T_d \quad k_d = 4.730861 * 1.39345 \quad (19)$$

$$k_d = 6,5922 \quad (20)$$

3.4 Análisis comparativo de costos de equipos.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
Mano de obra		\$300,00	\$300,00
Arduino Dueminalove	1	\$ 19,90	\$ 19,90
Diseño y Elaboración de placas electrónicas	2	\$ 50,00	\$ 100,00
Sensor de flujo	1	17,00	17,00
Sensor de Nivel	3	\$7,00	\$21,00
Bomba centrifuga Thebe TH-16NR 1/2HP 3F	1	\$ 299,81	\$ 299,81
Tanque sellado blanco	2	\$53,51	\$ 103,06
Bomba ½ HP PAOLO	1	\$ 47,69	\$ 47,69
Cable Flexible 18 AWG	100	\$ 0,26	\$ 7,50
Cable Flexible 14 AWG	50	\$ 0,15	\$ 7,50
Válvulas de Bronce 110 V	2	\$ 58,93	117,86
Estructura metálica	1	\$ 200,00	\$ 200,00
MODULO SIEMENS	1	\$ 268,00	\$ 268,00
Luz piloto Led 110 V AC Rojo	1	\$ 1,38	\$ 1,38
Luz piloto Led 110 V AC Verde	1	\$ 1,38	\$ 1,38
Variador de frecuencia Trifásico	1	\$ 261,47	\$ 261,47
Tope de Bornera	2	\$ 0,20	\$ 0,40
Bornera para riel	2	\$ 0,40	\$ 0,80
Canaletas 25x40 color gris	1	\$ 6,05	\$ 6,05
DOP-B03E211	1	\$ 419,19	\$ 419,19
Pulsador Rojo	1	\$ 1,20	\$ 1,20
Pulsador Verde	1	\$ 1,20	\$ 1,20
BREAKER SIEMENS 2P 20AMP	3	\$ 5,00	\$ 15,00
SIMATIC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RELE	1	\$ 470,00	\$ 470,00
RIEL LONG. 1M	1	\$ 2,47	\$ 2,47
Tuberías y accesorios de instalación	20	\$100,00	\$100,00
Estructura metálica y gabinete de control	1	\$180,00	\$180,00
GASTOS VARIOS		100,00	\$100,00
GASTO TOTAL			\$3069.86

Tabla 21: Costo de implementación del sistema de control.

3.4.1 Costo de elementos y equipos similares.

Se toma como referencia equipos de marca Siemens utilizadas a nivel industrial

ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
Sensor de flujo Siemens	1	\$490,00	\$490,00
Sensor de Nivel Siemens	1	\$350,00	350,00
Bomba centrífuga 3F	1	\$ 480,50	\$ 480,50
Bomba ½ HP Siemens	1	\$ 95,00	\$ 95,00
MODULO SIEMENS	1	\$ 268,00	\$ 268,00
Luz piloto Led 110 V AC Rojo Siemens	1	\$ 16,38	\$ 16,38
Luz piloto Led 110 V AC Verde Siemens	1	\$ 16,38	\$ 16,38
Variador de frecuencia Trifásico	1	\$ 677,47	\$ 677,47
Pantalla HMI Siemens	1	\$ 450,19	\$ 450,19
Pulsador Rojo Siemens	1	\$ 15,20	\$ 15,20
Pulsador Verde Siemens	1	\$ 15,20	\$ 15,20
SIMATIC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RELE	1	\$ 470,00	\$ 470,00
GASTO TOTAL			3.344,32

Tabla 22: Costo de implementación de equipos similares para el sistema.

Con el análisis realizado se logró la implementación del sistema con algunos elementos y equipos de bajo costos que también se utilizan en empresas y brindan seguridad en los procesos. En relación al costo de la propuesta se comparó elementos de la marca Siemens los cuales tienen un costo más alto de sus elementos a nivel de industrial.

En el campo industrial por ejemplo un sistema de bombeo cuesta alrededor de \$5000 dólares su compra e instalación de equipos proceso en el cual se utilizan como elementos por ejemplo bombas, que permitan el correcto funcionamiento del sistema.

3.5 PRUEBAS

Las pruebas presentan diferentes experimentos realizados para verificar el funcionamiento correcto de cada elemento utilizado en la planta, se realizó la calibración de los sensores para obtener el volumen, nivel, caudal, tiempos del sistema planteado. Finalmente se consideró 2 pruebas aplicando control PID para obtener los parámetros y comparar el valor de referencia con el valor de medido del sensor. A continuación se detallan las pruebas realizadas.

3.5.1 Medición para calibración del sensor de distancia

Objetivo.- Calibrar el sensor de medida de distancia

Criterio de éxito

Se considera que la medida de distancia se realizó de manera exitosa de acuerdo a la tabla de los valores los cuales no sobrepasan el rango de porcentaje de éxito 5% para considerar que está dentro de los parámetros de medida de longitud real de las 10 muestras obtenidas 8 resultaron exitosas.

1. Experimento.

El experimento consiste en obtener el resultado de la medida del sensor, esto significa que se aumentara el volumen del tanque y a medida que este aumente se obtiene los resultados deseados del valor medido comparando con el valor real (med. flexómetro). Las pruebas consistieron en ubicar el sensor en un punto determinado dentro del tanque y realizar la adquisición de datos a través del software Tia Portal y finalmente calibrar el sensor.

Valor de la medida del conversor Arduino	36	40	31	44	48	27	59	54	21	32
Valor de 4 bits salida del conversor.	1001	1010	0111	1011	1100	0110	1110	1101	0101	1000
Valor de voltaje en PLC	5.36	6.03	4.26	6.59	7.22	3.70	8.41	7.78	3.04	4.80
Normalización (0-1)	0.53	0.60	0.42	0.65	0.72	0.37	0.84	0.77	0.30	0.48
Medida obtenida NIVEL= NMAX-NESC(cm)	31.4	26.7	39.1	22.85	18.44	43.00	9.89	14.50	47.74	35.38
Medida real flexómetro(cm)	33	28	39.2	25	21	43.50	9.90	15.90	48.5	37
Criterio de éxito	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla 23: Pruebas de calibración del sensor de distancia.

33,00	28,00	39,20	25,00	21,00	43,50	9,90	15,90	48,50	37,00
31,40	26,70	39,10	22,85	18,44	43,00	9,89	14,50	47,74	35,38
1,60	1,30	0,10	2,15	2,56	0,50	0,01	1,40	0,76	1,62

Tabla 24: Diferencia del valor medido y valor real para nivel

Promedio 1,2 cm.

3.5.2 Medición para calibración del sensor de flujo

Objetivo.- Calibrar el sensor de flujo para poder realizar las pruebas con el control PID

Criterio de éxito

Se considera que el flujo está en el rango de porcentaje del 5% por lo que 8 pruebas tuvieron éxito. Para complementar este análisis se utilizó la fórmula para la obtención del caudal real y verificar el resultado con respecto al valor que mide el sensor.

2. Experimento.

Este experimento se enfocó en obtener el dato de caudal mediante el software TIA Portal y realizar los cambios necesarios acoplado el sistema a las medidas reales para obtener buenos resultado en la medición y posteriormente para realizar el control PID.

Valor de 4 bits a la salida del conversor.	1100	1010	1110	1010	1100	0010	0010	0110	1010	1110
Valor de voltaje en PLC	1.00	3.10	4.15	1.83	1.82	4.64	1.82	3.61	2.98	4.18
Normalización (0-1)	0.36	0.59	3.83	0.59	0.47	0.92	0.47	0.71	0.59	0.83
Caudal medido	12.70	20.90	29.29	20.91	16.58	32.48	16.58	25.00	20.91	30
Caudal real	12.79	21	29.5	21	16.7	34	19	25.2	21	31.2
Criterio de éxito	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI

Tabla 25: Pruebas de calibración del sensor de flujo.

12,79	21	29,5	21	16,7	34	19	25,2	21	31,2
12,7	20,9	29,29	20,91	16,58	32,48	16,58	25	20,91	30
0,09	0,1	0,21	0,09	0,12	1,52	2,42	0,2	0,09	1,2

Tabla 26: Diferencia del valor medido y valor real para el flujo.

Promedio = 0,6 l/min.

3.4.3 Funcionamiento de la bomba y el variador de frecuencia.

Objetivo.- Realizar pruebas de llenado de tanque para el verificar funcionamiento del variador de frecuencia y la bomba con respecto al volumen.

Criterio de éxito

Las muestras obtenidas definieron que el funcionamiento de los elementos fueron los correctos las medidas están en el rango del 4% valor que se defino para que se considere exitosa la prueba realizada.

3. Experimento.

Se realizó la toma de muestras con respecto a un tiempo variando así la frecuencia para obtener un volumen haciendo énfasis a la referencia limitada de 5 galones y poder comparar el volumen medido por el software y el volumen real obtenido por su formula $V = \pi * r^2 * h$

Prueba	Tiempo	Referencia	Volumen medido	Volumen real	Criterio de éxito
1	2,02	5 gal.	4,85	5,00	NO
2	1,25	5 gal.	4,90	4,95	SI
3	30	5 gal.	4,90	4,95	SI
4	30	5 gal.	5,00	5,00	SI
5	40	5 gal.	5,00	5,10	SI
6	1,6	5 gal.	5,00	5,10	SI
7	1,03	5 gal.	4,90	5,00	SI
8	35	5 gal.	4,95	5,00	SI
9	36	5 gal.	5,00	5,10	SI
10	45	5 gal.	4,95	5,00	SI

Tabla 27: Prueba de Funcionamiento de la bomba y el variador de frecuencia

3.4.4 Obtención de medida de caudal aplicando diferentes valores de frecuencia.

Objetivo.- Utilizar el variador de frecuencia para obtener medidas de caudal y de volumen.

Criterio de éxito

Se realizó pruebas para obtener medidas de flujo utilizando el variador de frecuencia y poder verificar el tiempo y volumen en el llenado de tanques.

4. Experimento.

El experimento consiste en generar una frecuencia a través del variador y obtener la medida de tiempo, volumen y caudal para realizar la toma de valores reales y medidos para utilizar en mi sistema y finalmente utilizar todos estos datos al utilizar control PID.

Prueba	Volumen(gal)	Tiempo(min)	Caudal medido(l/min)	Caudal real (l/min)	Criterio de éxito
1	5,00	4,11	4,6	4,9	SI
2	5,00	2,10	9	9.2	SI
3	5,00	1,45	13	13,2	SI
4	5,00	1,06	17.8	17,8	SI
5	5,00	0,84	22.4	23	SI
6	5,00	0,70	26.8	27	SI
7	5,00	0,61	31	32	NO
8	5,00	0,60	31.4	32.2	SI
9	5,00	0,54	34.7	35	SI
10	5,00	0,54	34.8	35	SI

Tabla 28: Obtención de la medida de caudal.

3.4.5 Control PID para el proceso de nivel de llenado de tanques.

Objetivo.- Realizar el proceso de nivel de llenado de tanque utilizando control PID.

Criterio de éxito

Se considera que la prueba realizada debe estar en un 10% de rango como máximo es decir los parámetro obtenidos por el software TIA Portal deben estar en ese rango de probabilidad.

5 Experimento.

Establecidos los parámetros de control PID ajustados en el sistema el regulador debe ser capaz de mantener el nivel de referencia en el tanque principal incluso en presencia de perturbaciones. Cuando se alcanza de nivel de referencia la bomba monofásica se encenderá y como resultado se tendrá que el nivel del líquido va a descender por unos segundos, hasta que funcione el controlador ya establecido. El

tiempo que tarde en restablecerse mostrará el correcto ajuste de los parámetros. Consiste en realizar el llenado del tanque hasta una distancia de 35 cm, se debe verificar parámetros de tiempo estabilización, sobre pico entre otros parámetros.

En la figura 60 se muestra la función de transferencia de flujo a lazo cerrado con retroalimentación usando la función feedback con ayuda del software Matlab. En la tabla 27 se muestran los datos de la función de transferencia con retroalimentación y la aplicación del control PID.

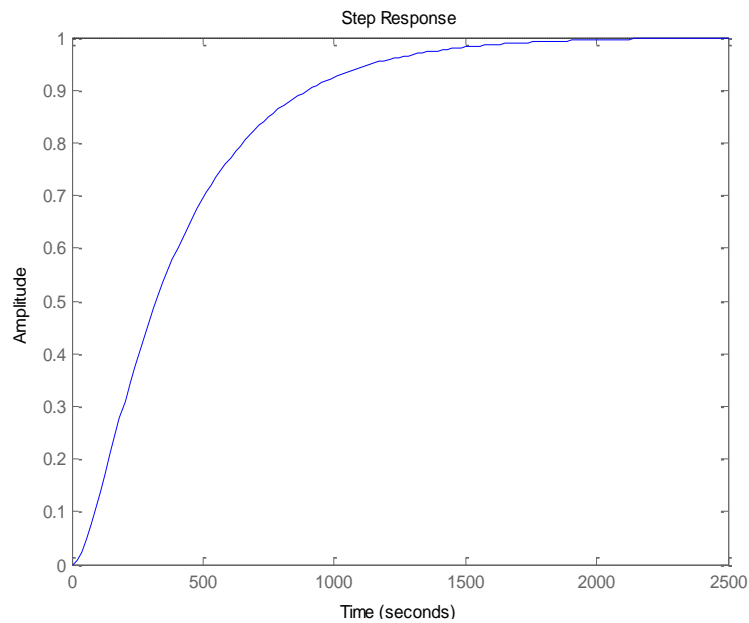


Figura 60: Curva de la función de transferencia de la planta.

$$k_p = 3.66$$

$$k_i = 0.0002$$

$$k_d = -4.09$$

$$G_p = \text{pid}(k_p, k_i, k_d)$$

Controlador PID de tiempo continuo en forma paralela.

$$G_p = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d * s$$

Función de transferencia de tiempo continuo

$$\text{step}(Mc)$$

$$Mc = \text{feedback}(G_p * G_c, 1)$$

Mc =

$$\frac{-0.0002457s^3 + 5.502e-05s^2 + 0.0001475s + 8.062e-09}{0.9914s^3 + 0.01908s^2 + 0.005164s + 2.822e-07}$$

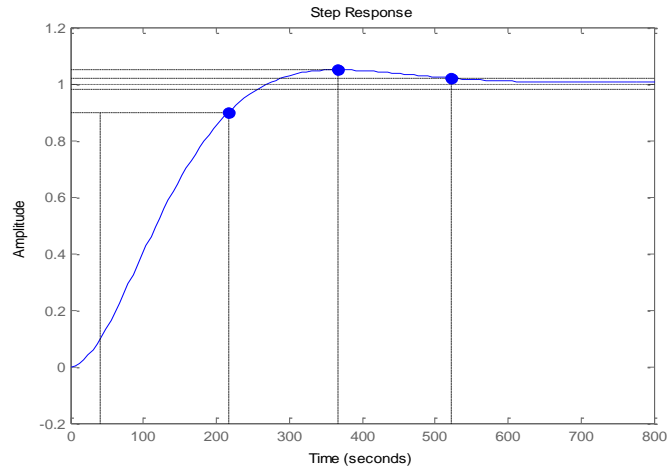


Figura 61: Curva de la planta del proceso de nivel aplicando PID

	Valor de set point	Sobre pico máximo	Tiempo de estabilización	Tiempo de subida
Planta	35	0%	$1.47e^3$ seg.	811 seg
Control PID	35	4.94%	523 seg.	176 seg

Tabla 29: Resultados de la planta para el control de nivel

En la figura 62 se muestra la función de transferencia de flujo con retroalimentación usando la función feedback con ayuda del software Matlab.

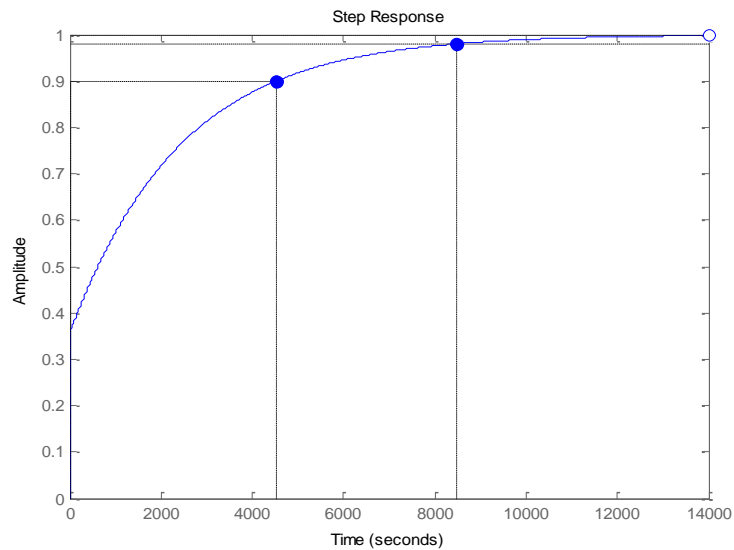


Figura 62: Curva de la función de transferencia del proceso de flujo.

$$kp = 4.73$$

$$ki = 0.59$$

$$kd = 6,59$$

$$Gp1 = pid(kp, ki, kd)$$

Controlador PID de tiempo continuo en forma paralela.

$$Gp1 = kp + \frac{ki}{s} + kd * s$$

Función de transferencia de tiempo continuo

step (Mc)

$$Mc = feedback(Gp1 * Gc, 1)$$

Mc =

$$\frac{6.689 s^3 + 4.809 s^2 + 0.6044 s + 0.0006873}{7.689 s^3 + 7.652 s^2 + 0.6055 s + 0.0006873}$$

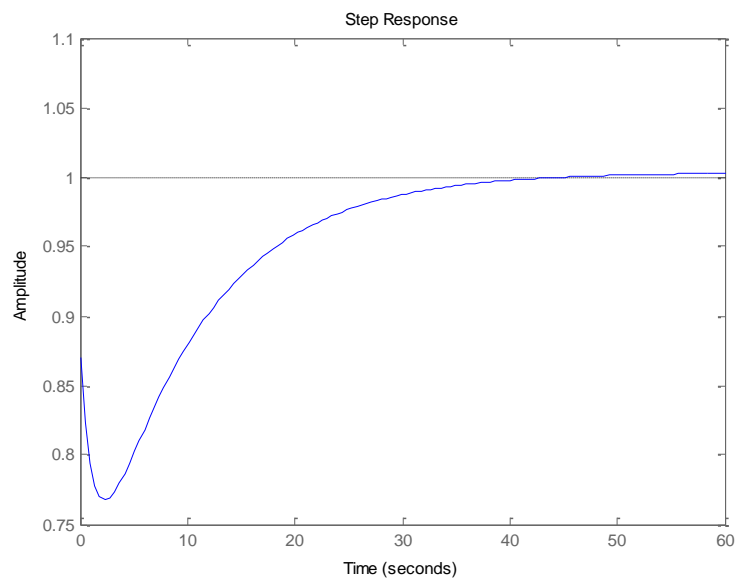


Figura 63: Curva del proceso de flujo con control PID.

	Valor de set point	Sobre pico máximo	Tiempo de estabilización	Tiempo de subida
Planta	31	0 %	$8.47e^3$ seg.	$4.54e^3$ seg
Control PID	31	0.3%	45 seg.	23,3 seg

Tabla 30: Resultados de la planta para el control de flujo

3.6 RESULTADOS

Una vez realizadas las pruebas en la planta del proceso de control y flujo se logró analizar los resultados del proceso control con el fin de cumplir con los objetivos planteados.

Mediante las 10 pruebas realizadas en la planta para la calibración del sensor 8 pruebas estuvieron dentro del rango de porcentaje aceptable siendo su mayor valor 1,62 cm de error con respecto al valor real y el valor medido según el elemento utilizado como se muestra en la tabla 23 y 24.

Los valores de medida por el sensor de nivel con respecto al valor real en el llenado del tanque varían entre un promedio de 1,2 cm siendo este valor una medida aceptable para realizar el proceso de control.

El error en la medida de flujo debe ser como máximo 1,2 l/min para determinar que la medida obtenida por el sensor sea aceptable como se muestra en la tabla 25 y 26.

Los valores de medida por el sensor de flujo con respecto al valor real en el llenado del tanque varían entre un promedio de 0,6 l/min siendo este valor una medida aceptable para realizar el proceso de control.

Mediante las pruebas realizadas en el software Matlab al momento de aplicar el controlador PID a la planta de proceso de control de nivel los valores de sobre pico máximo aumento de 0 a 4.94%, el tiempo de estabilización disminuyó de $1.47e^3$ a 523 seg y en el tiempo de subida 811 de 716 seg. de acuerdo a los parámetros obtenidos para logra un control sobre la salida del sistema.

Para el proceso de flujo el valor de sobre pico máximo aumentaron en un 0,3 %, el tiempo de estabilización disminuyo de $8.47e^3$ a 45 seg a y en el tiempo de subida de $4.54e^3$ a 23.3 seg.

Una vez realizadas las pruebas en la planta se obtiene como resultado que el error al momento de aplicar el controlador PID es de 1,5 cm aproximadamente con respecto a la referencia y el tiempo de estabilización es de 1 minuto con 70 seg para que logre alcanzar la medida deseada.

CONCLUSIONES

Obteniendo datos de medidas de entrada del sistema una vez calibrados los sensores y de salida a través del variador de frecuencia en el llenado de tanques, se define que el modelo de la planta es de segundo orden, modelo que se obtuvo de realizar la identificación de señales conocida como método de caja negra mediante el software Matlab.

Se consiguió obtener una correcta comunicación entre la pantalla HMI y el PLC S7-1200 mediante la red Profinet del laboratorio de Automatización, con lo cual se propicia la interacción entre ambos equipos.

Los parámetros del controlador hallado mediante el método de autosintonización, fue apropiado para realizar el control en la planta de regulación de nivel, por lo que se concluye que se utilizó una parte proporcional integral y derivativa para obtener un buen control del proceso de llenado de tanques a través de pruebas realizadas en la planta obteniendo un error de 1,5 cm con respecto a la referencia y la variable controlada de nivel y para el caudal un error de 3 litros/min de acuerdo a los componentes utilizados para el trabajo propuesto.

El controlador PID aplicado a la planta en el proceso de nivel mediante cada uno de sus componentes tanto la parte proporcional, integral y derivativa permitió disminuir a 526 seg el tiempo que tarda para llevar a cabo la acción correctiva y el tiempo de crecimiento a 176 seg en el sistema hasta llegar al set point de 35 cm de longitud. En el proceso de control de flujo el tiempo de estabilización es de 45 seg y el tiempo de subida de 23,3 seg.

RECOMENDACIONES

Para obtener el modelo de la planta, se recomienda adquirir la mayor cantidad de datos del sistema mediante la identificación de la señal de salida y de entrada, se recomienda utilizar método como el análisis experimental para la obtención analítica de la función de transferencia y así poder comparar los parámetros del controlador PID.

Cuando se utiliza la pantalla para manipular un proceso controlado por el PLC se debe evitar que se desconecte la pantalla HMI de la red Profinet porque se podría perder la comunicación y el control del sistema del proceso de nivel de llenado de tanques.

Siendo el sistema de control diseñado bajo el criterio de la autosintonización de parámetros utilizando el PLC, es necesario hacer ajustes al controlador permitiendo disminuir los tiempos de estabilización y de subida del sistema logrando que el error entre la variable de referencia y la variable de proceso llegue a cero modificando la parte integral, proporcional y derivativa por lo que se recomienda usar otros métodos como por ejemplo el método de ajuste y error determinando gráficamente los parámetros necesarios para el controlador o a su vez utilizar otros tipos de controladores aplicados en el campo industrial.

BIBLIOGRAFÍA

- Cendoya, M. G. (2012). *Introducción a los sistemas de control de procesos industriales*. Recuperado el 29 de Junio de 2017, de http://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/E0284/descargar.php?secc=0&id=E0284&id_inc=1344.
- Enríquez, F. N. (30 de Agosto de 2017). *Acciones de control*. Mexico. Recuperado el 1 de Julio de 2017, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/nunez_e_f/capitulo1.pdf
- Trejos, O. G. (2011). *Diseño, construcción y control de un sistema de almacenamiento de líquidos de segundo orden*. Pereira. Recuperado el 20 de julio de 2017, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2661/621317G463.pdf?sequence=1>
- Antonio, U. C. (Marzo de 2015). *Diseño e implementación de un prototipo de un sistema de automatización de llenado y distribución de botellas*. Guayaquil. Recuperado el 4 de Mayo de 2017, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10435/1/UPS-GT001526.pdfv>
- Mazzone, V. (2010). *Controladores PID*. Buenos Aires. Recuperado el 15 de Junio de 2017, de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/control1/web/Apuntes/PID.pdf>
- Aldaz, R. B. (Febrero de 2017). *Diseño y construcción de un módulo didáctico para control de nivel de líquidos*. Quito. Recuperado el 20 de Junio de 2017, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2774/1/CD-0578.pdf>
- Salazar, E. R. (2009). *Diseño y construcción de una interfaz de control nivel, temperatura y flujo de agua en un tanque*. Costa Rica. Recuperado el 2 de Junio de 2017, de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/537/DocumentoFinal.pdf?sequence=1>
- Diego, D. P. (7 de Agosto de 2010). *Sensores de distancia por ultrasonido*. Recuperado el 30 de Junio de 2017, de http://picmania.garcia-cuervo.net/recursos/redpictutorials/sensores/sensores_de_distancias_con_ultrasonidos.pdf
- Díaz, H. A. (2003). *Automatización Medio Ambiental*. Lima. Recuperado el 3 de Junio de 2017, de <http://www.liceus.com/cgi-bin/ac/pu/AutomatizacionMedioambiental.pdf>
- Cadena, C. X. (2006). *Diseño y construcción de un sistema inteligente de control de presión, nivel, temperatura y flujo en un sistema de agua de uso doméstico*. Latacunga. Recuperado el 3 de Julio de 2017, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4033/1/T-ESPEL-0145.pdf>
- Maltarollo, Y. (9 de Enero de 2014). *¿Cómo funcionan las electroválvulas o válvulas solenoides de uso general?* Recuperado el 3 de Julio de 2017, de <http://www.altecdust.com/blog/item/32-como-funcionan-las-electrovalvulas-o-valvulas-solenoides-de-uso-general>

- JuankFero. (2 de Abril de 2013). *Tutoría Virtual de A. Javier Barragán Piña*. Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de <http://uhu.es/antonio.barragan/content/modbus>
- Mayne, J. (2003). *Sistemas de comunicaciones*. Buenos Aires. Recuperado el 15 de Junio de 2017, de http://bairesrobotics.tripod.com/data/Sistemas_Comunicaciones_R3_Silica.pdf
- Villegas, R. (2010). *Siemens*. Alemania. Recuperado el 24 de Julio de 2017, de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/906/44880906/att_70367/v1/US_MII_MODBUS_AOM_OI_ES_es-ES.pdf
- Ruíz, V. A. (2002). *Ecuaciones para controladores PID universales*. Costa Rica. Recuperado el 23 de Mayo de 2017, de http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/documentos/pub_inv/articulos/valfaro02A.pdf
- Cova, I. W. (Diciembre de 2005). *Control PID*. La Rioja. Recuperado el 31 de Junio de 2017, de http://www.frlr.utn.edu.ar/archivos/alumnos/electronica/catedras/38-sistemas-de-control-aplicado/Publicaciones/Control_PID_Enfoque_Descriptivo.pdf
- Ramirez, J. A. (Mayo de 2012). *Regulador PID*. Madrid. Recuperado el 28 de Julio de 2017, de <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4fbd1db995748.pdf>
- Almanza Sánchez, Y. Á. (4 de Abril de 2006). *Sistema de instrumentación control y monitoreo de proceso industriales*. Mexico. Recuperado el 23 de Junio de 2017, de file:///C:/Users/Maximo/Downloads/UNO_unlocked.pdf
- raymirabel. (Diciembre de 2015). *Arduclema*. Recuperado el 23 de Junio de 2017, de <https://github.com/raymirabel/Arduclema/blob/master/README.md>
- Jhon. (2015). *DELTA AI*. Recuperado el Julio de 2017, de <http://deltaa1.net/tag/variador-de-frecuencia/>
- AccuDIY. (2011). *HC-SR04 Ultrasonic Range Finder*. Recuperado el 23 de Junio de 2017, de www.AccuDIY.com
- QuimiNet. (5 de Marzo de 2012). *QuimiNet.com*. Recuperado el 4 de Mayo de 2017, de <http://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-de-las-bombas-centrifugas-2701271.htm>
- Oscar Fernando Gil Trejos, D. R. (2011). *Diseño, construcción y control de un sistema de almacenamiento de líquidos de segundo orden*. Pereira. Recuperado el 23 de Mayo de 2017, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2661/621317G463.pdf;jsessionid=70C051CB2B8F6945F4B22729639E02E8?sequence=1>
- Siemens. (02 de 2013). *Tia Portal*. Recuperado el 30 de Julio de 2017, de http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/tia_portal/pages/tia-portal.aspx
- Moreira, M. A. (20 de Diciembre de 2012). *Aplicación del software matlab/simulink*. Guayaquil. Recuperado el 13 de Mayo de 2017, de

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/230/3/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-2.pdf>

MICRO. (11 de Abril de 2014). *Automatizacion y Control*. Recuperado el 31 de Julio de 2017, de http://www.microautomacion.com/catalogo/10Automatizacion_y_control.pf

Programas-gratis.net. (2017). Recuperado el 13 de Mayo de 2017, de <https://cadesimu.programas-gratis.net/>

Gaviño, R. H. (2010). *Introduccion a los Ssistemas de Control* (1 ed.). Mexico: PEARSON. Recuperado el 20 de Mayo de 2017, de http://www.frenteestudiantil.com/upload/material_digital/Introduccion%20a%20los%20Sistemas%20de%20Control%20-%20Hernandez.pdf

ASTROM, K. J. (2009). *Control PID Avanzado*. Madrid: PRENTICE-HALL. Recuperado el 23 de Julio de 2017, de <https://www.casadellibro.com/libro-control-pid-avanzado/9788483225110/1263586>

Ogata, K. (2010). *Ingenieria de control moderna* (5 ed.). España: PEARSON EDUCACIÓN, S.A. Recuperado el 23 de Julio de 2017, de http://www.frenteestudiantil.com/upload/material_digital/Ingenieria%20de%20Control%20moderna%20-%20Ogata%20-%205ta.pdf

Calderón, R. (26 de Abril de 2011). *Control automático para un depósito de agua*. Republica Dominicana. Recuperado el 1 de Agosto de 2017, de <http://www.monografias.com/trabajos85/controles-sistemaautomatico-utesa/controles-sistema-automatico-utesa.shtml>

Reyes, A. G. (12 de Diciembre de 2011). *Sistema Informatico interctivo para el control de los niveles de liquidos de tanques*. Guayaquil. Recuperado el 12 de Septiembre de 2017, de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/19179/1/MADOF_ResumenSenacyt.pdf

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1: Variables utilizadas en la programación del PLC.

Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"BOM_TRIF_ENCEN"	%Q84.1	Bool	
"ELECTROVALVULA_1"	%Q0.1	Bool	
"ELECTROVALVULA_2"	%Q0.2	Bool	
"ENCENDIDO"	%I0.0	Bool	
"ENCENDIDO_ELECTRO1"	%M88.0	Bool	
"INDICADOR_PARE"	%Q0.4	Bool	
"INDICADOR_INICIO"	%Q0.0	Bool	
"MEMORIA_ENCENDIDO"	%M6.0	Bool	
"PARE"	%I0.1	Bool	
"VELO_FRECUENCIA".FRECUENCIA[5]	%DB3.DBW10	Int	
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"MEMORIA_ENCENDIDO"	%M6.0	Bool	INDICADOR ENCENDIDO
"NIVEL_CM"	%MD22	Real	ENTRADA ANALOGA DE NIVEL
"NIVEL_ENTRADA"	%IW66	Int	
"NIVEL_ESCALADO"	%MD18	Real	
"VOLT_CAUDAL"	%MD62	Real	
#AUX		Real	
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"BOMBA_MONOFASICA"	%Q0.3	Bool	
"ELECTROVALVULA_2"	%Q0.2	Bool	
"MEMORIA_BOMBA"	%M7.0	Bool	
"MEMORIA_ENCENDIDO"	%M6.0	Bool	
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"MEMORIA_ENCENDIDO"	%M6.0	Bool	INDICADOR ENCENDIDO
"MULTIPLICADOR"	%MW90	Int	
"VARIADOR"	%MW41	Int	
"VARIDOR_R"	%MW94	Int	
"VELC_PORCT_VARIA"	%MD37	Real	SALIDA DEL CONTROL PID
"VELO_FRECUENCIA".FRECUENCIA[0]	%DB3.DBW0	Int	
#AUX		Real	

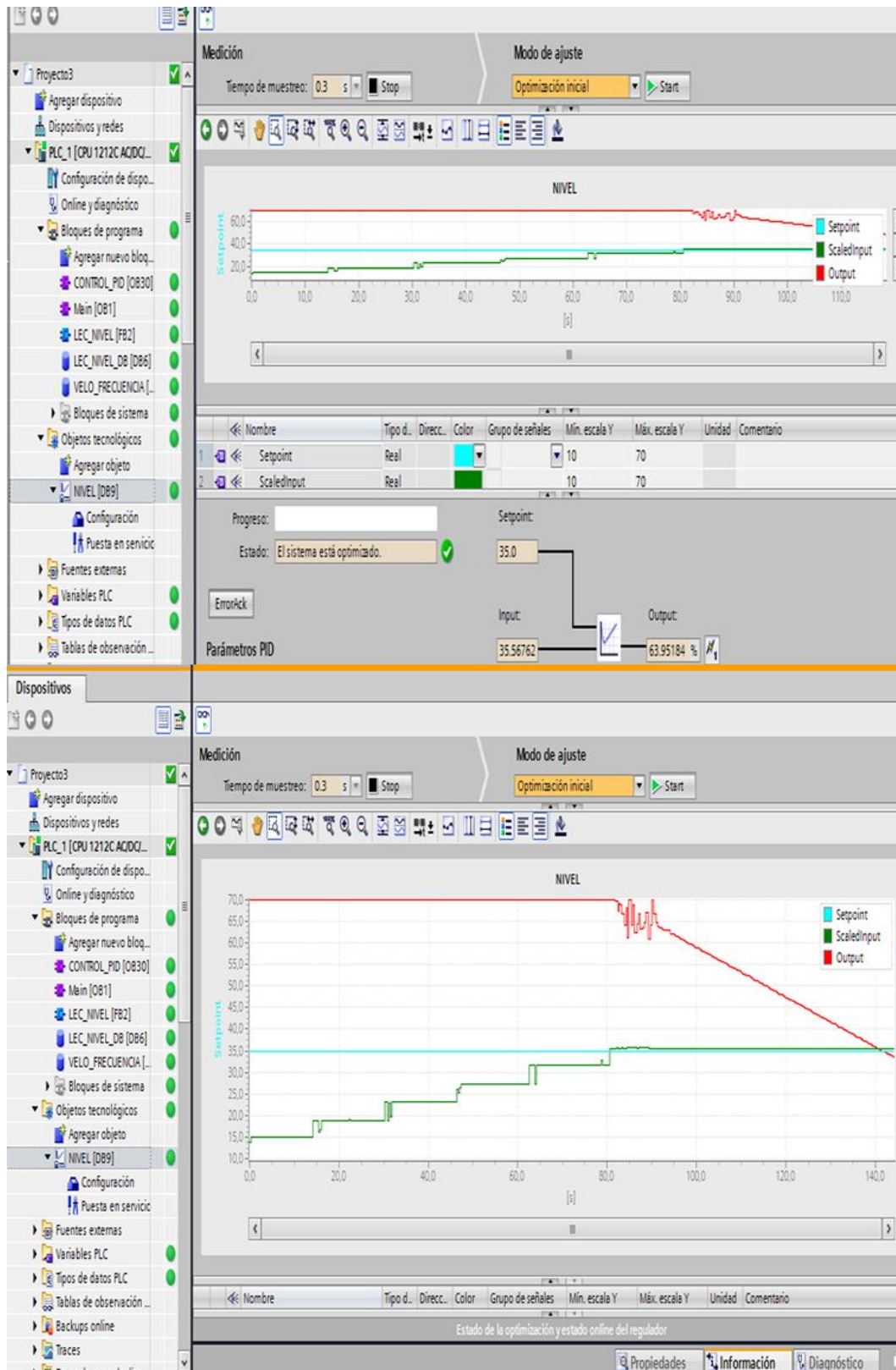
Anexo 2: Programa para conversión del sensor ultrasónico.

```
long distancia;//variable para distancia
long tiempo;//variable para tiempo
void setup()
{
  DDRD=B11111111;//activa salidas digitales.
  Serial.begin(9600);//velocidad de transmisión baudios*seg
  pinMode(9, OUTPUT); /*activación trigger del pin 9 como salida: para el pulso
ultrasónico*/
  pinMode(8, INPUT); /*activación eco del pin 8 como entrada: tiempo del rebote
del ultrasonido*/
}
void loop(){
  digitalWrite(9,LOW); /* Por cuestión de estabilización del sensor*/
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(9, HIGH); /* envío del pulso ultrasónico*/
  delayMicroseconds(10);
  tiempo=pulseIn(8, HIGH); /* Función para medir la longitud del pulso entrante.
Mide el tiempo que transcurrido entre el envío del pulso ultrasónico y cuando el
sensor recibe el rebote, es decir: desde que el pin 12 empieza a recibir el rebote,
HIGH, hasta que deja de hacerlo, LOW, la longitud del pulso entrante*/
  distancia= int(0.017*tiempo); /*fórmula para calcular la distancia obteniendo un
valor entero*/ /*Monitorización en centímetros por el monitor serial*/
  if ((distancia>6) )//mediciones de distancia para mayores a 6 cm
  {
    Serial.println("Distancia ");
    Serial.println(distancia);
    Serial.println(" cm");
    distancia=distancia/4;//la medida del sensor abarca hasta 70cm de longitud
//se divide para cuatro el valor para estar en el rango de 16 combinaciones
//que corresponden al cambio de 4 bits.
    distancia=distancia<<2;//el puerto D ESTA HABILITADO PARA QUE
REGOJA LOS DATOS A PARTIR DEL PIN 2
    PORTD=distancia;//se envía los datos al puerto D a través del pin 2 al pin 5
    delay(100);
  }
  else
  {
    PORTD = 0;//coloca en 0 todo el puerto D
  }
}
```

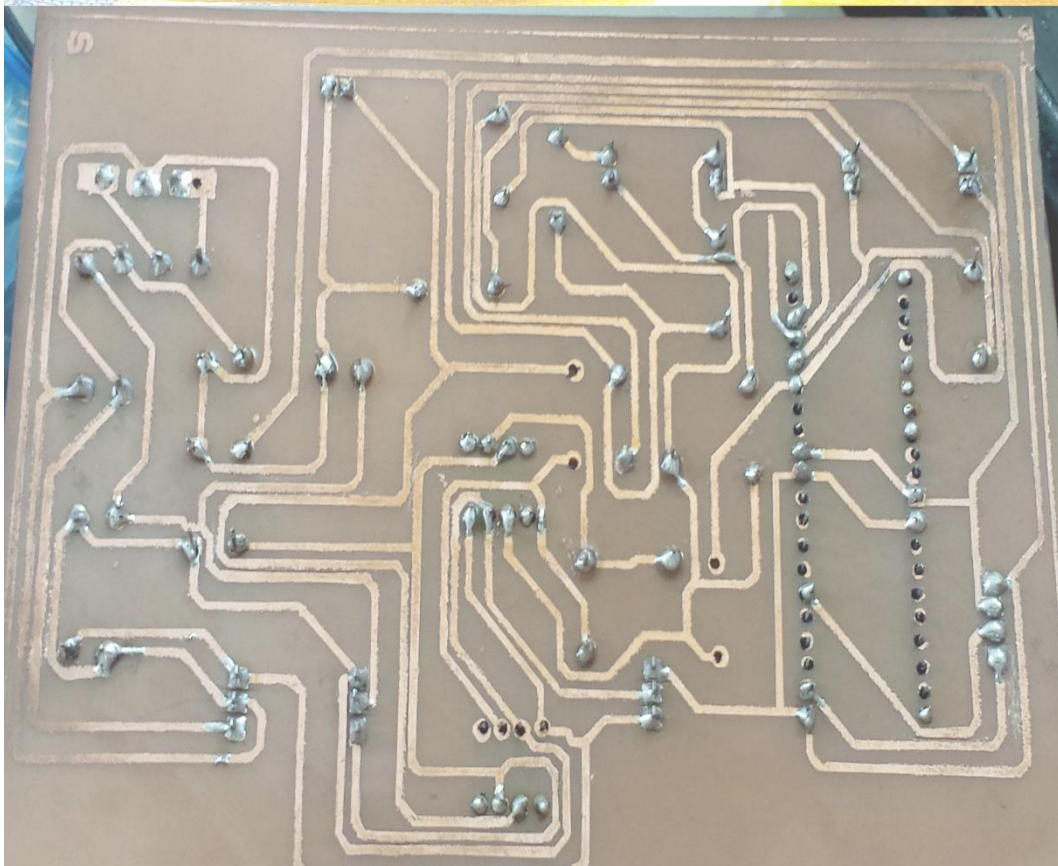
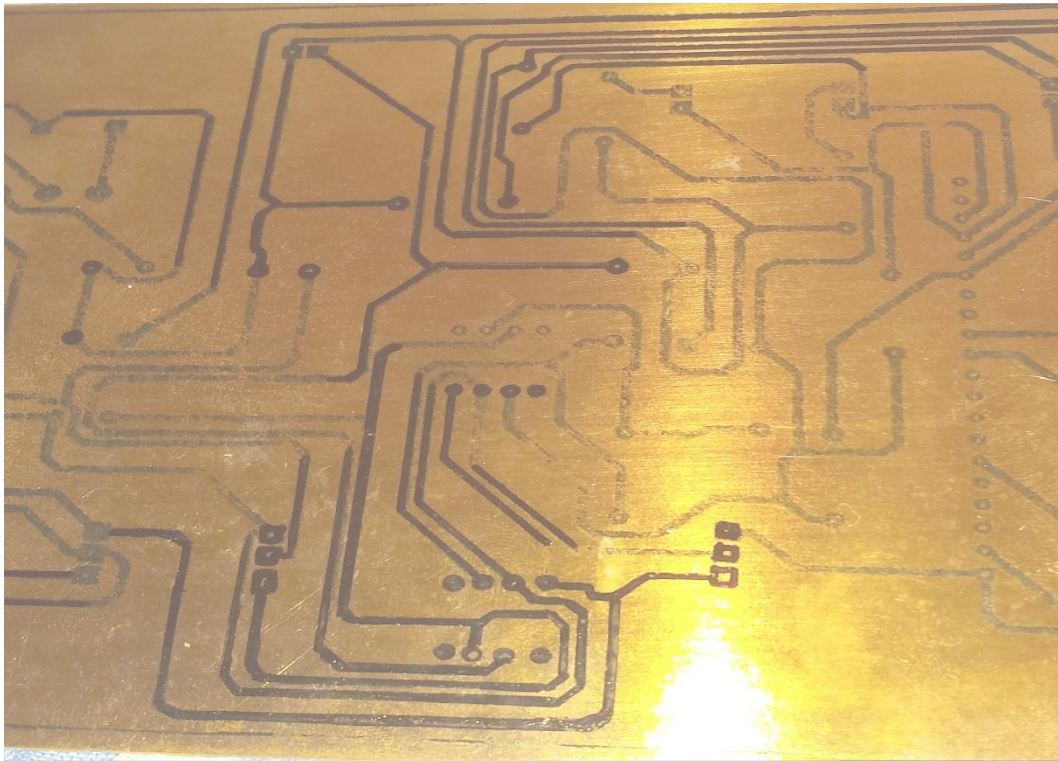
Anexo 3: Programa de conversión para el sensor de flujo.

```
program adc_zoila
"Ingreso del dato del caudalímetro y como resultado un valor binario que me
representa el valor en decimal de la entrada analógica
dim numflancos as byte      "variables para cambio de voltaje
dim rpm as integer" almacenamiento de velocidad
dim temp_res as word "variable temporal
  main:
numflancos=0 " inicialización de los cambios de veces de voltaje del caudalímetro
OSCCON=0x40 '//Oscilador interno a 1MHz.
ANSEL=0x00 '//Pines AN<6:0> como E/S digital.
  ANSELH = 0
  ANSEL = 0x04      ' Configure AN2 pin as analog
  C1ON_bit = 0      ' Disable comparators
  C2ON_bit = 0
  TRISA = 0xFF      ' PORTA is input
  TRISB = 0          ' PORTB is output
  TRISC = 0          ' PORTC is output
while true
  TMR0=0';          //Inicializa el registro TMR0.
  Delay_1sec());    //Cuenta durante 1 segundo.
  numflancos=TMR0'; //numflancos=velocidad en rps.
  rpm=numflancos*0.035'; //Transformación a rpm. velocidad
  temp_res = rpm    ' Get 10-bit results of AD conversion
  PORTC = temp_res  ' envio de la conversion de 8 bits al PORTC de la
medida de caudal
wend
en
```

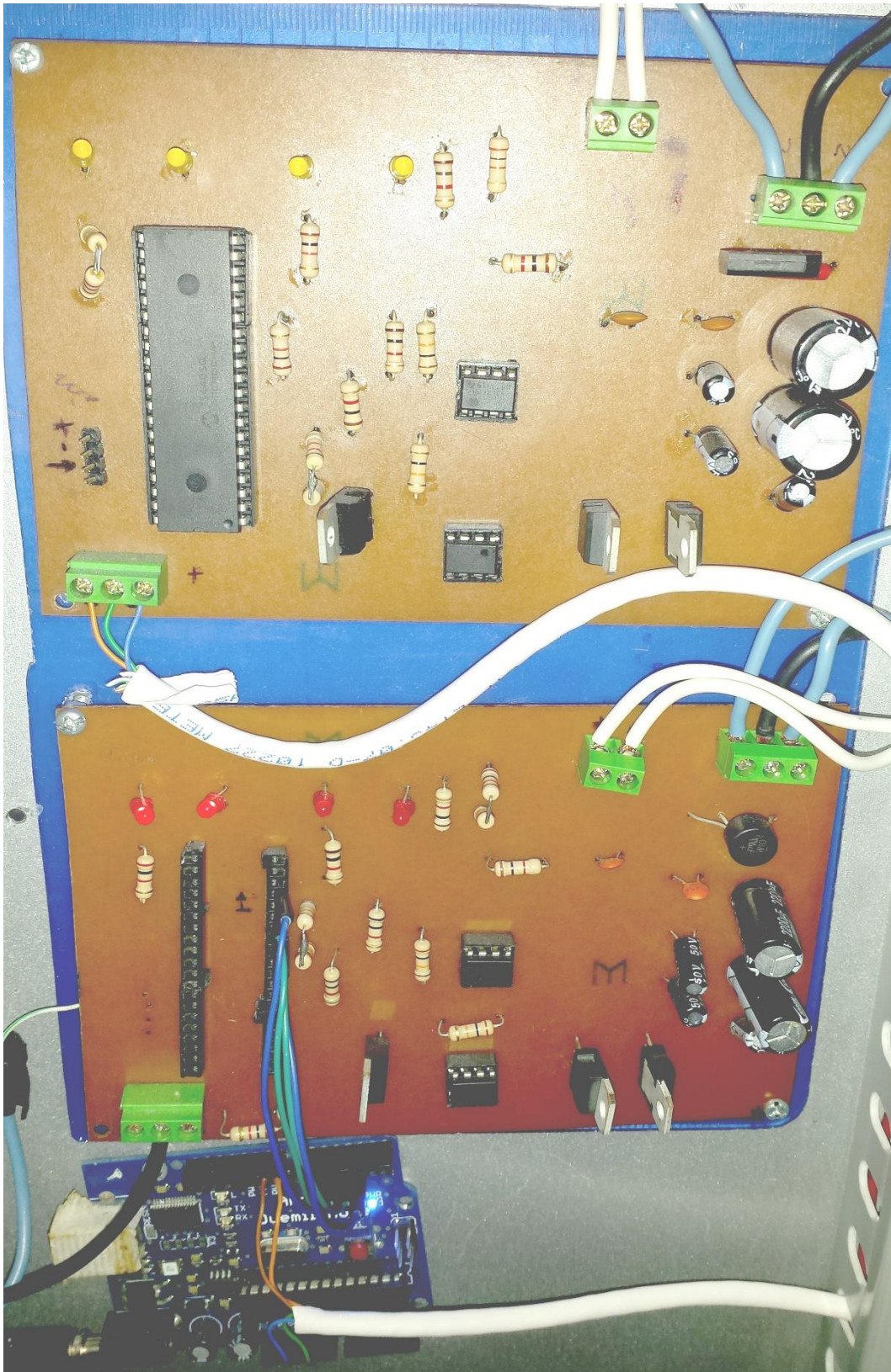
Anexo 4: Resultado de pruebas del control PID para el sistema control.



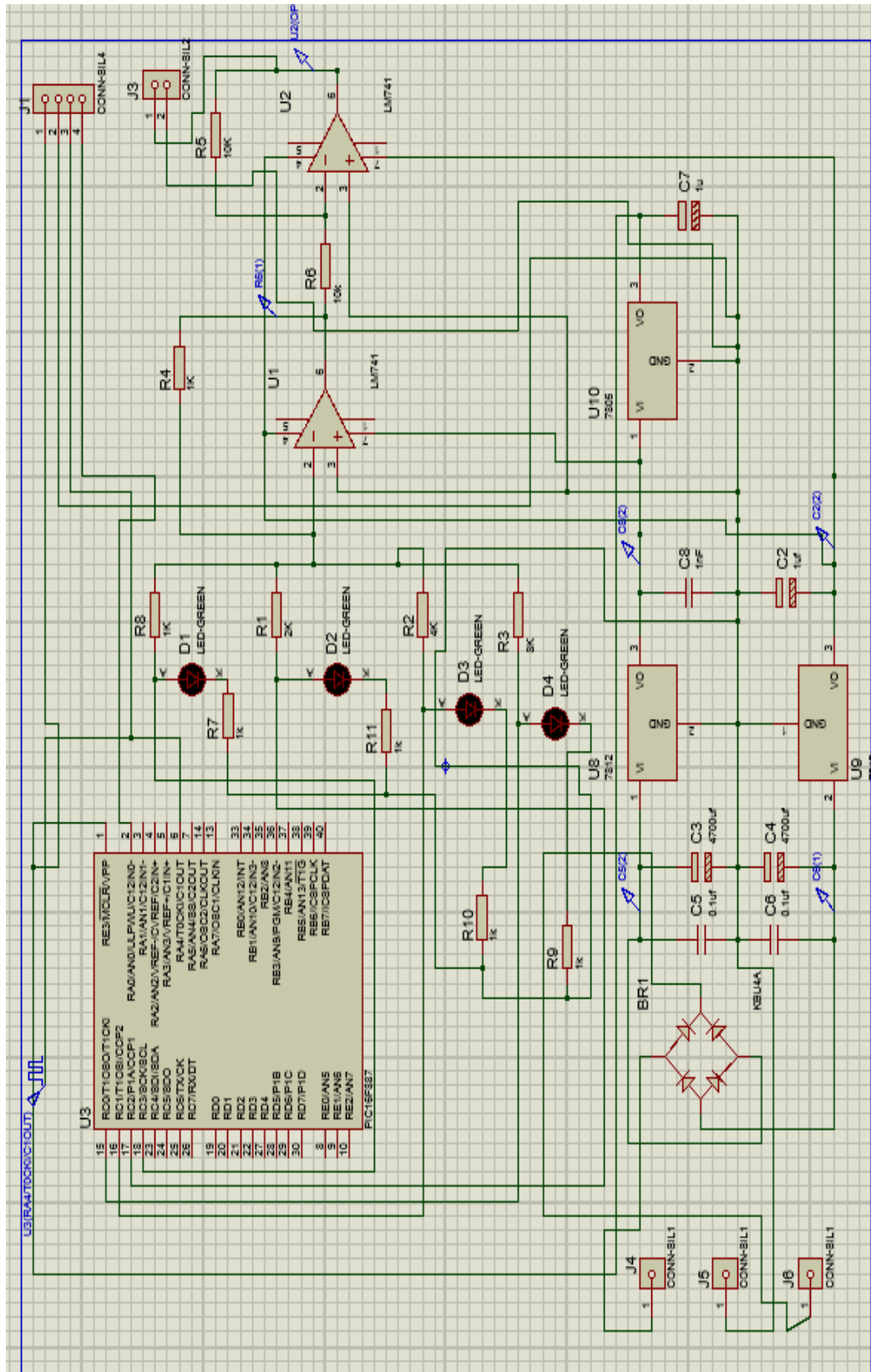
Anexo 5: Elaboración de placas para el conversor D/A



Anexo 6: Placa de conversor D/A Instaladas en el tablero de control.



Anexo 7: Diagrama del circuito eléctrico del conversores D/A, Proteus.



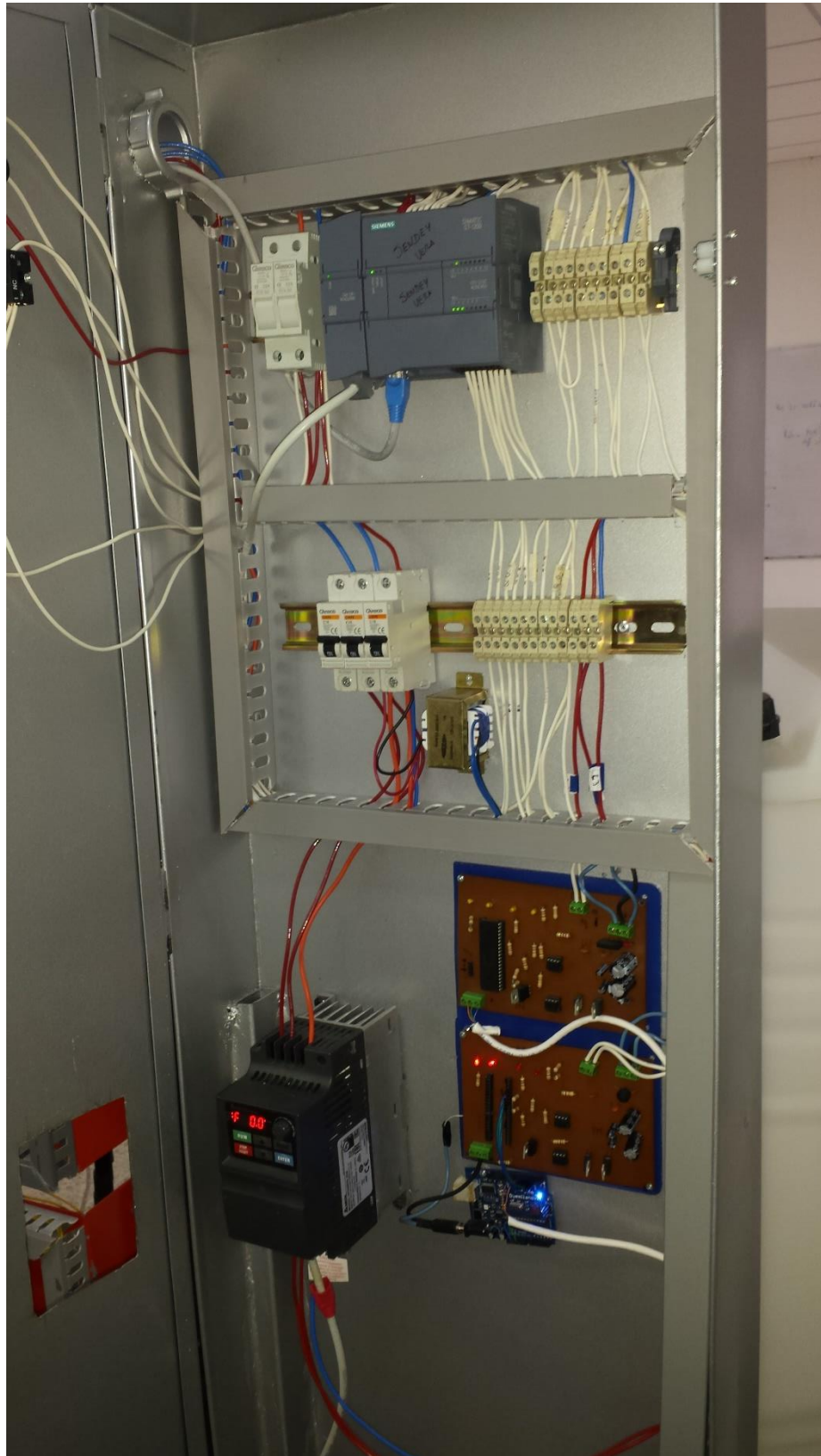
Anexo 8: Datos de sistema de los sensores y el variador

FLUJO	FRECUENCIA	NIVEL
0	0	8.00
0	0	8.00
0	2	8.00
0	2	8.00
0	3	8.00
0	3	8.4
0	4	8.9
0	4	9.00
0	5	9.5
2.62	6	9.8
2.62	6	10
2.65	7	10.5
2.65	8	10.7
2.65	9	11
2.65	10	11.4
2.65	10	11.7
2.65	11.5	12
2.65	12	12.3
2.65	12	12.6
4.45	13	13
4.48	13.5	13.4
4.53	14	13.7
4.53	14.5	14
4.53	15	14.8
17.36	27	15
17.36	27	15.5
17.87	28	16
17.87	29	16.7
17.87	29.5	17
17.87	30	17.4
4.53	16	18
4.53	16.5	18
8.84	17	18.5
9.11	17.5	18.8
9.11	18	19
9.11	19	19.4
9.11	19.5	19.8
9.11	20	20
13.29	21	21
13.29	21.5	22
13.29	22	23
13.29	22.5	24
13.68	23	25
13.68	23.5	26.5
13.68	24	27.8
13.68	24.5	29
13.68	25	30
17.36	26	31
17.36	26.5	32
22.53	38.5	33
22.53	39	33.6
22.53	39.5	34
22.53	40	35.8
26.9	41	36
26.9	41.5	36.7
17.87	31	37
17.87	31.5	37.5
17.87	32	38
17.87	32.5	38.8
17.87	33	39.4
17.87	34	40
17.87	34.5	41
22.53	35	41.7
22.53	36	42.3
22.53	36.5	43
22.53	37	43.5
22.53	38	44
26.9	48.5	44.7
31.56	49	45.4
31.56	49.5	45.9
31.56	50	46.3
31.56	51	47
31.56	51.5	47.4
26.9	42	48
26.9	42.5	49
26.9	43	50
26.9	44	51
26.9	44.5	52
26.9	45	52
26.9	45.5	53
26.9	46	53.6
26.9	46.5	54.2
26.9	47	56
26.9	47.5	56.5
26.9	48	57.2
31.56	52	58
31.56	52.5	58.5
31.56	53	59
31.56	53.5	61
31.56	54	61
34.99	54	62
34.99	55	63
34.99	56	64
34.99	56.5	65
35	57	66
35	58	67
35	58.5	68
35	59	69
35	59.5	70
35	60	71
35.00	60	72

Anexo 9: Elaboración del tablero de control



Anexo 10: Tablero de control del sistema para el proceso de nivel y flujo.



Anexo 11: Planta del proceso de control de nivel y flujo.

