

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**ELECTRÓNICA**



**MODERNIZACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL DE  
NIVEL, CON TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASÓNICO,  
PLC S7-1200 Y PANTALLA HMI, PARA EL CONTROL DE  
LAS VARIABLES: NIVEL Y FLUJO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADA POR**

**Bach. GUERRERO VALENZUELA, BERNARDO  
DIMAS**

**Asesor: Mg. Ing. GONZÁLEZ PRADO, JULIO CÉSAR**

**LIMA-PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mi esposa Mariá e hija Keith, quienes llegaron a mi vida para quedarse por siempre, siendo el motor y motivo en mi vida, gracias por todo su amor, consejos y apoyo incondicional para lograrlo juntos.

A mis padres Dimas y María Antonieta, por darme su amor y apoyo incondicional en todo momento de mi vida, sentando en mí, las bases de responsabilidad y deseos de superación, las cuales me permitieron crecer como ser humano, y profesionalmente.



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por llegar para morar en mi hogar en el mejor momento de nuestras vidas, para poder ahora permitirme decir que: “Todo lo puedo en Cristo que me fortalece” (Filipenses 4:13).

Al Ing. Humberto Chong, por su amistad y enseñanzas que me permitieron culminar este trabajo.

Al Dr. Ing. Pedro Huamaní, por su amistad, paciencia, e impulso para la elaboración de este trabajo.

A mi asesor Mg. Ing. Julio González, por la gentileza que tuvo en aceptar la asesoría y la importante colaboración en la elaboración de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Problemática.....	2
1.1.1. Problema General .....	2
1.1.2. Problemas Específicos .....	2
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo General .....	3
1.2.2. Objetivos Específicos .....	3
1.3. Importancia y justificación.....	3
1.3.1. Importancia.....	3
1.3.2. Justificación .....	4
1.4. Alcances y limitaciones.....	4
1.4.1. Alcances .....	4
1.4.2. Limitaciones .....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes del estudio de investigación .....	6
2.1.1. Antecedentes Nacionales .....	6
2.1.2. Antecedentes Internacionales .....	7
2.2. Bases teóricas relacionadas con el tema .....	9
2.2.1. Sistemas de Control .....	9
2.2.2. Control P, PI y PID.....	10
2.2.3. Métodos de Sintonía de Controladores PID .....	13
2.2.4. Control en Cascada.....	16
2.2.5. Hardware PLC Simatic S7 1200.....	18
2.2.6. Sensor de Flujo .....	19
2.2.7. Transmisor de Flujo Electromagnético .....	20
2.2.8. Sensor de Nivel.....	21
2.2.9. Transmisor de Nivel Ultrasónico.....	22
2.3. Hipótesis .....	24

2.3.1.	Hipótesis General .....	24
2.3.2.	Hipótesis Específicas .....	24
2.4.	Variables de Estudio .....	25
2.5.	Tipo y método de investigación .....	25
2.5.1.	Tipo de investigación .....	25
2.5.2.	Método de investigación.....	25
2.5.3.	Diseño de investigación.....	25
2.6.	Instrumento de recolección de datos .....	26
2.7.	Técnicas de recolección de datos.....	26
2.8.	Definición de términos .....	26
CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....		28
3.1.	Módulo de control de nivel del Laboratorio de Control .....	28
3.2.	Configuración del transmisor de nivel ultrasónico .....	34
3.3.	Creación de proyecto y configuración de equipos Siemens.....	35
3.4.	Escalamiento de señales análogas e ingreso del punto de consigna o set-point.	37
3.5.	Creación de botones de encendido y apagado en el bloque organizacional principal OB1. ....	39
3.6.	Control en cascada de los lazos de control primaria y secundaria.....	39
3.7.	Programación de la pantalla HMI. ....	41
3.8.	Configuración del servidor web del PLC.....	44
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS .....		52
4.1	Análisis del resultado con valor set-point de 1300mm. ....	54
4.2	Análisis del resultado con valor set-point de 1400mm. ....	55
4.3	Análisis del resultado con valor set-point de 1500mm. ....	57
4.4	Análisis del resultado con valor de set-point de 1300mm con perturbaciones. ...	59
4.5	Análisis del resultado con valor de set-point de 1400mm con perturbaciones. ...	59
4.6	Análisis del resultado con valor de set-point de 1500mm con perturbaciones. ...	60
4.7	Presupuesto .....	62
CONCLUSIONES .....		63

RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
ANEXOS .....	71
Anexo 1: Hoja técnica PLC Siemens S7 1200 CPU AC-DC-RLY .....	72
Anexo 2: Hoja técnica Transmisor de Nivel Ultrasónico SGM Lektra modelo Meter2F4A .....	76
Anexo 3: Especificaciones Transmisor de Flujo Electromagnético Yokogawa AXF025G .....	78
Anexo 4: Hoja técnica posicionador inteligente para válvula.....	80
Anexo 5: Hoja técnica Siemens SB 1232 AO.....	82
Anexo 6: Hoja técnica Siemens SM 1231 AI .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Sistema de Control de Lazo Abierto. ....	9
Figura N° 2: Sistema de Control de Lazo Cerrado. ....	10
Figura N° 3: Control PID de una planta. ....	13
Figura N <sup>a</sup> 4: Diagrama de bloque del método Relé de Åström y Hägglund .....	15
Figura N <sup>a</sup> 5: Diagrama de bloques de un sistema con control en cascada. ....	17
Figura N <sup>a</sup> 6: Diagrama de bloques de la arquitectura en cascada. ....	17
Figura N° 7: Fotografía del controlador Simatic S7 1200. ....	19
Figura N° 8: Ley de Faraday en una tubería de fluido. ....	20
Figura N° 9: Transmisor de flujo electromagnético ADMAG AXF. ....	21
Figura N° 10: Representación del volumen del líquido. ....	22
Figura N° 11: Márgenes de detección de un sensor ultrasónico. ....	23
Figura N° 12: Transmisor de nivel ultrasónico SGM-LEKTRA. ....	24
Figura N° 13: Esquema del módulo de control en Cascada para las variables nivel y flujo. ....	29
Figura N° 14: Implementación final del módulo de control de nivel. ....	31
Figura N° 15: Diagrama de bloques y disturbios del módulo de control. ....	32
Figura N° 16: Diagrama PFD del módulo de control. ....	32
Figura N° 17: Diagrama P&ID del módulo de control. ....	33
Figura N° 18: Conexión del modem HART para la configuración del transmisor de nivel ultrasónico. ....	34
Figura N° 19: Ingreso de valores mínimo y máximo a medir por el transmisor de nivel ultrasónico, mediante el software DevCom2000. ....	35
Figura N° 20: Creación de proyecto. ....	36
Figura N° 21: Ingreso de módulos Siemens adicionales al proyecto. ....	36
Figura N° 22: Pantalla Siemens KTP 700 Basic del proyecto. ....	37
Figura N° 23: Escalamiento de las señales análogas .....	38
Figura N° 24: Definición de botones de encendido y apagado .....	40
Figura N° 25: Programación del Lazo Primario .....	41
Figura N° 26: Programación del Lazo Secundario .....	41
Figura N° 27: Imagen raíz de la pantalla HMI. ....	42
Figura N° 28: Variables asignadas en la pantalla HMI. ....	43
Figura N° 29: Edición del archivo webserver71200.htm. ....	44



Figura N° 30: Ubicación del archivo webserver71200.htm.....	45
Figura N° 31: Generación de bloques necesarios del servidor web del PLC.....	46
Figura N° 32: Creación de usuario administrativo del servidor web del PLC.....	46
Figura N° 33: Verificación del estado del PLC desde un computador. ....	47
Figura N° 34: Interacción de las variables del PLC desde un computador.....	48
Figura N° 35: Página de acceso remoto al PLC desde un computador.....	48
Figura N° 36: Verificación del estado del PLC desde un dispositivo móvil. ....	49
Figura N° 37: Interacción de las variables del PLC desde un dispositivo móvil.....	50
Figura N° 38: Página de acceso remoto al PLC desde un dispositivo móvil.....	51
Figura N° 39: Valores del controlador primario. ....	53
Figura N° 40: Valores del controlador secundario.....	53
Figura N° 41: Comportamiento del controlador primario con set-point 1300mm.....	54
Figura N° 42: Comportamiento del controlador secundario con set-point 1300mm. ....	55
Figura N° 43: Comportamiento del controlador primario con set-point 1400mm.....	56
Figura N° 44: Comportamiento del controlador secundario con set-point 1400mm. ....	57
Figura N° 45: Comportamiento del controlador primario con set-point 1500mm.....	58
Figura N° 46: Comportamiento del controlador secundario con set-point 1500mm. ....	58
Figura N° 47: Comportamiento del controlador primario con set-point 1300mm, con perturbaciones. ....	60
Figura N° 48: Comportamiento del controlador primario con set-point 1400mm, con perturbaciones. ....	61
Figura N° 49: Comportamiento del controlador primario con set-point 1500mm, con perturbaciones. ....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Tabla de ajuste en bucle cerrado de los parámetros de un controlador PID propuesto por Ziegler-Nichols. ....	14
Tabla N° 2: Principales características de las pruebas realizadas. ....	59
Tabla N° 3: Principales características de las pruebas realizadas con perturbación. ....	62
Tabla N° 4: Tabla de costo.....	62

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1: Salida para el control Proporcional.....	10
Ecuación N° 2: Función de transferencia Proporcional .....	11
Ecuación N° 3: Salida para el control Integral.....	11
Ecuación N° 4: Función de transferencia Integral .....	11
Ecuación N° 5: Salida para el control Proporcional Integral .....	12
Ecuación N° 6: Función de transferencia PI .....	12
Ecuación N° 7: Algoritmo PID .....	13
Ecuación N° 8: Ganancia última para el método relé. ....	15
Ecuación N° 9: Voltaje generado en conductor .....	20
Ecuación N° 10: Volumen de líquido en tanque .....	22
Ecuación N° 11: Distancia de cuerpo reflejante .....	22
Ecuación N° 12: Velocidad de propagación de la onda sonora. ....	23

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, describe la implementación y configuración del módulo didáctico de control de nivel del Laboratorio de Control de la Universidad Ricardo Palma, para el control, medición y monitoreo de las variables nivel y flujo, a partir de los nuevos equipos adquiridos, como el transmisor industrial de nivel ultrasónico, PLC S7 1200, pantalla HMI y módulos de entrada y salida análoga para S7 1200, aplicando para esto una estrategia de control en cascada y con ello lograr el control del nivel de agua del tanque principal; así también lograr el control y monitoreo a través de la pantalla HMI, utilizando también la nueva aplicación incorporada que es el servidor web con que cuenta el PLC. Se elaboró el esquema de conexión de los diferentes equipos y módulos a utilizar; luego se eligió los parámetros necesarios de configuración, de los equipos con protocolo HART para su correcto funcionamiento; seguido se analizó la programación en el nuevo software también adquirido con los equipos el cual es el STEP 7 BASIC V.14, donde se plasmó el esquema eléctrico, luego se procedió con el escalamiento de las señales analógicas; se realizaron varias pruebas de sintonización con los parámetros de control PID de la variable nivel y flujo, los cuales fueron ingresados en la ventana de configuración de cada uno de ellos, habilitando la activación de entrada manual para ingresar nuevos valores en reemplazo a los iniciales por defecto del programa, con el fin de obtener una respuesta más próxima al punto de consigna. La mejor respuesta del proceso se obtuvo con un procedimiento de prueba y error, comenzando con el lazo primario y continuando con el lazo secundario, y partiendo de la proporción de ganancias proporcionales de 1:4. De esta manera, los mejores valores de sintonización alcanzados son los siguientes:

Controlador Primario: Ganancia Proporcional  $K_p=0.25$ , Constante Integral  $K_i=10.31$  y Constante Derivativo  $K_d=0$ .

Controlador Secundario: Ganancia Proporcional  $K_p=2.5$ , Constante Integral  $K_i = 0$  y Constante Derivativo  $K_d=0$ .

**Palabras claves:** Control PID, PLC S7-1200, Touch Screen HMI, Software Step 7.

## ABSTRACT

This research work describes the implementation and configuration of the didactic module for level control of the Control Laboratory of the Ricardo Palma University, for the control, measurement and monitoring of the variables level and flow, from the new equipment acquired, as the ultrasonic level industrial transmitter, S7 1200 PLC, HMI screen and analog input and output modules for S7 1200, applying a cascade control strategy to achieve control of the water level of the main tank; so also achieve control and monitoring through the HMI screen, also using the new built-in application that is the web server that has the PLC. The connection scheme of the different equipment and modules to be used was elaborated; then the necessary parameters of configuration were chosen, of the equipment with HART protocol for its correct operation; The programming was then analyzed in the new software also acquired with the equipment, which is STEP 7 BASIC V.14, where the electrical diagram was created, then the analog signals were scaled; several tuning tests were performed with the PID control parameters of the variable level and flow, which were entered in the configuration window of each of them, enabling the activation of manual entry to enter new values in replacement of the initials by defect of the program, in order to obtain a response closer to the set point. The best response of the process was obtained with a trial and error procedure, starting with the primary loop and continuing with the secondary loop, and starting from the proportion of proportional gains of 1: 4. In this way, the best tuning values achieved are the following:

Primary Controller: Proportional Gain  $K_p = 0.25$ , Integral Constant  $K_i = 10.31$  and Derivative Constant  $K_d = 0$ .

Secondary Controller: Proportional Gain  $K_p = 2.5$ , Integral Time  $K_i = 0$  and Derivative Constant  $K_d = 0$ .

**Keywords:** PID Control, PLC S7-1200, Touch Screen HMI, Step 7 Software.

## INTRODUCCIÓN

El control de nivel tiene como objetivo asegurar el mantenimiento del nivel en un valor predeterminado por el usuario, y para este caso, el nivel a mantener es del agua del tanque principal del módulo didáctico de control de nivel del Laboratorio de Control de la Universidad Ricardo Palma, el cual sirve para fines didácticos y demostrativos.

En el año 2012, los alumnos del curso de Sistemas de Automatización Industrial de la carrera de Ingeniería Electrónica, construyeron el módulo de control de nivel para el Laboratorio de Control en donde fue utilizado el controlador lógico programable (PLC) S7-200 en un lazo de control con la variable nivel, mediante un transmisor ultrasónico. Para el año 2017 el Laboratorio de Control adquirió los nuevos modelos PLC S7-1200 con interface hombre máquina (HMI) Siemens KTP 700 Basic color, los que se utilizarán para la presente investigación utilizando dos lazos de control para las variables nivel y flujo, programadas en el nuevo software Step 7 Basic V.14, donde se aprovechan las nuevas herramientas que presentan estos equipos como la comunicación profinet y servidor web del PLC.

El Área de Control y Automatización de Procesos, es una rama muy importante en la especialización del estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica, es por ello que esta investigación proporcionará los elementos básicos en forma práctica de un control de nivel tal cual lo pueden encontrar en el ámbito laboral en las empresas que utilizan la automatización industrial, tales como el sector minero, petróleo, gas, etc, donde aparte de la labor de control también podrán monitorear mediante la programación de la pantalla HMI, y el acceso remoto, mediante el servidor web que brinda el propio PLC.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1. Problemática**

En la actualidad el módulo de control de nivel del Laboratorio de Control de la URP, trabaja con un PLC S7-200, cuya adquisición data del año 2003, y cuyo software para su programación es el Step 7 Micro/WIN V4.2 para Windows XP o Windows 2000 SP2, sistema operativo con que ya no cuentan las computadoras, razón por la cual ya no se permite la visualización de la programación, ni uso en su reprogramación con fines educativos ante la modernidad de equipos de cómputo con que cuenta en la actualidad el Laboratorio de Control. Por tal razón, se propone a través de este proyecto de investigación, el uso, instalación, programación y configuración adecuada de los modernos equipos PLC S7-1200 y HMI Siemens KTP 700 Basic color; y la configuración adecuada del transmisor de nivel ultrasónico SGM Lektra modelo METER2F4D adquirido también para este proyecto.

### **1.1.1. Problema General**

¿Cómo modernizar el módulo de control de nivel del Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, para hacer uso de equipos e instrumentos de campo recientemente adquiridos?

### **1.1.2. Problemas Específicos**

- a) ¿Cómo modernizar el módulo de control de nivel del Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma de tal manera que se pueda sustituir por equipos e instrumentos de campo recientemente adquiridos por la carrera de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma?
- b) ¿De qué manera se podrá establecer las variables primaria y secundaria para una estrategia de control en cascada propuesta sobre el módulo de control de nivel, así como la respectiva programación del PLC para el correcto funcionamiento del mismo?

- c) ¿Cómo programar la pantalla táctil HMI para visualizar la variable del proceso, el set-point y la variable de control, así como para interactuar con el módulo de control de nivel, para el encendido y apagado de este?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Modernizar el módulo de control de nivel del Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, haciendo uso de equipos e instrumentos de campo recientemente adquiridos.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- a) Modernizar el módulo de control de nivel del Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma sustituyéndolo por equipos e instrumentos de campo recientemente adquiridos por la carrera de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma.
- b) Reemplazar los instrumentos y equipos del módulo de control FI-URP por un transmisor de nivel ultrasónico con protocolo de comunicación Hart, PLC S7 1200, módulos analógicos de entrada y salida, y programación Tia Portal.
- c) Establecer las variables primaria y secundaria para la estrategia de control en cascada propuesta sobre el módulo de control de nivel, así como la respectiva programación del PLC para el correcto funcionamiento del mismo.
- d) Programar la pantalla táctil HMI para visualizar la variable del proceso, el set-point y la variable de control, así como para interactuar con el módulo de control de nivel, para el encendido y apagado de este.

## **1.3. Importancia y justificación**

### **1.3.1. Importancia**



Este proyecto es trascendente debido a que, con la utilización de los modernos equipos adquiridos recientemente por el Laboratorio de Control, tales como el Siemens PLC S7-1200, la pantalla HMI KTP 700 Basic color, y el transmisor de nivel ultrasónico SGM Lektra modelo METER2F4D, implementados en el módulo de control de nivel, ayudará a los estudiantes a realizar prácticas de automatización e instrumentación con la tecnología actual que encontrarán, en un ambiente laboral en las áreas de instrumentación y automatización.

Los estudiantes podrán investigar los nuevos atributos con los que cuentan los equipos adquiridos por el Laboratorio de Control, tal como la comunicación profinet, servidor web, entre otros.

### **1.3.2. Justificación**

El presente documento aporta información útil en la solución del problema que acontecía en el Laboratorio de Control, debido a que el módulo de control de nivel no era utilizado ante la obsolescencia del software para poder controlarlo, así mismo se aprovecha los nuevos atributos adicionales con que cuenta el nuevo PLC S7-1200, como el servidor web que se ha implementado en el presente trabajo, así también se ha adicionado la utilización de una pantalla HMI KTP 700 Basic color para el monitoreo y control complementario al módulo de control de nivel.

Además, mejorar la eficacia del control del nivel, al implementarse un control tipo cascada, en donde se ingresaron adecuadamente los valores necesarios tanto para el lazo de control primario, como el lazo secundario.

## **1.4. Alcances y limitaciones**

### **1.4.1. Alcances**

El presente proyecto se desarrolla dentro del Laboratorio de Control, utilizándose el módulo didáctico de control de nivel para líquidos en la Universidad Ricardo Palma, para permitir a las carreras de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica interesados en el área de automatización e instrumentación electrónica, a profundizar sus conocimientos en control en

cascada y sintonización del controlador en forma práctica, para las dos variables industriales: nivel y flujo.

#### **1.4.2. Limitaciones**

El presente proyecto ha sido implementado durante el año 2018 en el aula G-309 lugar donde se ubica el módulo de control de nivel, siendo este ambiente utilizado para las experiencias de laboratorio del área de Control, y debido a esta razón se dispuso solo de las pocas horas libres del mismo ambiente para la implementación del proyecto; así también se cuenta con tan solo un módulo de control de nivel, lo cual limita el número de alumnos que podrán interactuar con el módulo, en su manipulación, análisis del tipo de control implementado y configuración de equipos utilizados, así mismo no se cuenta con más controladores, paneles HMIs y transmisores de flujo para tener más módulos de control para su mejor aprendizaje e interacción de los alumnos.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio de investigación

#### 2.1.1. Antecedentes Nacionales

Campos, D. & Gonzalez, M. (2014), en la tesis: Implementación de un Sistema de Monitoreo y Control de un Módulo de Medición de Nivel a través de un Sistema SCADA.

Logra implementar un sistema de control y monitoreo del módulo de medición de nivel que se encuentra en el Laboratorio de Control de la Universidad Ricardo Palma, utilizando los antiguos equipos del Laboratorio de Control, Siemens S7-200, y módulo de entrada y salidas analógicas EM 235, además que realiza la adquisición y generación de datos a partir de un software SCADA Labview mediante la utilización de un servidor OPC, para poder monitorear y controlar solo una variable industrial, y asimismo mostrando valores en tiempo real de la variable, logrando como resultado final la implementación de una estrategia de control del tipo proporcional e integral (PI); y también se pudo cumplir con el objetivo de ayudar a los alumnos en mejorar el nivel de practica en automatización como se pudiera encontrar en un ambiente laboral.

Gómez, O. & Betalleluz, A. (2015), en la tesis: Sintonización de un PID para Controlar Remotamente la Variable Nivel en un Módulo Educativo.

Desarrollado en el Laboratorio de Control de la URP, construyeron su propio módulo de control de nivel a pequeña escala, teniendo como objetivo la sintonización de un controlador PID, mediante los métodos de ganancia límite y método del tanteo, para el control de una manera remota de la variable nivel con el software Team Viewer, y utilizando para la adquisición de datos la tarjeta de National Instruments NI USB-6008. Para esto implementaron en una interfaz gráfica con el software Labview, realizándose todo, con la finalidad que el alumno pueda entender como es la sintonía de un PID para los métodos de Ganancia Límite y de Tanteo; finalmente logran

concluir al comparar los resultados obtenidos de la sintonización, que el método del tanteo es mucho mejor, ya que presenta muy poco valor de error en estado estacionario, pese a tener mayor tiempo de estabilización con respecto al método de ganancia límite.

Dávila, E. & Tasayco, H. (2017), en la tesis: Implementación de una Estrategia de Control en Cascada para el Nivel de Agua, en el Módulo Didáctico del Laboratorio de Control-URP.

Implementan una estrategia de control en cascada para el control de nivel de agua por medio de un transmisor de presión diferencial de marca Yokogawa, ubicado en la parte inferior del tanque principal, y controlado por válvula proporcional, concluyendo que conforme la columna de agua en el tanque de medición va aumentando generará una presión hidrostática, que es censado por el transmisor de presión diferencial, independientemente de la anchura del tanque, esta presión realiza una interpolación lineal que será interpretado en centímetros de nivel, obteniendo como resultado final que ambos lazos de control nivel y flujo fueron implementados con una estrategia de control del tipo proporcional e integral (PI).

### **2.1.2. Antecedentes Internacionales**

Astudillo, R. (2016), en el trabajo de grado titulado: Diseño e Implementación de un Prototipo de Medidor de Nivel de Agua a través de un Sensor Ultrasónico para Pasos Deprimidos.

En este trabajo se realiza el diseño e implementación de un prototipo para la medición de nivel de agua a través de un sensor ultrasónico para pasos a desnivel, usando para su procesamiento el arduino uno conjuntamente con el microcontrolador atmega 328p, y mediante módulo GSM se enviaron mensajes de texto a un número telefónico predeterminado cuando alcance tres niveles de agua previamente configurados. Y con esto se podrá prevenir accidentes de tránsito que podrían ocasionarse debido a las inundaciones en los pasos a desnivel en la ciudad de Quito, el resultado final fue la contribución a la reducción de accidentes de tránsito generado por

inundaciones, debido a que los conductores están más informados de la altura del agua y tomaran sus precauciones.

Bohorquez, K. Fonseca, D & Gutiérrez, S. (2017), en el trabajo de grado: Sistema Didáctico para el Control de Nivel con Tanques Acoplados.

El trabajo realiza el diseño y construcción de un sistema para el control, medición y monitoreo de variables nivel y flujo, empleando sensores de ultrasonido para la medición del nivel de cada tanque, contando con un sistema de desagüe dado por dos válvulas manuales una en cada tanque, las que se encargaran de realizar perturbaciones al sistema y al proceso de vaciado; es usado el software LabView 2016 como interfaz gráfica para el monitoreo en tiempo real, implementándose para el Laboratorio de Control de la Universidad Católica de Colombia, a partir de la visita técnica internacional al Canal de Panamá que realizaron la cual contribuyó dando ideas relacionado al funcionamiento de las compuertas y de cada uno de los sistemas de control que se implementaron; presentando como resultado final, dos guías de trabajo para el estudiante aplicando conceptos de control.

Cachumba, G. (2019), en el proyecto para obtención de grado: Implementación de un Prototipo para el Control Automático de Nivel de Agua para Tanques de Almacenamiento con Interfaz HMI.

El proyecto muestra la implementación de un control de nivel mediante una pantalla HMI. En donde se automatizó un proceso de lavado de tanques de tratamiento de agua potable ubicada en la Loma Puengasí (Quito - Ecuador), para el cual se utilizaron sensores de nivel, para la toma de acciones dependiendo de la necesidad, y con la ayuda del HMI se pudo realizar las acciones de manera manual o automático; donde en el lavado manual, uno activará la apertura o cierre de la válvula, mientras que en lavado automático todo el proceso es realizado por el sistema. Se hace uso del software node-red que cuenta con la posibilidad de programación a nivel industrial, integrando librerías con el protocolo de comunicación MODBUS, y como resultado logrado está el ahorro al usuario ante el uso de software libre en la pantalla

HMI en una interfaz de manejo sencillo, así también se previene el desperdicio del agua con la automatización del proceso.

## 2.2. Bases teóricas relacionadas con el tema

### 2.2.1. Sistemas de Control

Un sistema control es cuando la salida se controla de manera tal que haya un cambio en particular de una manera definida (Bolton, 2001).

Sistema de control según Alberto, M., Perez, A., & Perez, E. (2008), “es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema. Estos sistemas comandan dirigen o controlan dinámicamente” (p.7).

Para los sistemas de control existe el problema en la selección de una entrada adecuada que haga responder a la planta de manera deseada, obteniéndose así una salida con ciertas características deseadas (Alberto, et al, 2008).

Los lazos de control se clasifican de la siguiente manera:

#### a) Control de Lazo Abierto

Es aquel sistema de control en donde la señal de salida no tendrá ningún efecto sobre la señal o acción de control, en otras palabras, no se compara la salida con la entrada de referencia como se observa en la figura N°1, dividiéndose en dos partes los elementos de este sistema: el controlador, y el proceso controlado.



Figura N° 1: Sistema de Control de Lazo Abierto.

Fuente: Alberto, M. et al, 2008, p10.

Este sistema resulta ser muy económico, pero muy inexacto, así también son insensibles a las perturbaciones, siendo convenientemente implementado

cuando uno tenga la seguridad que no existen perturbaciones actuando sobre el mismo, cabe mencionar que aquel sistema de control que actúa sobre una base de control de tiempo, será un sistema de lazo abierto.

#### b) Control de Lazo Cerrado

Es aquel sistema de control en donde la señal de salida si tendrá efecto sobre la señal o acción de control, detallando que la salida o señal controlada, tiene que ser realimentada, para luego ser comparada con la entrada de referencia, enviándose una señal actuante o acción de control, proporcional a la diferencia entre la entrada y la salida, disminuyendo así el error y corrigiendo también la salida como se observa en la figura N°2.

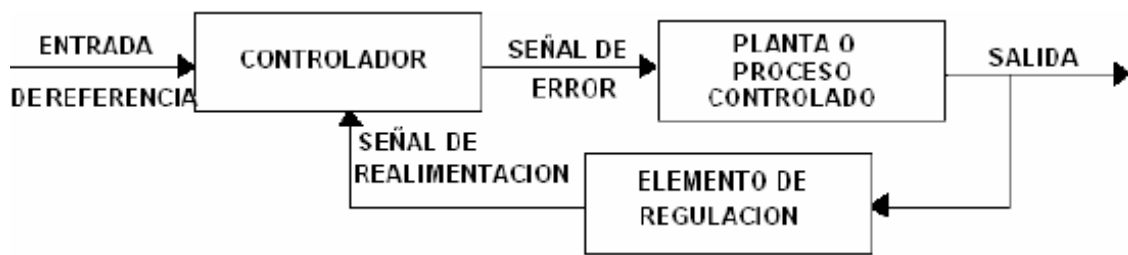


Figura N° 2: Sistema de Control de Lazo Cerrado.

Fuente: Alberto, M. et al, 2008, p11.

#### 2.2.2. Control P, PI y PID

Según Bolton (2001) “El controlador es un elemento en el sistema en lazo cerrado que tiene como entrada la señal de error y produce una salida que se convierte en la entrada al elemento correctivo” (p.225). Es llamado ley de control a la relación entre salida y entrada al controlador, existiendo tres formas de esta ley: proporcional, integral y derivativo.

a) Control proporcional: La salida del controlador es directamente proporcional a su entrada, y la entrada es la señal de error  $e$ , la cual es una función del tiempo, es decir:

$$\text{Salida} = K_p \cdot e$$

Ecuación N° 1: Salida para el control Proporcional

La ecuación N°2, descrita desde su función transferencia queda como:

$$G_p(s) = K_p$$

Ecuación N° 2: Función de transferencia Proporcional

En la ecuación N° 1 el  $K_p$  es una constante llamada ganancia proporcional. El controlador es sólo un amplificador con una ganancia constante; en un determinado tiempo, un error grande producirá una salida grande del controlador; sin embargo, la ganancia constante existirá sobre un rango de errores que se conoce como banda proporcional.

b) Control integral: La salida del controlador es proporcional a la integral de la señal de error  $e$  en relación con el tiempo, es decir:

$$\text{Salida} = K_i \int_0^t e \, dt$$

Ecuación N° 3: Salida para el control Integral

En donde  $K_i$  es la constante llamada ganancia integral, y al aplicar la transformada de Laplace en la ecuación N°3, nos dará por resultado la función de transferencia para el controlador integral, de la siguiente manera:

$$G_c(s) = \frac{K_i}{s}$$

Ecuación N° 4: Función de transferencia Integral

La ventaja del control integral está en el valor del término  $s$  en el denominador que incrementa el tipo de sistema en 1; y si hubiera sido de tipo 0, desaparecería con la entrada escalón el error en estado estable cuando se presentara el control integral.



- c) Acción de control proporcional-integral, se aplica para resolver el problema del control integral ante la reducción en la estabilidad relativa, siendo la salida:

$$\text{Salida} = K_p \cdot e + K_i \int_0^t e \, dt$$

Ecuación N° 5: Salida para el control Proporcional Integral

Introduciendo el valor constante de tiempo integral  $T_i$  ( $K_p/K_i$ ) en la ecuación N°5 y aplicando la transformada de Laplace, tendremos la función de transferencia resultante:

$$G_{PI}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Ecuación N° 6: Función de transferencia PI

En un control proporcional, siempre existirá error el cual mantendrá una acción de control diferente de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos proveerá una acción de control ascendente, y si fuera negativo, la señal de control será descendente, mostrando con esto que el error en régimen permanente será siempre cero.

- d) Control PID: Es la combinación de la acción de control proporcional, integral y derivativa, que según Ogata (2010), se aplica en forma general en la mayoría de los sistemas de control y en particular cuando el modelo matemático de la planta no es conocido, no pudiendo así emplear métodos de diseño analíticos, es ahí cuando resulta más útiles los controles PID; en estos casos se debe recurrir a procedimientos experimentales para la sintonía de los controladores PID. La sintonización del controlador es el proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de comportamiento, para esto se tendrá que dar valores a la ganancia proporcional ( $K_p$ ), tiempo integral ( $T_i$ ) y tiempo derivativo ( $T_d$ ), basándose en las respuestas experimentales o en el valor de  $K_p$  que produce estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional.

El algoritmo PID está expresado de la siguiente manera:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Ecuación N° 7: Algoritmo PID

Siendo  $u$  la señal de control y  $e$  el error de control ( $e = y_{sp} - y$ ), este algoritmo es la suma de la acción de control proporcional más la acción integral y más la acción de control derivativa; este controlador PID responde bien ante los cambios de set-point o punto de consigna, atenúa las perturbaciones de carga, el ruido de medida no debería producir acciones excesivas de control, y el sistema debería ser insensible a las variaciones del proceso; generalmente la mayoría de los procesos industriales se pueden controlar con el control PID, siempre y cuando el comportamiento del control no sean demasiado exigentes (Åström & Hägglund, 2009).

La figura N° 3 muestra el control PID de una planta, si para los casos se pudiera conseguir el modelo matemático de la planta, sería entonces realizable aplicar diversas técnicas de diseño con el propósito de establecer los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones del transitorio y del estado estacionario del sistema en lazo cerrado (Ogata, 2010).

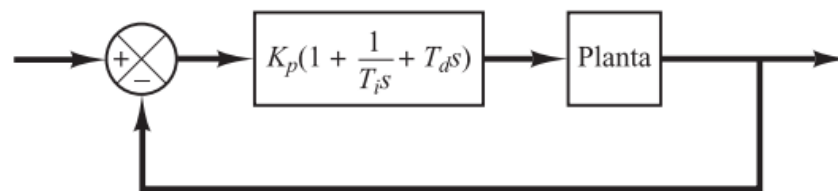


Figura N° 3: Control PID de una planta.

Fuente: Ogata, 2010, p568.

### 2.2.3. Métodos de Sintonía de Controladores PID

Para poder realizar la sintonía (Tuning) de un controlador PID según Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C., & Armesto, J. (2010), “el diseñador debe conocer las características del sistema a controlar, así como el comportamiento que debe tener el regulador ante cambios de setpoint o ante perturbaciones” (p.394).

Según Ogata (2010), si el diseñador cuenta con el modelo matemático de la planta, se podría aplicar diferentes técnicas para poder encontrar los valores del controlador que pueda cumplir con las especificaciones del transitorio y del estado estacionario del sistema en lazo cerrado; pero si la planta es muy complicada tal que no permite tener un modelo matemático, no siendo posible también obtener un método analítico para el diseño del controlador PID, para esto será necesario entonces utilizar procedimientos experimentales para la sintonización de los controladores PID mencionando a continuación alguno de estos métodos:

a) Método de Ganancia Límite

Método de lazo cerrado que fue desarrollado por Ziegler y Nichols en el año de 1940 que según Creus (2011), “permite calcular los tres términos de ajuste del controlador a partir de los datos obtenidos en una prueba rápida de características del lazo cerrado de control”, también es conocido como el método de la oscilación y según Mandado, E. et al (2010), “es el mismo que en el método Ziegler-Nichols en bucle abierto, es decir, ajustar mediante el uso de tablas los parámetros del regulador para conseguir que el sistema en bucle cerrado responda con una razón de amortiguamiento de  $\frac{1}{4}$ ”. Para esto se debe aumentar paulatinamente la ganancia proporcional  $K_p$  con los ajustes de integral ( $T_i \rightarrow \infty$ ) y derivada ( $T_d = 0$ ), debiéndose hacer cambios en el setpoint, hasta obtener la oscilación de modo continuo, asignando  $K_u$  como la última ganancia límite con el valor  $K_p$  último que originó la oscilación continua y midiendo también el periodo último de oscilaciones  $T_u$ , para luego ajustar los parámetros según la tabla N°1.

Tabla N° 1: Tabla de ajuste en bucle cerrado de los parámetros de un controlador PID propuesto por Ziegler-Nichols.

Control	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5 K_u$	-	-

PI	0,4 $K_u$	0,8 $T_u$	-
PID.	0,4 $K_u$	0,5 $T_u$	0,125 $T_u$

Fuente: Mandado, E. et al, 2010, p.405.

b) Método del relé de Åström y Hägglund.

Mandado, E. et al (2010), señalan que este método fue creado ante el problema de forzar a operar a la planta cerca de la inestabilidad ante la necesidad de tener una oscilación mantenida tal como en el método anterior; para esto se propone una oscilación mantenida de pequeña amplitud por medio del uso de un relé, reduciendo con ello los valores de  $K_u$  y  $T_u$ , para posteriormente utilizar la anterior tabla N°1.

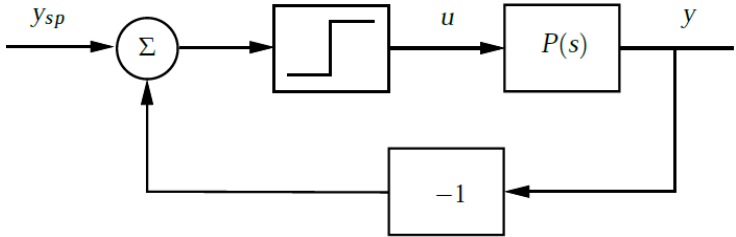


Figura N° 4: Diagrama de bloque del método Relé de Åström y Hägglund .

Fuente: Åström & Hägglund, 2009, p.56.

Según, Åström, K. & Hägglund, T, (2009), “si  $d$  es la amplitud del relé, el primer armónico de la onda cuadrada de entrada tiene una amplitud  $4d/\pi$ , siendo  $a$  la amplitud de la salida del proceso” (p.59). En este caso se obtiene la ganancia última mediante la fórmula:

$$K_u = \frac{4d}{\pi a}$$

Ecuación N° 8: Ganancia última para el método relé.

c) Método de Prueba y error

Como menciona Mandado, E. et al (2010), “es un método tecnológico que consiste en realizar determinadas acciones, comprobar su efecto y volver a

realizar las acciones, adecuadamente modificadas, en función del resultado observado” (p.403).

Para aplicar este método según Creus (2011), se debe seguir los siguientes pasos:

1. Comenzaremos por dar a la ganancia proporcional  $K_p$  un valor inicial pequeño, un tiempo integral grande ( $T_i \rightarrow \infty$ ) y tiempo derivativo cero ( $T_d = 0$ ).
2. Se comienza a aumentar el tiempo integral  $T_i$  hasta alcanzar acercarse al punto de inestabilidad.
3. Se aumenta el tiempo derivativo  $T_d$  por medio de pequeños incrementos del valor de setpoint hasta llegar a obtener un comportamiento cíclico.
4. Finalmente, se reduce en este punto el tiempo derivativo  $T_d$  y se ajusta la ganancia  $K_p$  (estrechando la banda proporcional) hasta lograr llegar a una respuesta óptima.

#### **2.2.4. Control en Cascada**

Es aquella configuración en donde se anidan dos o más lazos de control de tal modo que la salida del controlador primario en retroalimentación, es el punto de ajuste del controlador secundario también en retroalimentación (Åström & Hägglund, 2009); siendo la salida de este último la que actúe sobre el proceso, y es utilizada cuando se tiene más de una variable o señales de medida, y una variable manipulable o variable de control; así también cuando el control retroalimentado simple no satisface su respuesta en un lazo cerrado. El lazo interno (lazo secundario) debe ser más rápido que el lazo externo (lazo primario), ver la figura N° 5.

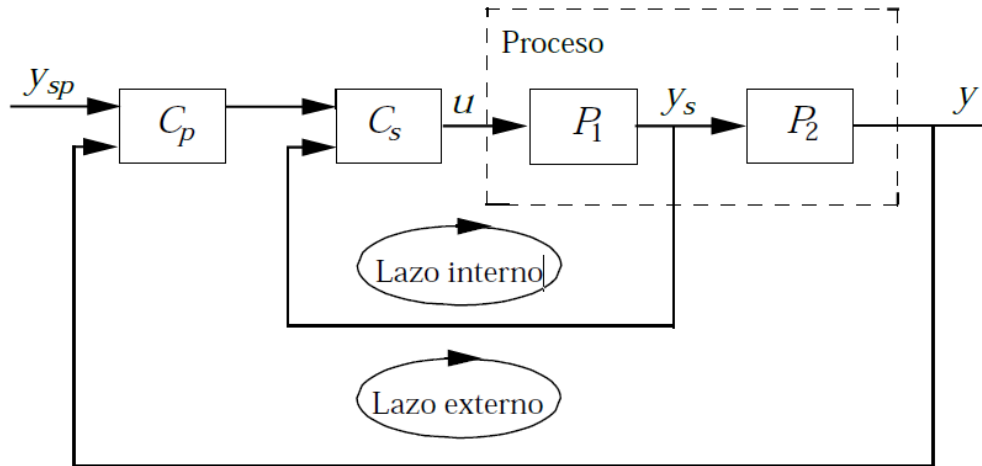


Figura N<sup>a</sup> 5: Diagrama de bloques de un sistema con control en cascada.

Fuente: Åström & Hägglund, 2009, p.400.

El control en cascada como lo menciona Creus (2011), “se utiliza cuando la variable controlada no puede mantenerse dentro del punto de consigna, por óptimos que sean los ajustes del controlador, debido a las perturbaciones que se producen en alguna condición del proceso” (p.546).

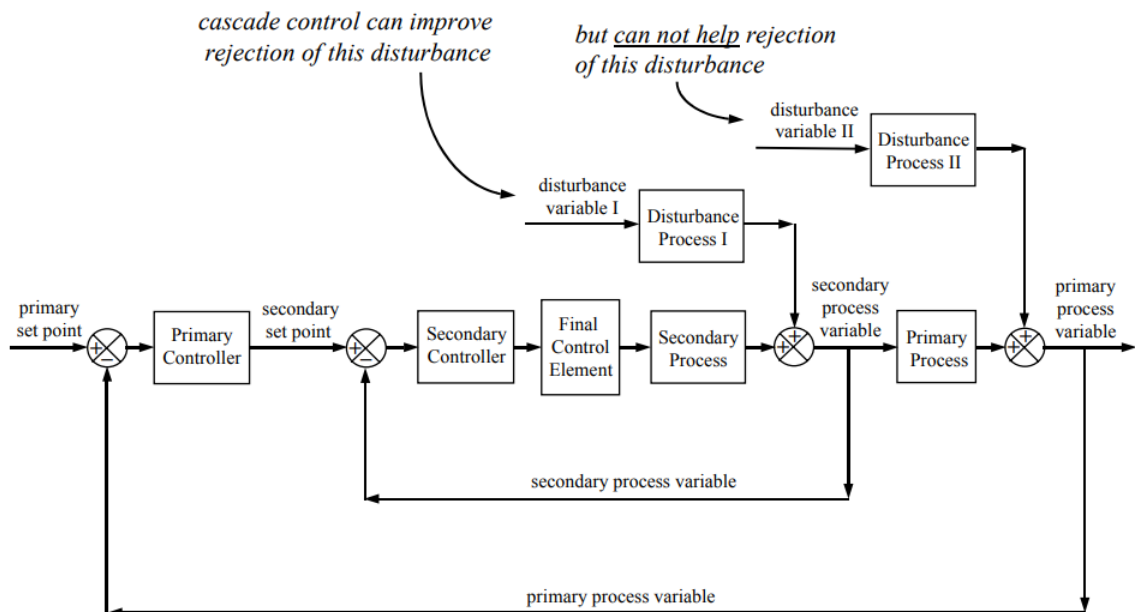


Figura N<sup>a</sup> 6: Diagrama de bloques de la arquitectura en cascada.

Fuente: Cooper, 2004, p.168.

La figura N<sup>o</sup>6 muestra el diagrama de bloques de la arquitectura en cascada según Cooper, D. (2004), mostrando disturbio para cada variable del proceso. Según, Åström, K. & Hägglund, T, (2009), el concepto del control en cascada es establecer un lazo de realimentación ajustado alrededor de una perturbación.

Para un caso ideal, el lazo secundario se puede hacer tan ajustado, donde la variable de medida secundaria responde muy rápidamente a la señal de control. Hay que tener las siguientes consideraciones para la elección de la variable secundaria, según, Åström, K. & Hägglund, T, (2009):

- Tiene que haber una relación bien definida entre las variables de medida primaria y secundaria.
- Las perturbaciones principales deben efectuarse en el lazo interno.
- El lazo interno debería ser más rápido que el lazo externo. Por regla general los tiempos de residencia medios deberían tener una razón de al menos 5.
- De ser posible se debe tener una alta ganancia en el lazo interno.

#### **2.2.5. Hardware PLC Simatic S7 1200**

El controlador lógico programable es aquel equipo compacto donde se encuentran todos los componentes para el desarrollo de diferentes tareas de automatización y de control, donde la toma de decisiones es a través de instrucciones codificadas, almacenándose en un chip y ejecutándose en un microprocesador; y si es requerido el cambio del sistema de control, sólo será necesario el cambio de las instrucciones a través de un software (Maloney, 2006). El PLC Simatic S7 1200 es un controlador modular desarrollado por la compañía Siemens, en el modelo CPU 1214C cuenta con una entrada de alimentación de corriente alterna AC. Este dispositivo permite la manipulación de hasta 14 entradas digitales, 10 salidas relé, 2 entradas analógicas.

Dentro de las características con que cuenta el Simatic S7 1200 con CPU 1214C según Siemens (2018) tiene:

- Capacidad de procesamiento a 64bits.
- Interfaz ethernet integrado mediante el protocolo profinet.
- 02 entradas análogas de 0 a 10volt DC.
- 14 entradas digitales a 24volt DC.
- 10 salidas digitales tipo relay a 2Amp.
- Alimentación de 85 a 264volt AC.

- Salida de fuente a 24volt DC.
- Servidor web.

Se aprovechará la salida de la fuente para poder alimentar el módulo switch industrial ethernet de 5 puertos Scalance XB005 y el panel HMI. Utilizando la interfaz profinet integrada para la comunicación del controlador con el computador y el panel HMI, y agregándole al controlador un módulo interno de salida analógica Siemens SB1232 se interactuará directamente con la válvula de control del proyecto, y finalmente el servidor web será configurado para el acceso remoto del controlador,

El Simatic S7 1200 es programada mediante el software STEP 7 Basic V.14, sirviendo también para programar el panel HMI. Cuenta frontalmente con capacidad para aumentar un módulo signal board SB1232 de 01 salida analógica de 0 a 20mA.

Además, el controlador cuenta con la posibilidad de agregar un límite máximo de 03 módulos de comunicación como profibus esclavo o maestro y fieldbus, ver la figura N° 7 y anexo 1.



Figura N° 7: Fotografía del controlador Simatic S7 1200.

Fuente: Siemens (2018)

### **2.2.6. Sensor de Flujo**

El sensor de flujo nos indica, cuán rápido es el movimiento del fluido en un determinado tiempo, y se puede medir de dos formas: volumétrico, que determina el caudal en volumen de fluido, aplicado para una medida general



del caudal; y masa, que determinan el caudal masa, aplicado donde la exactitud de la medida es importante (Creus, 2011). Por el tipo de transductor a utilizar se dividen en dos grupos: uno introduce una obstrucción al fluido y utiliza la energía de los mismos para poder medirlo a través de presión diferencial como: el tubo de pitot, las turbinas, las paletas, el orificio, venturí, y los rotámetros; el otro grupo son no intrusivos tal que incluyen las técnicas electromagnéticas y ultrasónicas (Cosco, 2013).

### 2.2.7. Transmisor de Flujo Electromagnético

Para un transmisor de flujo electromagnético, la base de medición es la ley de Faraday de inducción donde se aplica el principio del movimiento de un conductor dentro de un campo magnético el cual genera un voltaje en este conductor, siendo el voltaje inducido, proporcional a la velocidad y por consiguiente al caudal (Lana Sarrate, 2018), ver la figura N° 8.

Fórmula de Ley de Faraday:

$$e = V.B.D$$

Ecuación N° 9: Voltaje generado en conductor

Donde:

e: Voltaje generado en conductor

B: Campo Magnético

V: Velocidad del conductor

D: Diámetro del conductor

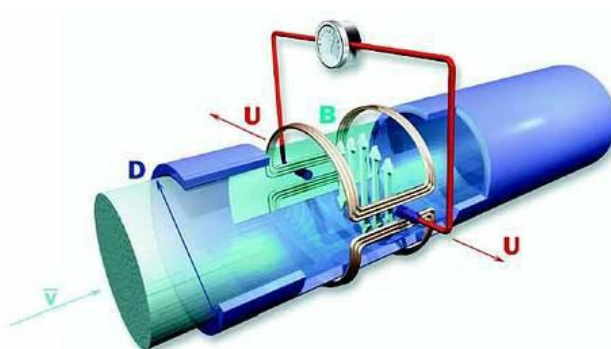


Figura N° 8: Ley de Faraday en una tubería de fluido.

Fuente: Lana Sarrate, 2018, p17.

Para este proyecto de Tesis se utilizó el transmisor de flujo electromagnético Yokogawa, ADMAG AXF, mostrado en la figura N° 9, el cual cuenta con la excitación de doble frecuencia comprobada, la cual ha sido añadida recientemente según el fabricante para hacer frente a las aplicaciones más severas.

El modelo AXF utilizado para el presente proyecto, tiene funciones fáciles de usar; según Yokogawa (2019) cuenta con electrodos de diámetros que van de 2,5 a 400mm, con protocolo de comunicación de campo Hart, precisión de 0,35% (opcional 0,2%), presenta también un electrodo reemplazable y diagnóstico de detección de nivel o adhesión en los electrodos mejorando así su capacidad de mantenimiento, así también elimina el ruido en el fluido mediante la técnica de excitación de las bobinas denominada “Doble frecuencia de Excitación” según anexo 3.



Figura N° 9: Transmisor de flujo electromagnético ADMAG AXF.

Fuente: Yokogawa (2018).

### 2.2.8. Sensor de Nivel

Los sensores de nivel de líquidos, trabajan midiendo de diferentes formas; tales como la medición directa, como también puede ser un flotador que informa el desplazamiento del líquido en el tanque; otra forma de medir es utilizando la presión hidrostática; otra es mediante las propiedades eléctricas del líquido donde encontraremos al sensor ultrasónico; y en otras usamos otros fenómenos tales como la óptica, vibración o temperatura (Creus, 2011).

El nivel (h) en un tanque es usado a menudo para encontrar el volumen (V), mediante el área superficial (A) del recipiente o tanque, ver figura N° 10, expresándose en la siguiente ecuación:

$$V = h \cdot A$$

Ecuación N° 10: Volumen de líquido en tanque

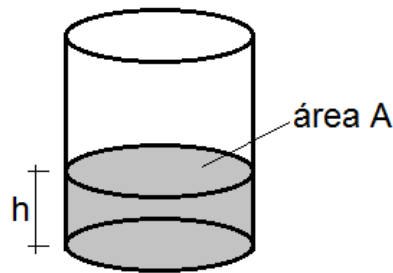


Figura N° 10: Representación del volumen del líquido.

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.9. Transmisor de Nivel Ultrasónico

Según Creus (2011), el transmisor de nivel ultrasónico, es un sistema que se basa en la emisión de impulsos ultrasónicos a la superficie del elemento a medir, cuya característica de la superficie, es que debe ser reflejante, para esperar luego la recepción del eco de la misma, y así medir el tiempo de emisión y recepción, para encontrar la distancia en que se encuentra el objeto reflejante, mediante la siguiente ecuación:

$$d = \frac{1}{2} V \cdot t$$

Ecuación N° 11: Distancia de cuerpo reflejante

Donde V es la velocidad del sonido en el aire y t es el tiempo transcurrido entre la emisión y recepción del pulso.

El sensor ultrasónico, posterior a la emisión ultrasónica, permanece en espera un tiempo hasta que las vibraciones propias desaparezcan para posteriormente recibir el eco producido por la superficie reflejante, existiendo para esto una distancia mínima en donde el sensor trabaja con precisión; mayormente aquellos objetos que se encuentren en menor valor que esta distancia mínima, serán considerados igual a la distancia mínima, como se muestra en la figura N°11.

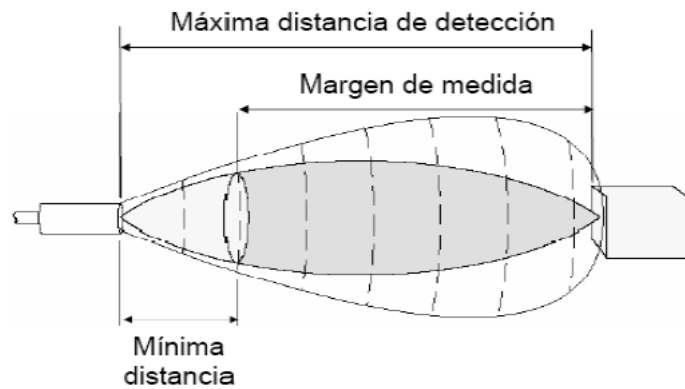


Figura N° 11: Márgenes de detección de un sensor ultrasónico.

Fuente: Alzate, (2010).

Los factores ambientales tienen una gran repercusión sobre las medidas ya que las ondas de ultrasonido se mueven por un medio material que es el aire.

La densidad del aire depende de la temperatura, influyendo este factor sobre la velocidad de propagación ( $V_s$ ) de la onda según la expresión:

$$V_s = V_{so} \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

Ecuación N° 12: Velocidad de propagación de la onda sonora.

Siendo  $V_{so}$  la velocidad de propagación de la onda sonora a 0°C, y T la temperatura absoluta (grados Kelvin).

Para el caso de esta Tesis se utilizó el transmisor de nivel ultrasónico SGM-LEKTRA, el cual se muestra en la figura N°12, y que según SGM-LEKTRA (2018), es un equipo adecuado para la medición de materiales tanto líquidos o sólidos, contando con una exactitud de  $\pm 0,2\%$  (de la distancia medida) no mejor que  $\pm 3\text{mm}$ , así también cuenta con salida analógica 4...20mA, con un máximo de 750ohm, trabaja con un rango de medida de 0,25 a 6m y cuenta con protocolo de comunicación de campo Hart, como se indica en el anexo 2.



Figura N° 12: Transmisor de nivel ultrasónico SGM-LEKTRA.

Fuente: SGM-LEKTRA (2018), p14.

## **2.3. Hipótesis**

### **2.3.1. Hipótesis General**

Haciendo uso de equipos e instrumentos de campo recientemente adquiridos, se podrá modernizar el módulo de control de nivel del Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma.

### **2.3.2. Hipótesis Específicas**

- a) Con la sustitución por medio de equipos e instrumentos de campo recientemente adquiridos por la carrera de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma se podrá modernizar el módulo de control de nivel del Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma.
- b) Con el establecimiento de las variables primaria y secundaria para una estrategia de control en cascada propuesta sobre el módulo de control de nivel, así como la respectiva programación del PLC, servirá para el correcto funcionamiento del módulo.
- c) Con la programación de la pantalla táctil HMI se podrá visualizar la variable del proceso, el set-point y la variable de control, así también servirá para interactuar con el módulo de control de nivel, para el encendido y apagado de este.

## **2.4. Variables de Estudio**

En cuanto a las variables de estudio empleadas en función al tipo de investigación correlacional desarrollada, se tiene:

a) Variable Independiente:                   Modernización del módulo de control.

- Indicadores: - Controlador de nivel  
- Transmisor de nivel ultrasónico  
- PLC  
- Pantalla HMI

b) Variable Dependiente:       Control de las variables

- Indicadores: - Nivel  
- Flujo

## **2.5. Tipo y método de investigación**

### **2.5.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación empleado fue tecnológico y aplicativo.

### **2.5.2. Método de investigación**

El método de investigación fue del tipo empírico y experimental. Esto se debe a que se utilizaron modernos equipos, donde se procedió a programar con la última versión del software Step 7 Basic V.14 y a sintonizar en forma óptima en control en cascada para ambas variables.

### **2.5.3. Diseño de investigación**

El diseño específico de la investigación fue del tipo experimental y correlacional.

## 2.6. Instrumento de recolección de datos

Software Step 7 Basic V14, el cual permitió configurar al PLC Simatic S7-1200, así también definir el tipo de comunicación y programar el equipo; es parte integrante del portal *Totally Integrated Automation* o TIA Portal, plataforma base que sirve para poder interactuar también con el software SCADA WinCC en donde podrán compartir una sola base de datos, y generándose así un archivo de proyecto en común.

## 2.7. Técnicas de recolección de datos

Los datos se obtuvieron a partir de los valores obtenidos por el transmisor de nivel y el transmisor de flujo, mediante la técnica de la observación experimental, y de la técnica del análisis documental, ya que se recolectó información respecto a las nuevas funciones con que cuenta el PLC Siemens S7 1200 para el proceso de repotenciación del módulo de control de nivel.

## 2.8. Definición de términos

PLC: siglas provenientes de *Programmable Logic Controller* o controlador lógico programable; es un equipo electrónico programado por el usuario para controlar la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, recibiendo y procesando señales digitales y analógicas para aplicar estrategias de control.

HMI: Según Cobo (2017), siglas provenientes de la palabra *Human Machine Interface*, es aquel dispositivo o sistema que permite la interacción entre la persona y la máquina. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. Proporcionan gráficos de procesos visuales que aportan significado y contexto al estado del motor y de la válvula, niveles de depósitos y otros parámetros del proceso. Suministran información operativa al proceso, y permiten el controlar y la optimización al regular los objetivos de producción y de proceso.

SCADA: Siglas provenientes de *Supervisory Control And Data Acquisition*, o adquisición de datos y supervisión de control; es un software diseñado para funcionar sobre ordenadores de producción, estando el mismo en constante comunicación con los diferentes dispositivos de campo para proveer de toda la información que se genera en el proceso productivo tales como control de calidad,

supervisión, mantenimiento, alarmas, reportes, etc, a los diversos usuarios de manera remota, para controlar y monitorear el proceso desde la pantalla del ordenador.

Ultrasonido: Son ondas sonoras con una frecuencia superior a 20 000 Hz, que no son percibidas por el oído humano; siendo una herramienta útil para conocer e interpretar el estado físico de determinado material mediante una onda acústica o sonora, con aplicaciones en campos como la Medicina, biología, Física, Química o la Industria.

Sensor: Es un dispositivo que transforma una señal mecánica, química, presencia, presión, temperatura, etc, en una señal eléctrica para poder ser detectada por un sistema de control.

Protocolo HART: Siglas provenientes de *Highway Addressable Remote Transducer*, es un protocolo de comunicación abierta usado en los sistemas de control, sirviendo para la configuración remota del equipo y supervisión de datos, donde se permite la comunicación sobre un lazo de 4-20 mA, tanto para los datos de configuración como los parámetros de las medidas de proceso como temperatura, caudal, presión u otra, contando con una velocidad es de 1200 bps.



## **CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Módulo de control de nivel del Laboratorio de Control**

El funcionamiento del módulo de control de nivel es esencialmente un circuito cerrado de agua, con un tanque auxiliar y otro principal, siendo en este último donde se posiciona el transmisor de nivel ultrasónico para realizar la medición y control del nivel de agua, por medio de su salida de corriente de 4 a 20mA, y ya que se implementó una estrategia de control en cascada, fue necesario una segunda variable industrial, la cual fue el flujo, medido mediante el transmisor de flujo electromagnético Yokogawa AXF025G con salida de 4 a 20mA; ambas salidas sirvieron para informar al PLC S7-1200 mediante el módulo de entradas analógicas Siemens SM 1231AI, cuyas características se detallan en el anexo 6; este módulo procesa en el PLC los datos y establecer las acciones necesarias a tomar de acuerdo al nivel de punto de consigna o set-point elegido por el usuario, expresándose la acción a tomar a través del módulo de salidas analógicas Siemens SB 1232AQ, cuyas características se detallan en el anexo 5; que accionó el porcentaje de apertura de la válvula de control proporcional Hofmann mediante su posicionador electroneumático inteligente Power Genex SSL-WB1MHL con entrada de 4 a 20mA, tal como se muestra en la figura N° 13 y características en el anexo 4.

Para la realización del control en cascada, se debe precisar cuál será el lazo primario y cual el lazo secundario; para el lazo secundario le correspondió la

variable industrial más rápida, y está será el flujo, mientras que para el lazo primario le correspondió la variable nivel; al encenderse el módulo de control comenzará a fluir el agua de la electrobomba al tanque auxiliar y de ahí al tanque principal, lugar donde comenzará la primera medición de nivel del controlador primario, siendo la misma, comparada con el valor de set-point determinado por el usuario; el valor de salida de este lazo primario será el valor de entrada de set-point del lazo secundario, siendo comparada con el valor del controlador secundario que es la variable flujo y cuyo valor de salida de este lazo secundario, será interpretada finalmente por la válvula de control proporcional en un porcentaje de apertura de la misma de 0 a 100%. Para un valor de set-point mayor, la válvula proporcional tendrá que disminuir en su porcentaje de apertura, disminuyendo el flujo para llenar el tanque principal de forma rápida.

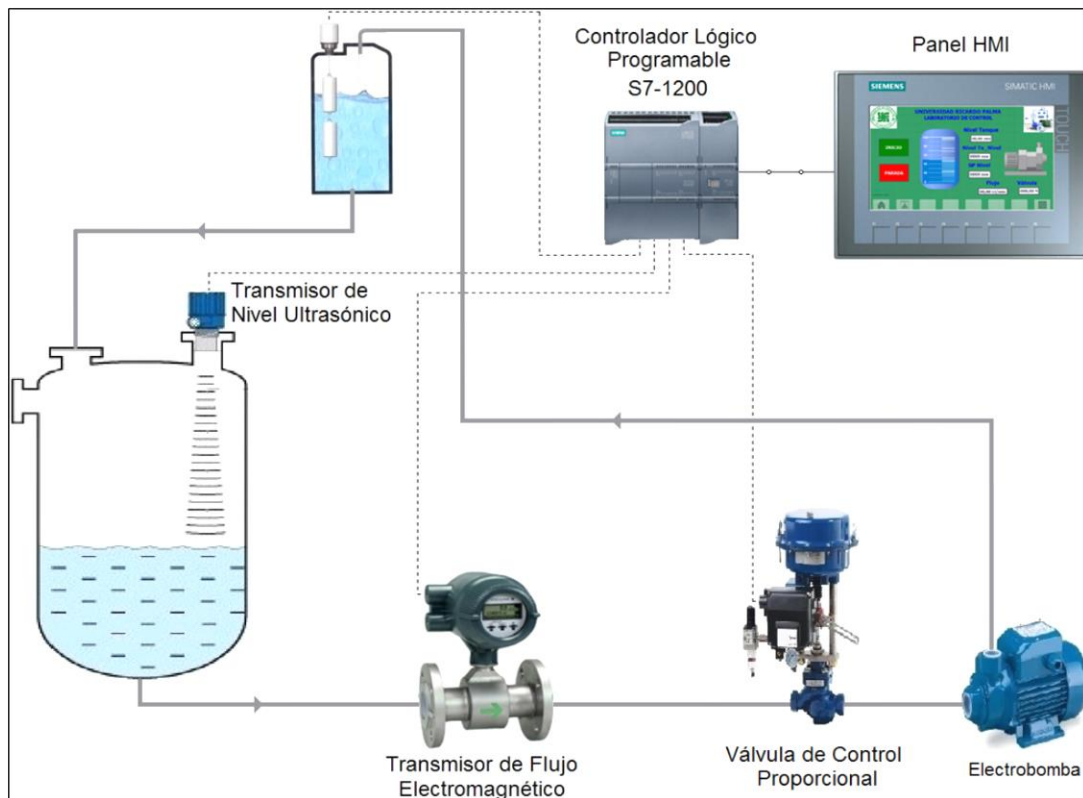


Figura N° 13: Esquema del módulo de control en Cascada para las variables nivel y flujo.

Fuente: Elaboración Propia

El módulo de control de nivel, en un inicio fue construido por los alumnos del curso Sistemas de Automatización Industrial de la carrera de Ingeniería Electrónica en el año 2012 en una estrategia de control on-off con una válvula

solenoides; posteriormente se implementó con una válvula de control proporcional con posicionador y un transmisor de flujo electromagnético en un control de lazo simple PID (Campos, D. & Gonzalez, M., 2014); el presente trabajo reemplaza el PLC S7-200 por el PLC S7-1200, conllevando el uso de un nuevo software para su configuración; añadiendo también otros nuevos equipos, como el transmisor de nivel ultrasónico, pantalla HMI, módulo de entrada analógica y módulo de salida analógica; así también se aprovechan las nuevas características que trae este PLC como servidor web para su acceso remoto desde cualquier ubicación mediante cualquier dispositivo móvil o computador, mostrándose en la figura N° 14 el módulo de control finalmente implementado para el presente trabajo.

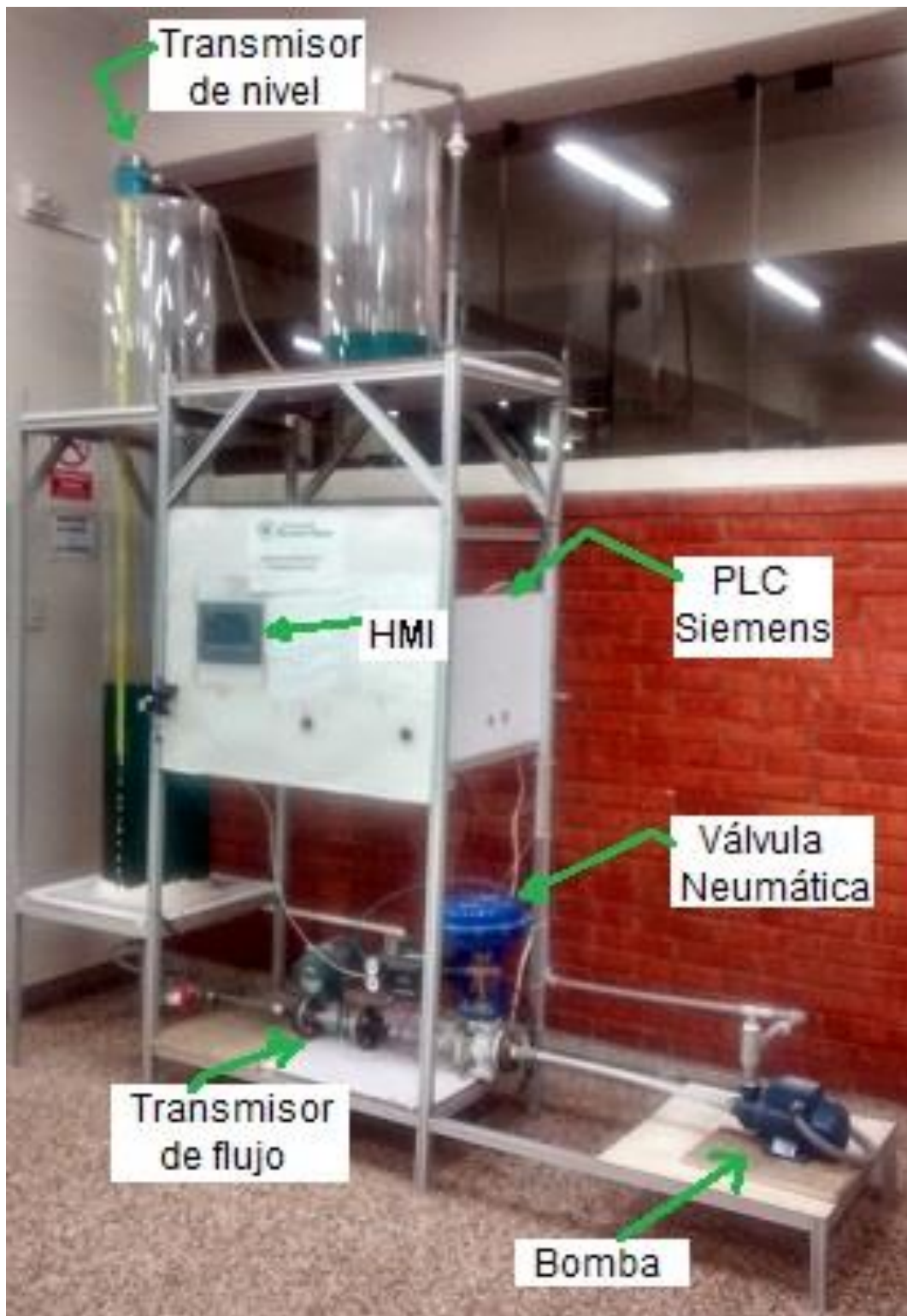


Figura N° 14: Implementación final del módulo de control de nivel.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°15, se muestra el diagrama de bloques y disturbios de módulo de control, en donde el disturbio I será la apertura de llave de desfogue de tanque, y el disturbio II, la variación de potencia de la electrobomba.

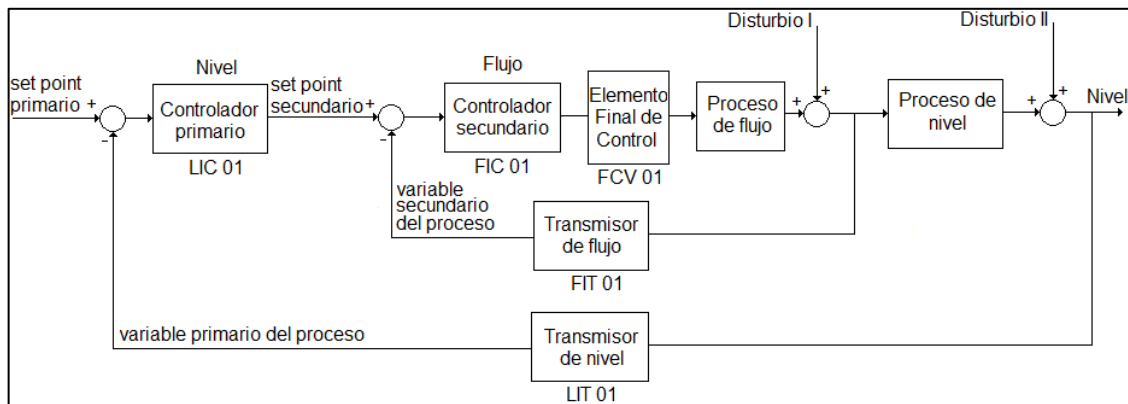


Figura N° 15: Diagrama de bloques y disturbios del módulo de control.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°16, se muestra el diagrama PFD (Diagrama de Flujo del Proceso) del módulo de control de acuerdo a la norma ISA-5.5.

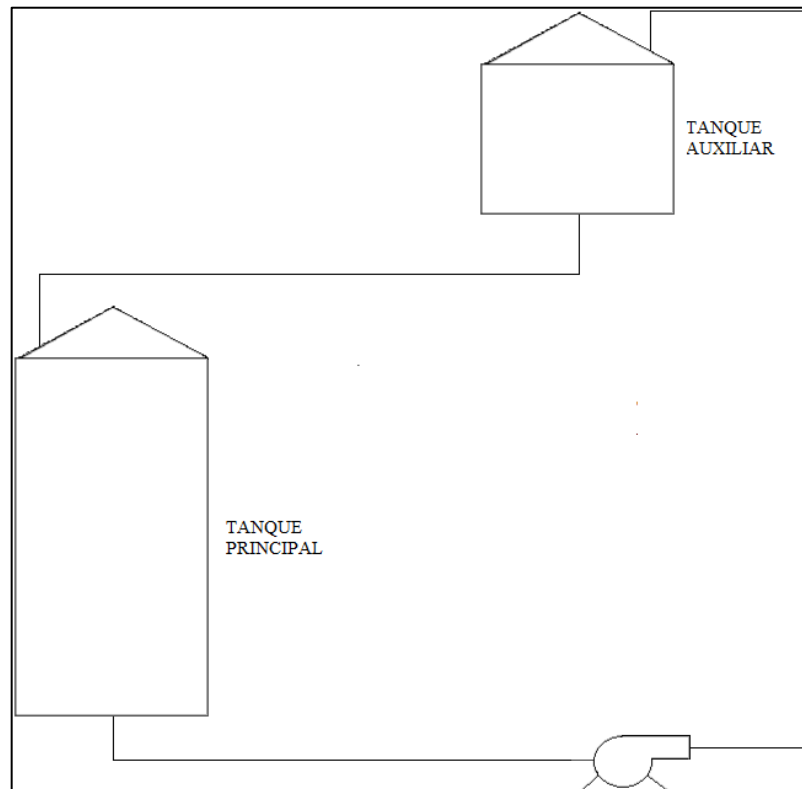


Figura N° 16: Diagrama PFD del módulo de control.

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente, en la figura N° 17 se muestra el diagrama de procesos e instrumentos P&ID (Piping and Instrumentation Diagram), mostrando el flujo del proceso de las tuberías, equipos instalados e instrumentos en el módulo de control de acuerdo a la norma ISA-5.1.

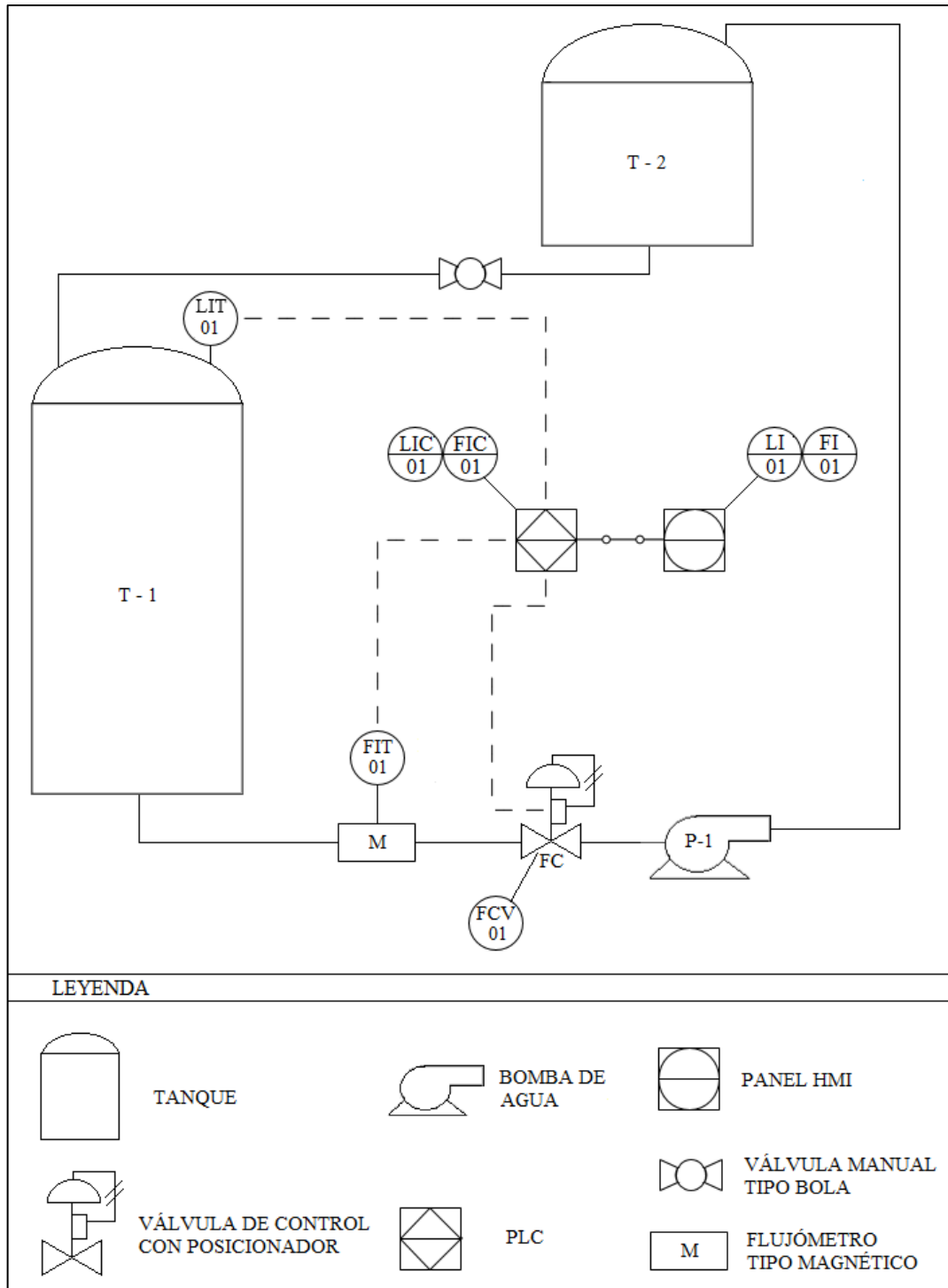


Figura N° 17: Diagrama P&ID del módulo de control.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2. Configuración del transmisor de nivel ultrasónico

Para configurar el transmisor de nivel ultrasónico SGM LEKTRA modelo METER2F4D, se utilizó un configurador Hart, modem HART USB de marca Procomsol, modelo HM-USB-ISO el cual trabaja con el software DevCom 2000, para esto fue necesario el uso de una fuente de alimentación de 24 voltios y una resistencia de precisión de 250 ohms, conectados todos como se muestra en la figura N°18.

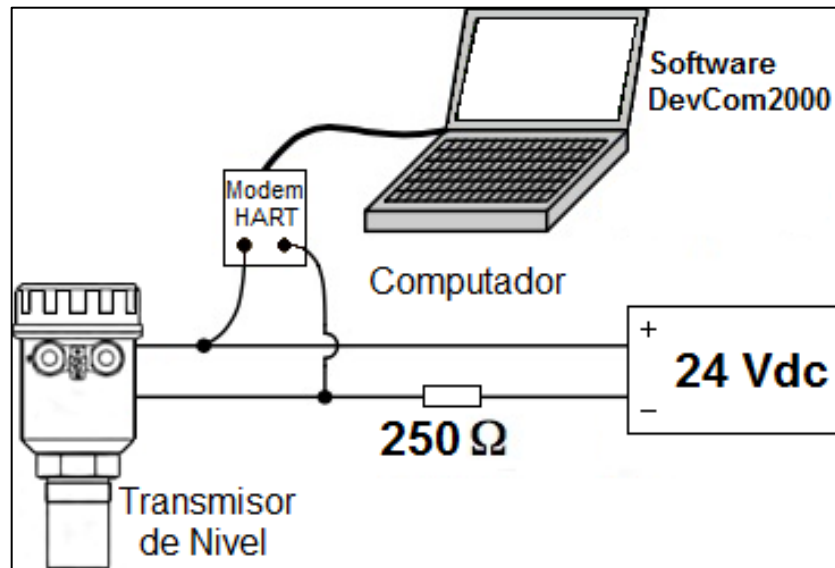


Figura N° 18: Conexión del modem HART para la configuración del transmisor de nivel ultrasónico.

Fuente: Elaboración Propia

Luego se procedió a conectarlo, y se decidió el valor de span (Creus, 2009) o alcance a trabajar, el cual fue de 400mm, cuya medida inicial fue de 1200mm hasta los 1600mm, siendo medido desde la parte superior del tanque, lugar donde se encuentra posicionado el transmisor de nivel ultrasónico, una vez ingresado al software, se procedió a hacer los cambios como se muestra en la figura N°19.

El valor mínimo medido por el transmisor de nivel fue de 1200mm el cual le correspondió 4mA, y el valor máximo a medir de 1600mm que le correspondió 20mA, ubicándose el transmisor en la parte superior del tanque, cuya altura de nivel de agua fue medido de arriba hacia abajo.

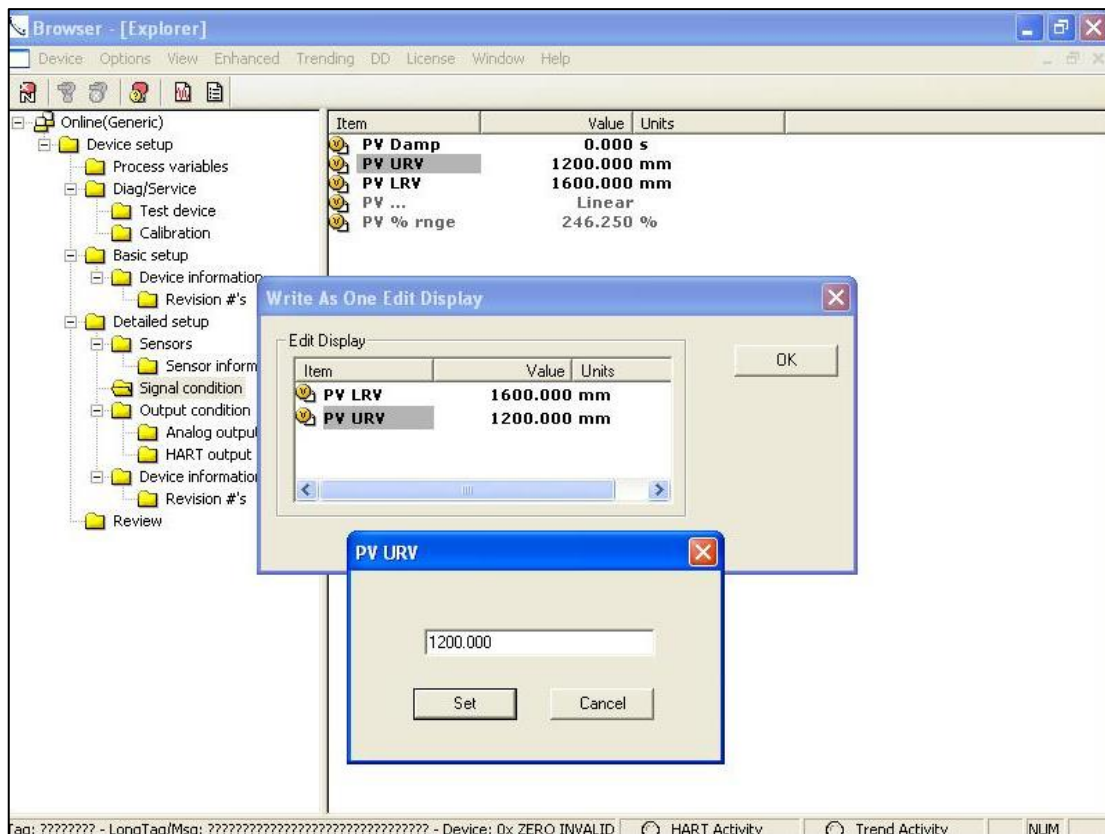


Figura N° 19: Ingreso de valores mínimo y máximo a medir por el transmisor de nivel ultrasónico, mediante el software DevCom2000.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3. Creación de proyecto y configuración de equipos Siemens.

Se utilizó el programa Step 7 Basic V.14 en la plataforma TIA Portal, y se procedió a crear el proyecto a utilizar para esta investigación, agregando el PLC S7-1200 con CPU1214C y configuración AC/DC/RLY, en la sección “Configurar un dispositivo” y luego “Agregar dispositivo” del programa como se muestra en la figura N°20.

Luego se procedió a agregar en el proyecto, el módulo de cuatro entradas analógicas Siemens SM1231, de las cuales se utilizaron para el transmisor de nivel ultrasónico SGM LEKTRA modelo METER2F4D asignándole la entrada %IW102, y la entrada %IW100 para el transmisor de flujo magnético YOKOGAWA modelo AXF025G; luego se agregó el módulo de una salida analógica Siemens SB1232AQ, asignándole la salida %QW80 para la válvula de control proporcional HOFMANN modelo M9S-01511-CD el cual trabaja con el posicionador electroneumático con salida de 4 a 20 mA de marca POWER



GENEX modelo SSL-WB1MHL, y luego le se asignó la dirección IP: 172.17.9.88 al PLC, como se muestra en la parte inferior de la figura N°21.

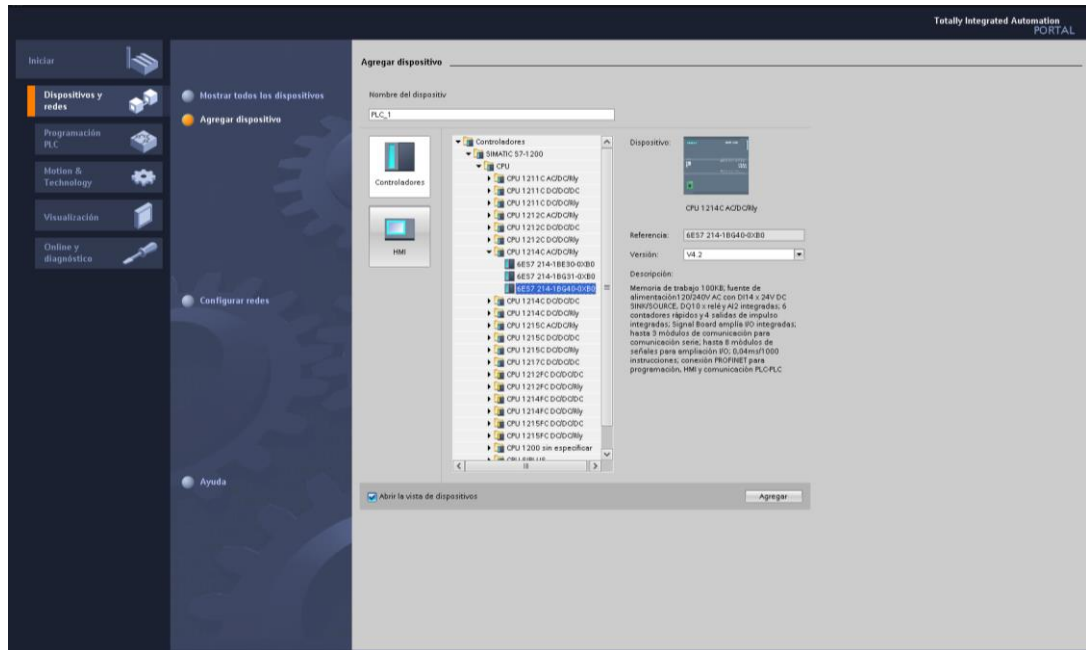


Figura N° 20: Creación de proyecto.

Fuente: Elaboración Propia

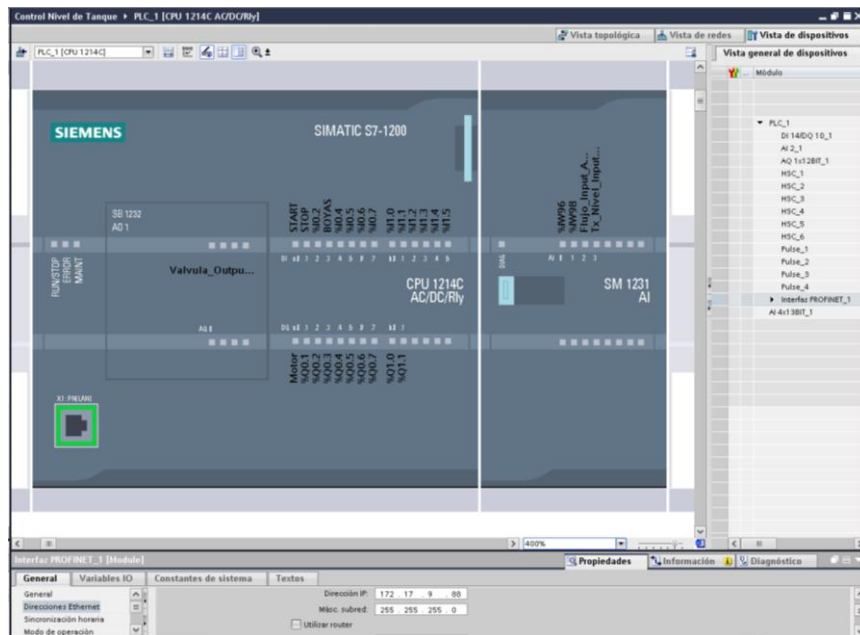


Figura N° 21: Ingreso de módulos Siemens adicionales al proyecto

Fuente: Elaboración Propia

Y, por último, se agregó al proyecto la pantalla HMI Siemens KTP 700 Basic, en donde se asignó el número IP: 172.17.9.95, tal como se muestra en la figura N°22.

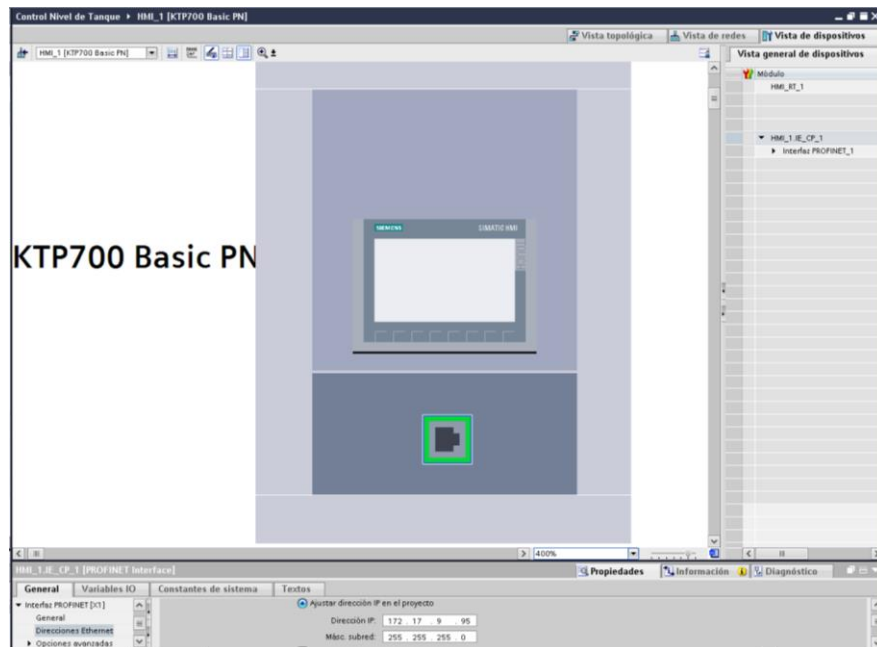


Figura N° 22: Pantalla Siemens KTP 700 Basic del proyecto

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4. Escalamiento de señales analógicas e ingreso del punto de consigna o set-point.

En el proyecto elaborado se procedió a crear el sub-programa, como bloque de función FC1, para el escalamiento de las señales analógicas, el cual consiste en ingresar los valores analógicos de entrada del transmisor de nivel ultrasónico %IW102 y transmisor de flujo %IW100, los cuales se normalizaron para que sean coincidentes, los valores numéricos proporcionados por los transmisores, con las magnitudes físicas; luego para el valor de salida analógico en valor de porcentaje de apertura de la válvula %QW80 se procedió con el desescalamiento, cuyo valor de salida %MD24 será el que controle el nivel y flujo del proyecto mediante el control de nivel, en cascada con el control de flujo explicado más adelante. En el mismo sub-programa se creó en el segmento 1, el ingreso del valor de set-point como se muestra en la figura N°23.



Figura N° 23: Escalamiento de las señales analógicas

Fuente: Elaboración Propia

### **3.5. Creación de botones de encendido y apagado en el bloque organizacional principal OB1.**

La implementación eléctrica de encendido y apagado fue representada en el bloque organizacional principal OB1 donde se definió el botón de encendido con el contacto %I0.0 (start), y apagado %I0.1 (stop) físicos de la electrobomba (motor); y para la pantalla HMI, el botón de encendido, contacto %M0.0 (star\_r), y apagado %M0.2 (stop\_r), finalmente un apagado por boyas, colocadas en la parte superior del tanque auxiliar previniendo algún tipo de derrame por sobre llenado, contacto %I0.3, tal como se muestra en figura N°24.

### **3.6. Control en cascada de los lazos de control primaria y secundaria.**

La estrategia de control decidida para este proyecto ha sido el control en cascada ya que existen varias señales de medida y una variable de control, y sabiendo que el software no cuenta con una librería para el control en cascada, se procedió a la interconexión del lazo primario con el lazo secundario, de tal modo que la salida del controlador primario en retroalimentación, es el set-point del controlador secundario también en retroalimentación, de tal manera que en la salida de este último es el que actuó finalmente sobre la válvula de control; y para esto se empieza con la creación de un nuevo sub-programa utilizando los valores escalados previamente, agregar un nuevo bloque, el cual será el bloque organizacional OB30, del tipo interrupción cíclica colocando en el primer segmento la instrucción PID\_Compact\_1 que trabajó con la variable nivel, cuya entrada de set-point viene a hacer el valor de salida %MD32 en el segmento1 del bloque de función del escalado de señales, y del segmento 2 del mismo bloque de función, se extrae el valor escalado del transmisor de nivel ultrasónico %MD0 que es la entrada del PID de la variable nivel, y tiene como salida %MD40, tal como se muestra en la figura N°25.

Para interconectar el lazo primario con el lazo secundario, para un control en cascada; en el mismo bloque organizacional del tipo interrupción cíclica, se agrega un segundo segmento PID\_Compact\_2 para la variable flujo; siendo la entrada set-point el valor de salida del lazo primario, y el valor escalado del transmisor de flujo %MD8 como entrada del nuevo segmento, y su salida es en

porcentaje de apertura de la válvula neumática %MD24 como se muestra en la figura N°26.

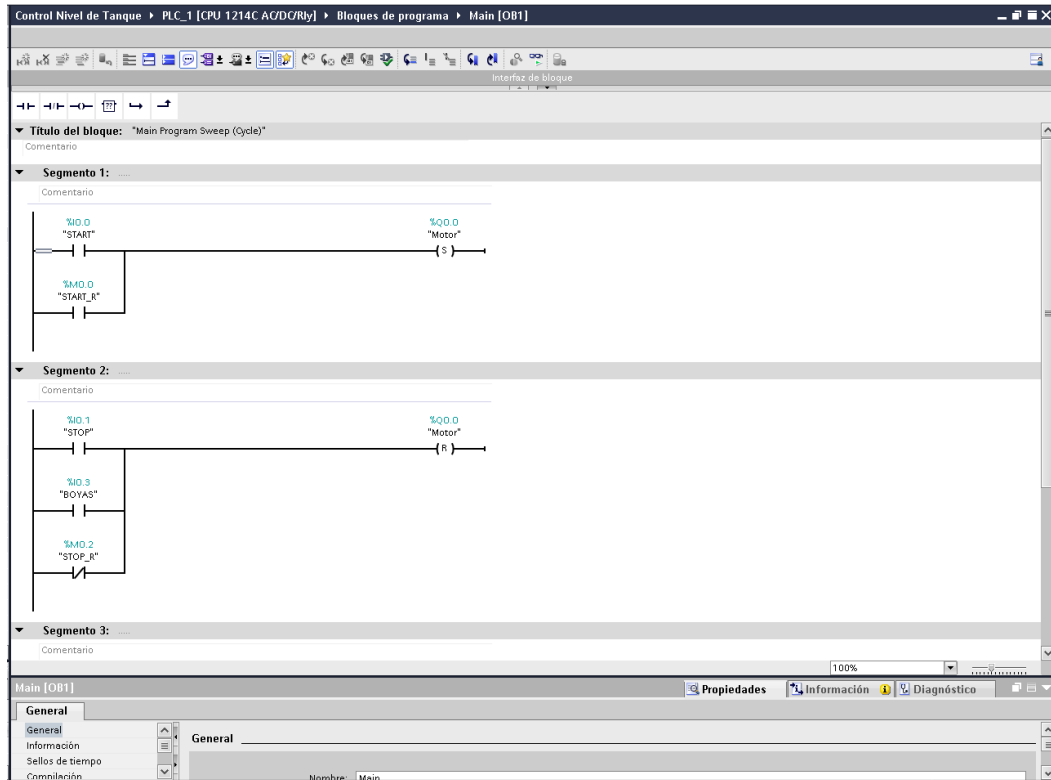


Figura N° 24: Definición de botones de encendido y apagado

Fuente: Elaboración Propia

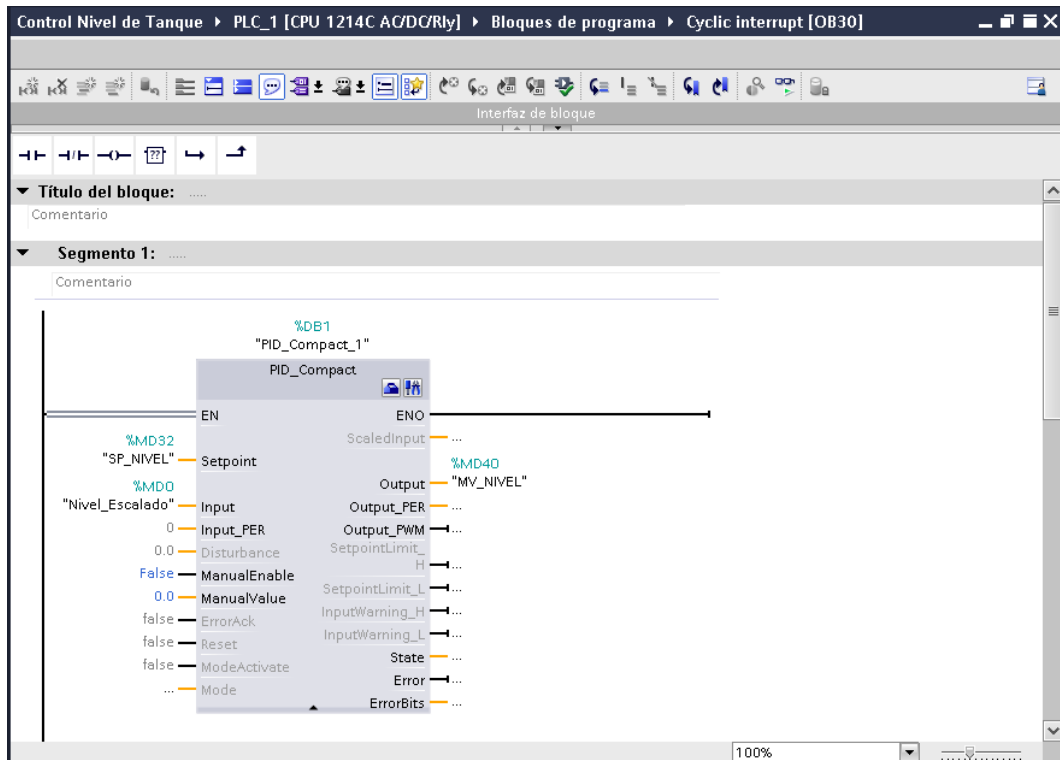


Figura N° 25: Programación del Lazo Primario

Fuente: Elaboración Propia

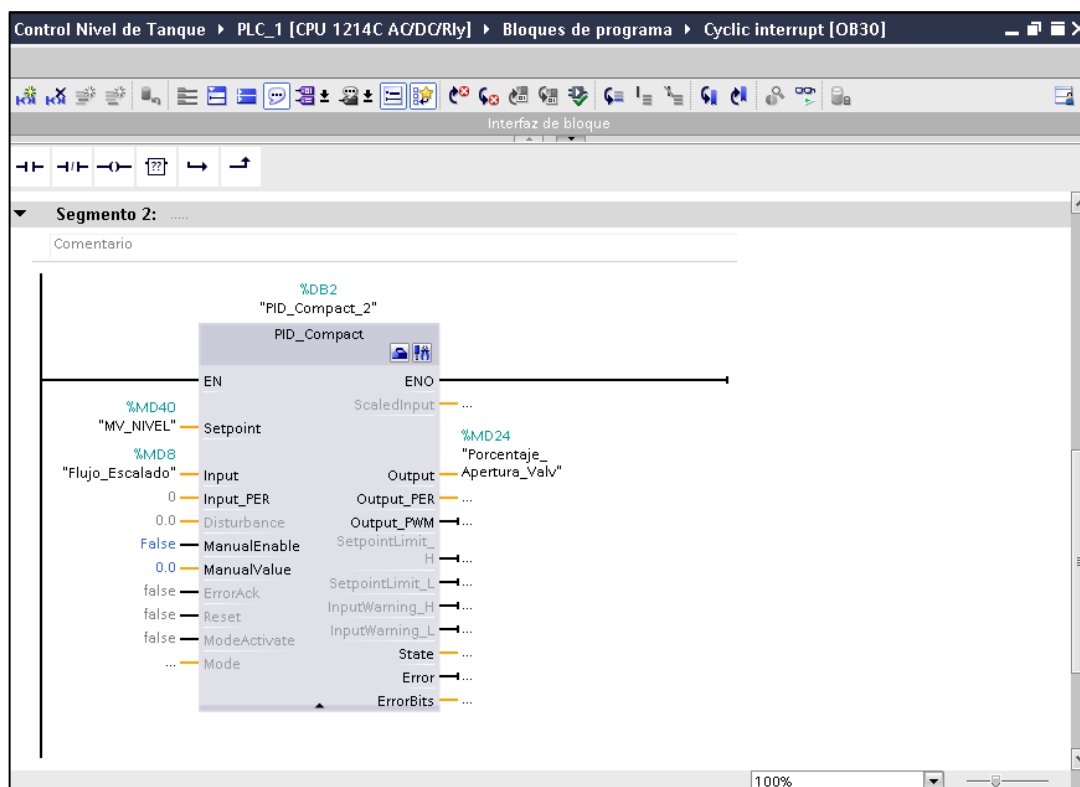


Figura N° 26: Programación del Lazo Secundario

Fuente: Elaboración Propia

### 3.7. Programación de la pantalla HMI.

La pantalla HMI es un equipo de visualización y actuación, el cual recibe la denominación de interfaz máquina-usuario (Mandado, E. et al, 2010), que permite el diálogo entre el operador y el controlador (Piedrafita, 2001), sirviendo como una interfaz de interacción para el monitoreo y control de nuestro módulo de control de nivel, visualizando los valores de las variables industriales nivel y flujo, así también el porcentaje de apertura de la válvula de control y nivel de set-point elegido, así también se controla en encendido y apagado de la electrobomba, y para lograrlo, primero se debe agregar la pantalla HMI Siemens KTP 700 Basic al programa, donde se trabajó en la imagen raíz como se muestra en la figura N°27.

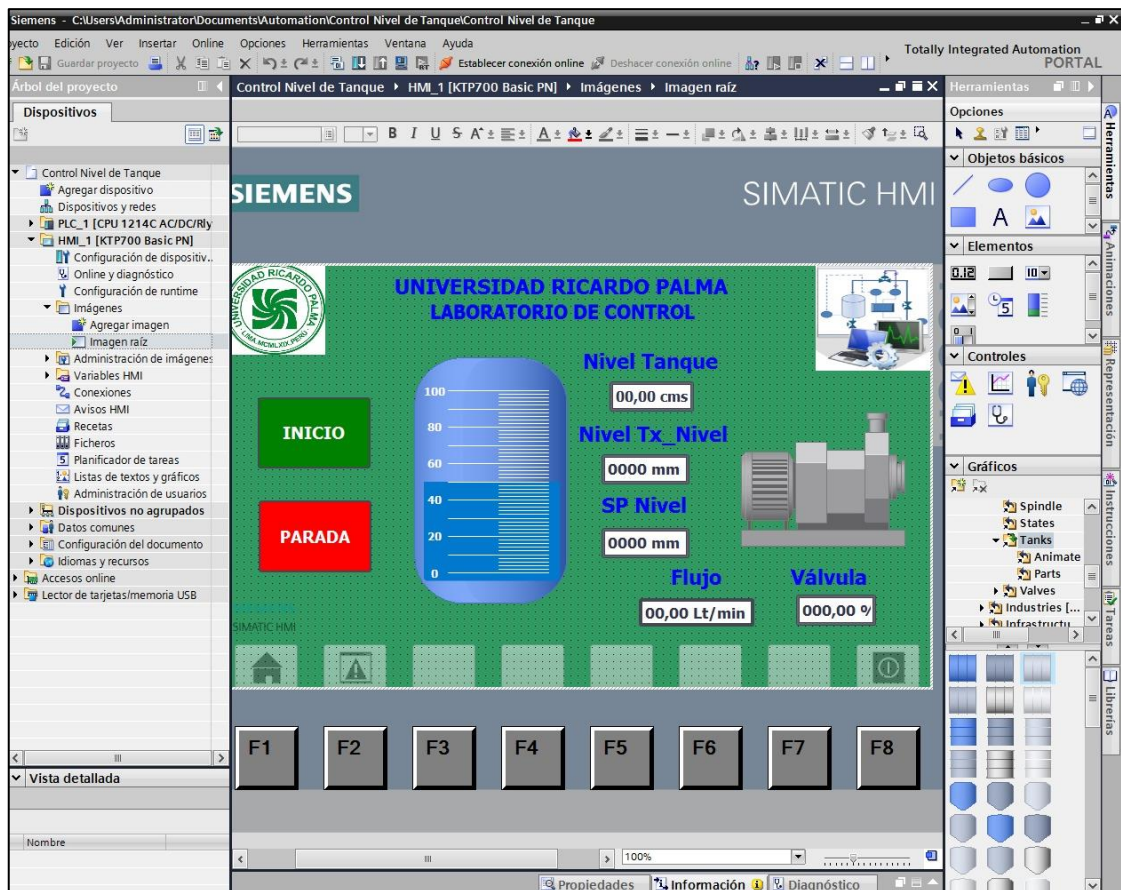


Figura N° 27: Imagen raíz de la pantalla HMI.

Fuente: Elaboración Propia

Se creó el botón INICIO que fue extraído de la tabla de herramientas, en el subnivel elementos, donde también encontramos los indicadores de valores utilizados en la imagen y la animación del nivel de agua; para el botón de INICIO le correspondió la variable del PLC “START\_REMOTO”, ya que al pulsar se activó un bit, de forma similar para el botón PARADA le correspondió la variable “STOP\_REMOTO”, agregar luego un gráfico en forma de tanque y encima de ella se le coloca una barra con un valor mínimo de escala 0cms y un valor máximo de 100cms, cuya variable del proceso es la variable del PLC “Sal\_Real\_Nivel” la cual se encarga de mostrar de forma gráfica la altura que va alcanzando el líquido en el tanque principal; luego se crea el campo de entrada y salida para la válvula, el cual muestra en valor de porcentaje asignada por el valor de la variable del PLC “Porcentaje\_Apertura\_Valv”, luego se crea el campo de entrada y salida para la variable flujo, el cual muestra el valor en litros por minuto, asignada por el valor de la variable del PLC “Flujo\_Escalado”, luego se crea un campo de entrada y

salida el cual muestra el valor en milímetros del set-point asignado por el valor de la variable del PLC “SP\_NIVEL”, luego se crea un nuevo campo de entrada y salida para el transmisor de nivel el cual se muestra en valor de milímetros asignado por el valor de la variable del PLC “Nivel\_Escalado”, y posteriormente se crea el campo de entrada y salida para el Nivel Tanque en el cual se muestra en valor de centímetros, asignándosele el valor de la variable del PLC “Sal\_Real\_Nivel” cuyo valor es la misma de la barra del gráfico del tanque antes descrito; y por último crear la animación de uso de la electrobomba, agregando la imagen de un motor a esta imagen raíz, el cual que cambia a color verde cuando esté encendida la electrobomba, asignada a la variable del PLC “BOMBA” con el rango de 1 a 1 en las propiedades de la animación, y color ploma cuando esté apagada la electrobomba, asignada a la variable del PLC “BOMBA” con el rango de 0 a 0 en las propiedades de la animación; todo según se muestra en la tabla de variables para el HMI, según la figura N°28.

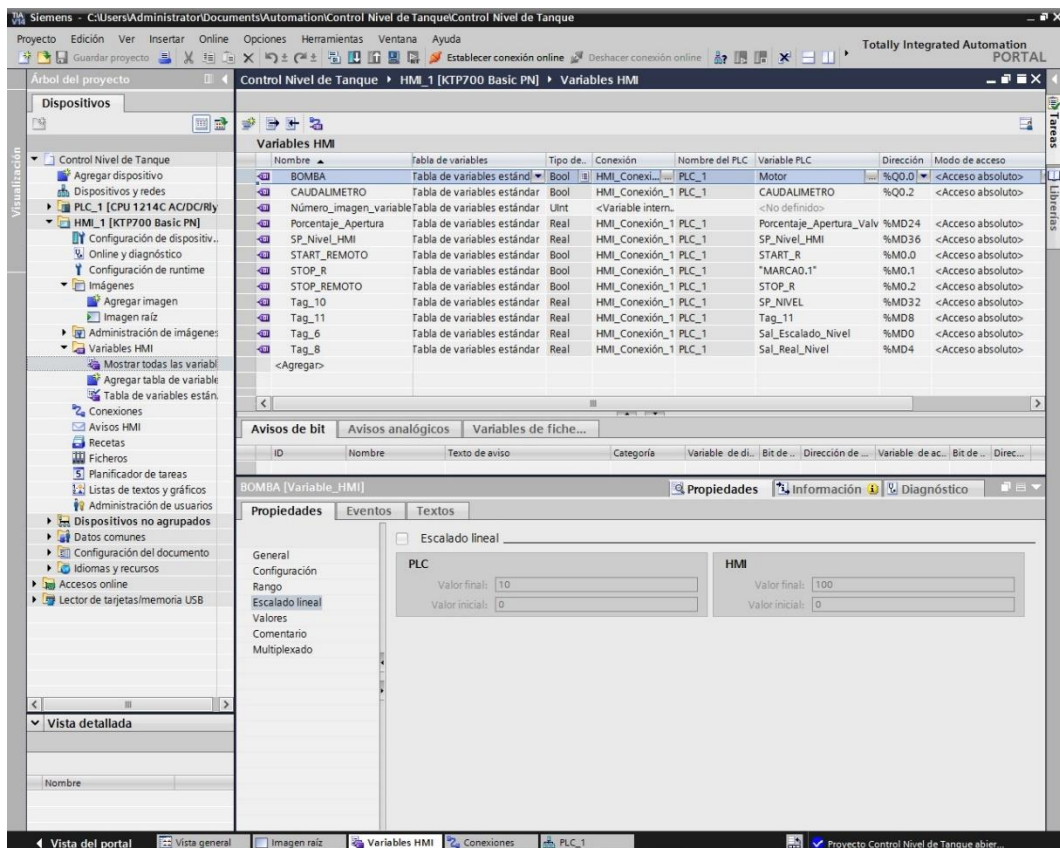


Figura N° 28: Variables asignadas en la pantalla HMI.

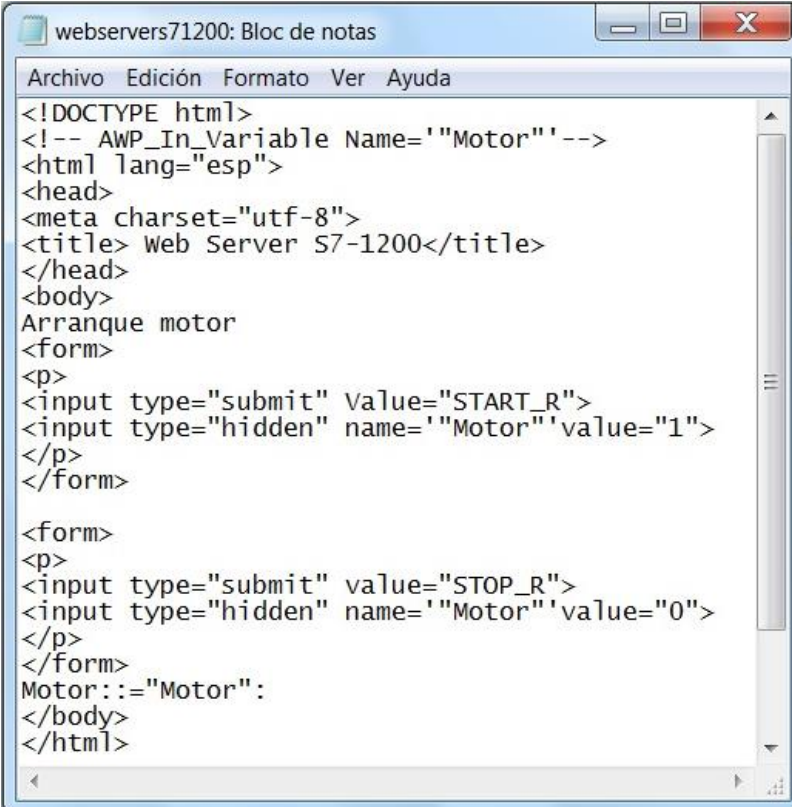
Fuente: Elaboración Propia



Para que las variables puedan interactuar adecuadamente con la pantalla hay que seleccionar en el modo de acceso, el tipo acceso absoluto.

### 3.8. Configuración del servidor web del PLC.

El servidor web del PLC sirve para poder acceder, como usuario autorizado de manera remota, para su monitorización y administración mediante el uso del navegador web de un computador o dispositivo móvil a través de la red (Siemens, 2017), y para este caso, el servidor web dá acceso al encendido y apagado de la electrobomba periférica de manera remota, para configurarlo se ingresó al área de propiedades del PLC, y luego a Servidor web en donde en Páginas por el usuario se escribe la ruta en donde se encuentra el archivo que sirve como página de inicio, que para este caso se ha denominado: “webserver71200.htm”, cuyo contenido del mismo se muestra en la figura N°29.



```
webserver71200: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
<!DOCTYPE html>
<!-- AWP_In_Variable Name=""Motor""-->
<html lang="esp">
<head>
<meta charset="utf-8">
<title> Web Server S7-1200</title>
</head>
<body>
Arranque motor
<form>
<p>
<input type="submit" Value="START_R">
<input type="hidden" name=""Motor""value="1">
</p>
</form>

<form>
<p>
<input type="submit" value="STOP_R">
<input type="hidden" name=""Motor""value="0">
</p>
</form>
Motor::=""Motor"":
</body>
</html>
```

Figura N° 29: Edición del archivo webserver71200.htm.

Fuente: Elaboración Propia

El archivo de la figura N°29, se guardó en la carpeta denominada userpages, ubicada del disco C de la computadora de trabajo, según como se muestra en la figura N°30.

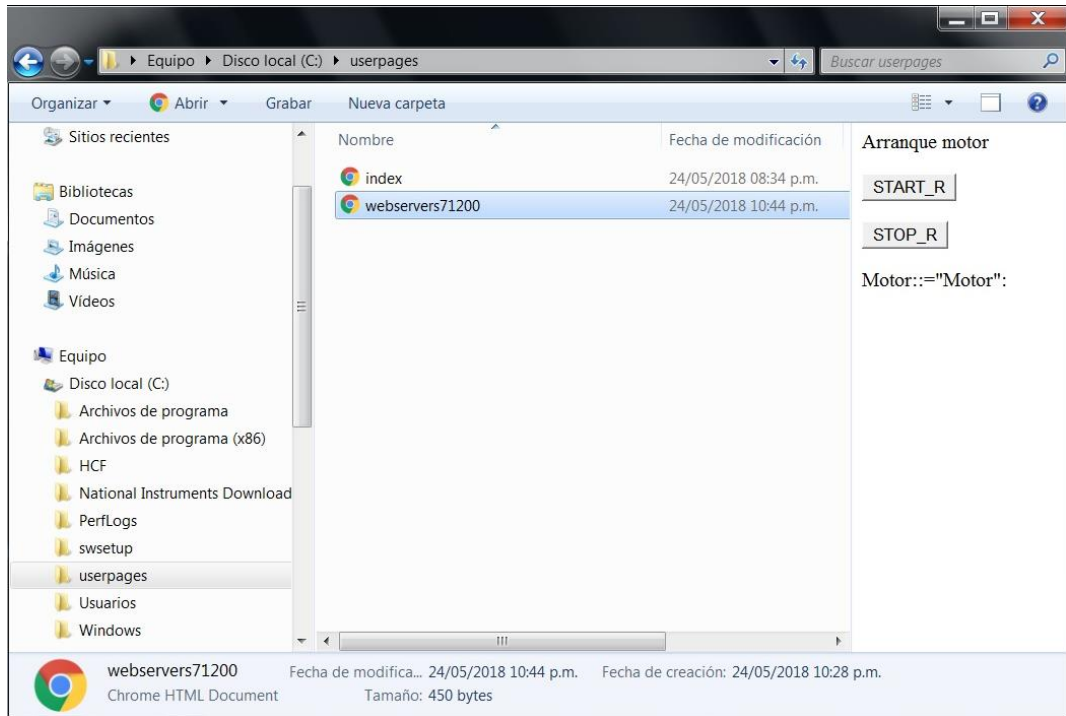


Figura N° 30: Ubicación del archivo webserver71200.htm.

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se genera los bloques necesarios del servidor web para su puesta en uso, localizándolo previamente en el directorio HTML, donde le da la ruta de ubicación del archivo webserver71200.htm, tal como se muestra en la figura N°31.

Y para poder acceder de manera remota se creó antes un usuario y contraseña de seguridad, y esta se configura en administración de usuarios dentro de las propiedades del servidor web, este usuario debe tener un nivel de acceso denominado administrativo, para este caso se creó el usuario Dimas con nivel de acceso administrativo, tal como se muestra en la figura N°32.

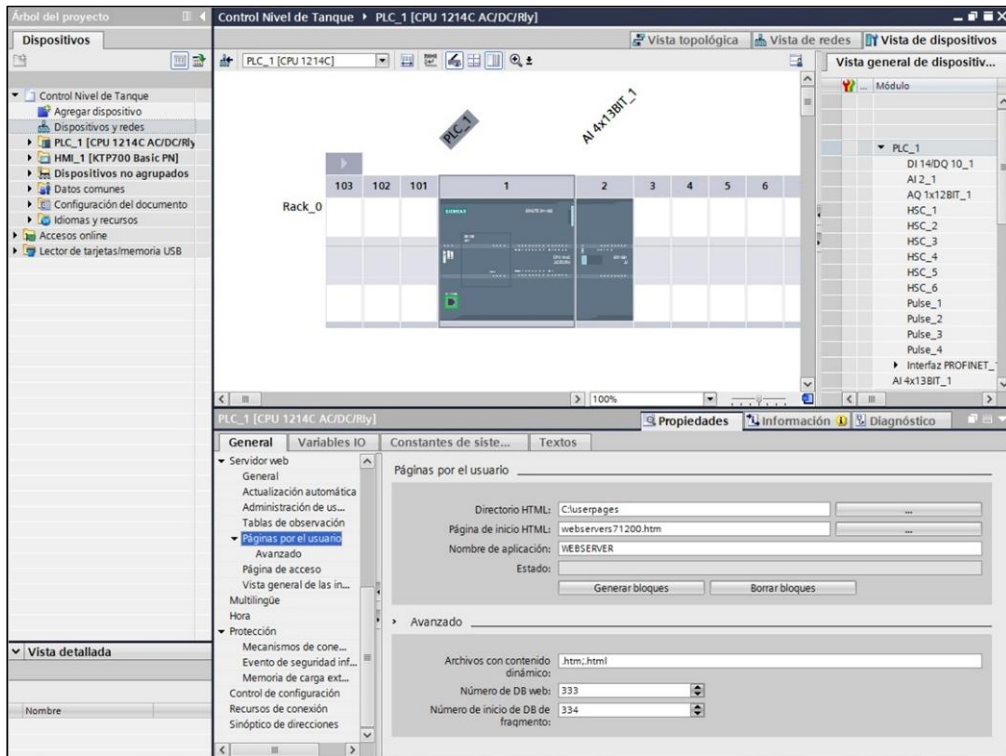


Figura N° 31: Generación de bloques necesarios del servidor web del PLC

Fuente: Elaboración Propia

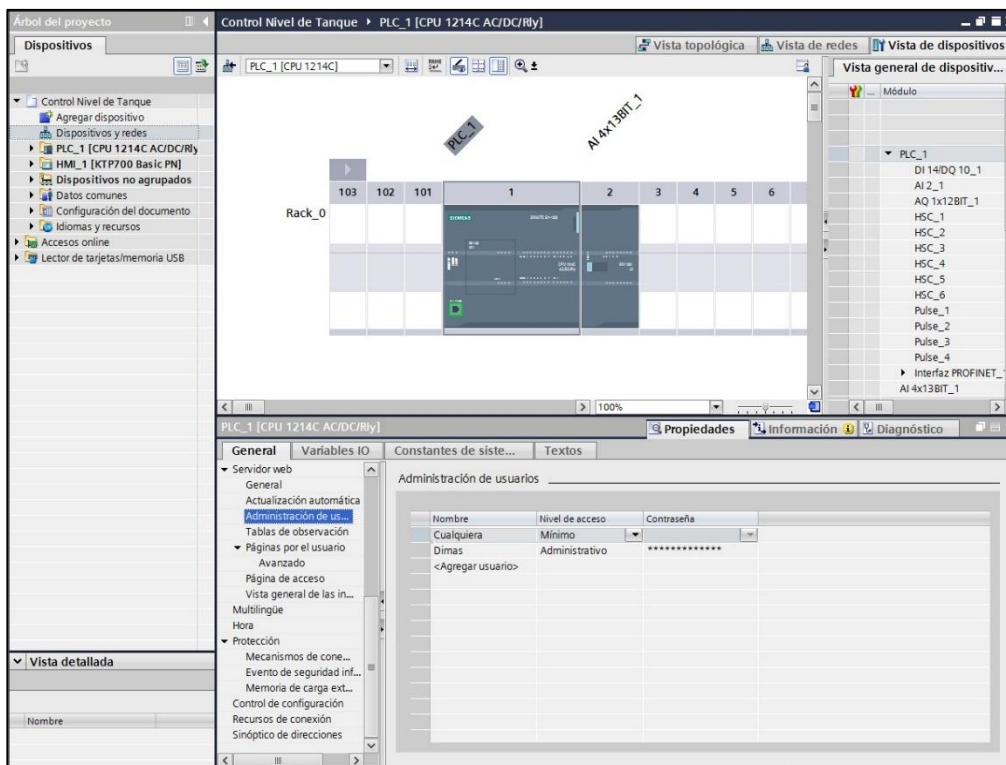


Figura N° 32: Creación de usuario administrativo del servidor web del PLC.

Fuente: Elaboración Propia

Desde un computador se ingresó la dirección IP del PLC en la barra de dirección del navegador web, que para el caso es el 172.17.9.88, para luego ingresar con el usuario y contraseña creada, donde se verifica el PLC con los estados de los LED's observados en la figura N°33.

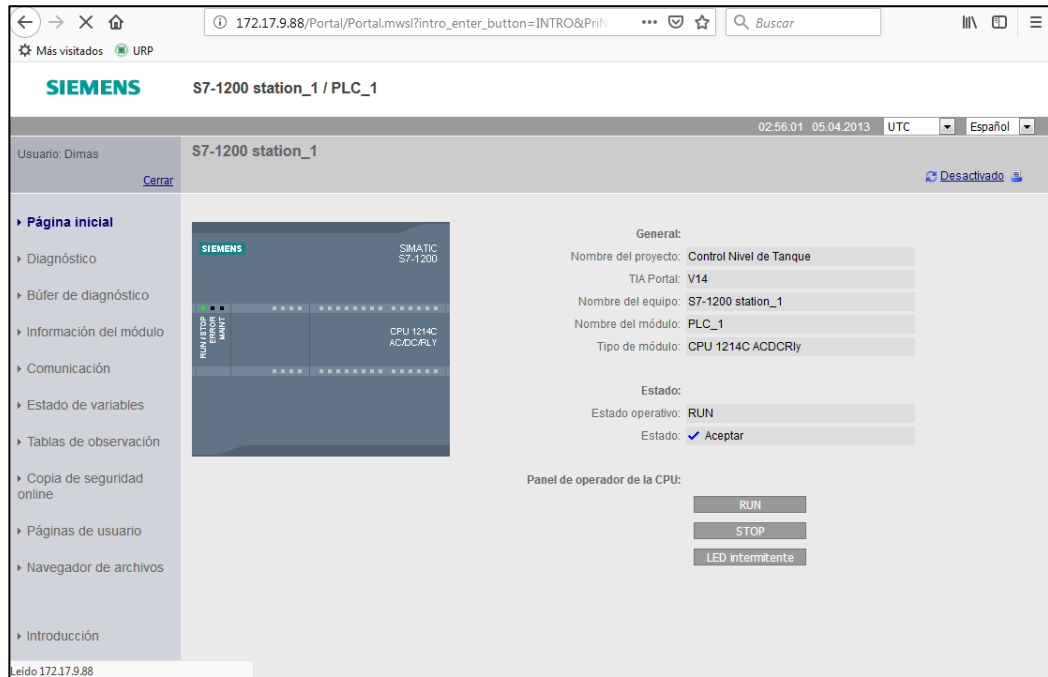


Figura N° 33: Verificación del estado del PLC desde un computador.

Fuente: Elaboración Propia

Luego se puede interactuar directamente en la variación de los valores de las variables definidas en el PLC para su uso en el servidor web, donde se enciende y apaga la electrobomba, ingresando al menú denominado estado de variables, se ingresan las variables motor, start\_r y stop\_r, según se muestra en la figura N°34, siendo el área de modificación de la variable la columna valor, y para activar el nuevo valor se acciona el botón ir.

Para luego ingresar al menú páginas de usuario e ingresar a la página de inicio de la aplicación WEBSERVER, emergiendo una nueva página que dará acceso al arranque y parada de la electrobomba que pone en funcionamiento el proyecto, como se muestra en la figura N°35.

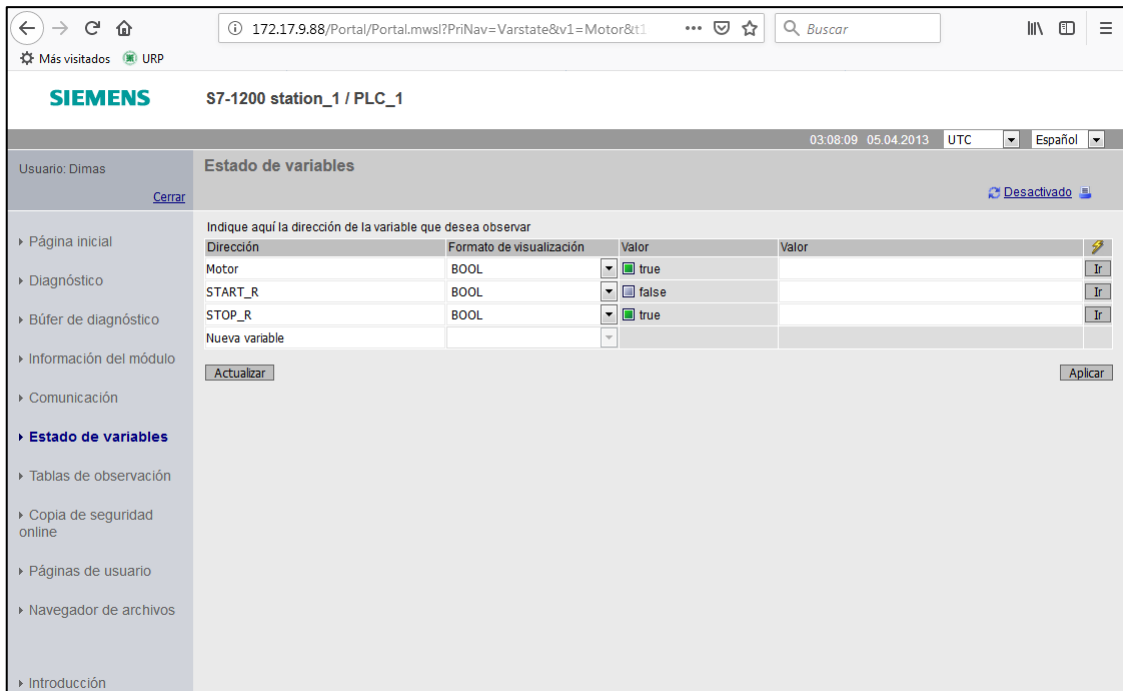


Figura N° 34: Interacción de las variables del PLC desde un computador.

Fuente: Elaboración Propia

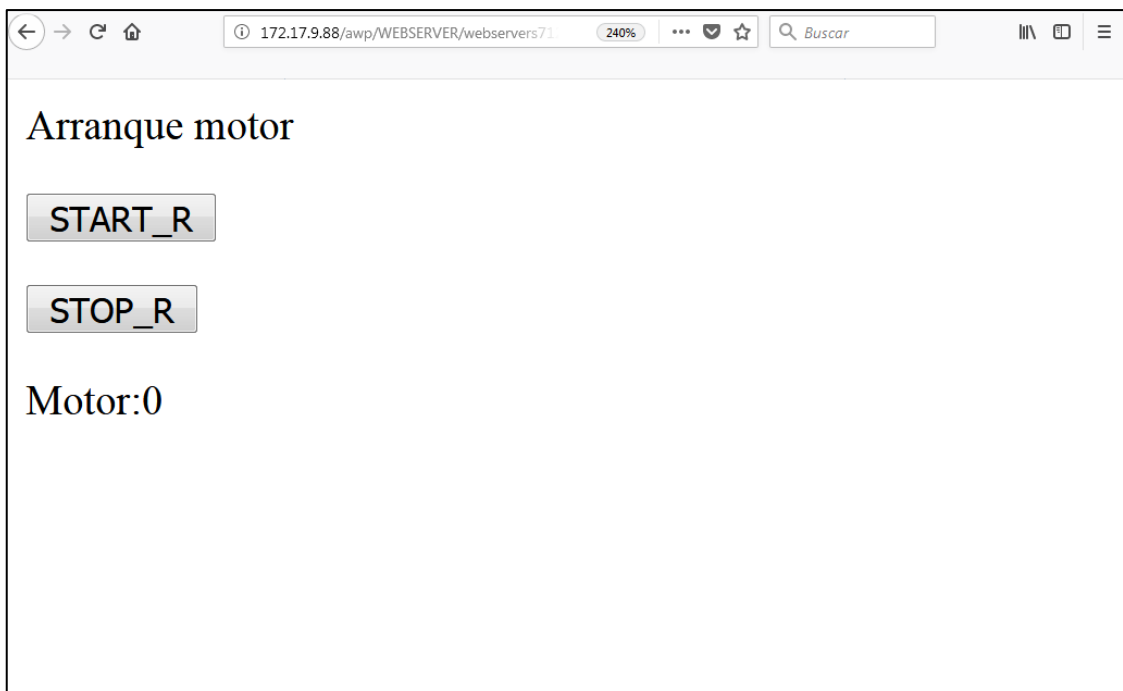


Figura N° 35: Página de acceso remoto al PLC desde un computador

Fuente: Elaboración Propia

Ahora ingresar desde un dispositivo móvil, en este caso será un teléfono celular, ingresando la dirección IP del PLC en la barra de dirección del navegador web, el cual es 172.17.9.88, para luego ingresar con el usuario y contraseña creada, donde se verifica el PLC con los estados de los LED's observados en la figura N°36.



Figura N° 36: Verificación del estado del PLC desde un dispositivo móvil.

Fuente: Elaboración Propia

Interactuar en la variación de los valores de las variables definidas en el PLC para su uso en el servidor web, donde se pudo encender y apagar la electrobomba, para eso se ingresó al menú denominado estado de variables, donde se escribió las variables motor, start\_r y stop\_r, según se muestra en la figura N°37, siendo el área de modificación de la variable la columna valor, y para activar el nuevo valor se accionó el botón ir.



Figura N° 37: Interacción de las variables del PLC desde un dispositivo móvil.

Fuente: Elaboración Propia

Ingresa al menú páginas de usuario y luego ingresa a página de inicio de la aplicación WEBSERVER, donde emerge una nueva página que da acceso al arranque y parada de la electrobomba que pone en funcionamiento el proyecto, como se muestra en la figura N°38.

En esta figura N°38 observa que el motor se encuentra en estado 1, lo cual significa que se encuentra encendida la electrobomba y en consecuencia se encuentra en funcionamiento el módulo, a comparación de la figura N°35 en donde el motor todavía se encuentra apagado al estar el motor en estado 0.

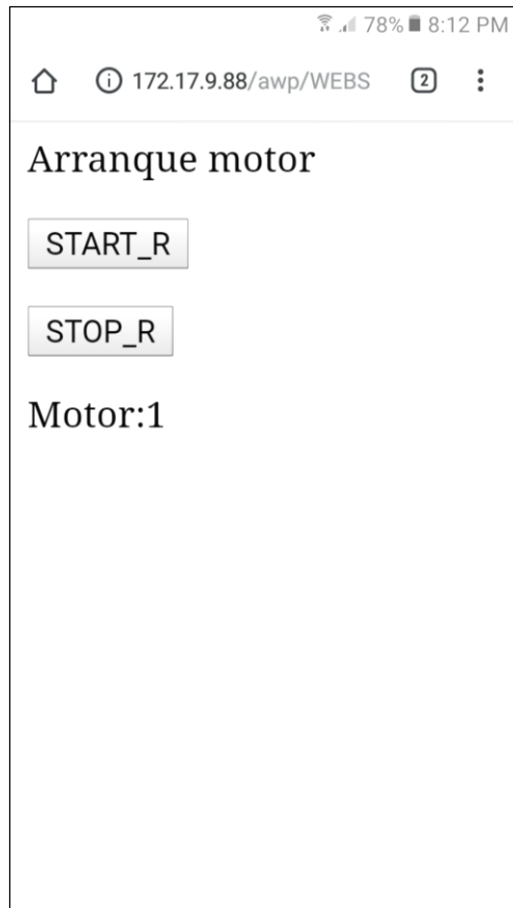


Figura N° 38: Página de acceso remoto al PLC desde un dispositivo móvil

Fuente: Elaboración Propia



## CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo muestra los resultados para este proyecto; se hicieron pruebas en los parámetros de control PID de la variable nivel y parámetros de control PID de la variable flujo que se encuentran en la ventana configuración de cada uno de ellos, habilitando la activación de entrada manual donde se ingresaron nuevos valores en reemplazo a los iniciales del programa para la obtención del valor final más próximo al punto de consigna o set-point; utilizando el método de sintonía de prueba y error, así mismo ya que se manejaron dos variables que son nivel y flujo, se decidió implementar una estrategia de control en cascada en donde la salida del controlador primario es la entrada de set-point del controlador secundario, y la salida de este controlador secundario es el porcentaje de apertura de la válvula.

- Sintonía de PID por el método de prueba y error para el controlador primario:

Se realizaron pruebas de sintonía para el controlador primario y se consiguieron los valores donde encontramos una ganancia proporcional pequeña  $K_p=0.25$  y un tiempo integral de valor  $T_i=10.31$ , que dieron la mejor respuesta ante las tres variaciones de punto de consigna o set-point.

La figura N°39 muestra los valores implementados en el programa para el controlador primario.

- Sintonía de PID por el método de prueba y error para el controlador secundario:

Se realizaron pruebas de sintonía para el controlador secundario y se consiguieron los valores donde encontramos una ganancia proporcional grande  $K_p=2.5$ , en comparación con la ganancia proporcional del controlador primario, es diez veces mayor, valor que dió la mejor respuesta ante las tres variaciones de punto de consigna o set-point.

La figura N°40 muestra los valores implementados en el programa para el controlador secundario.

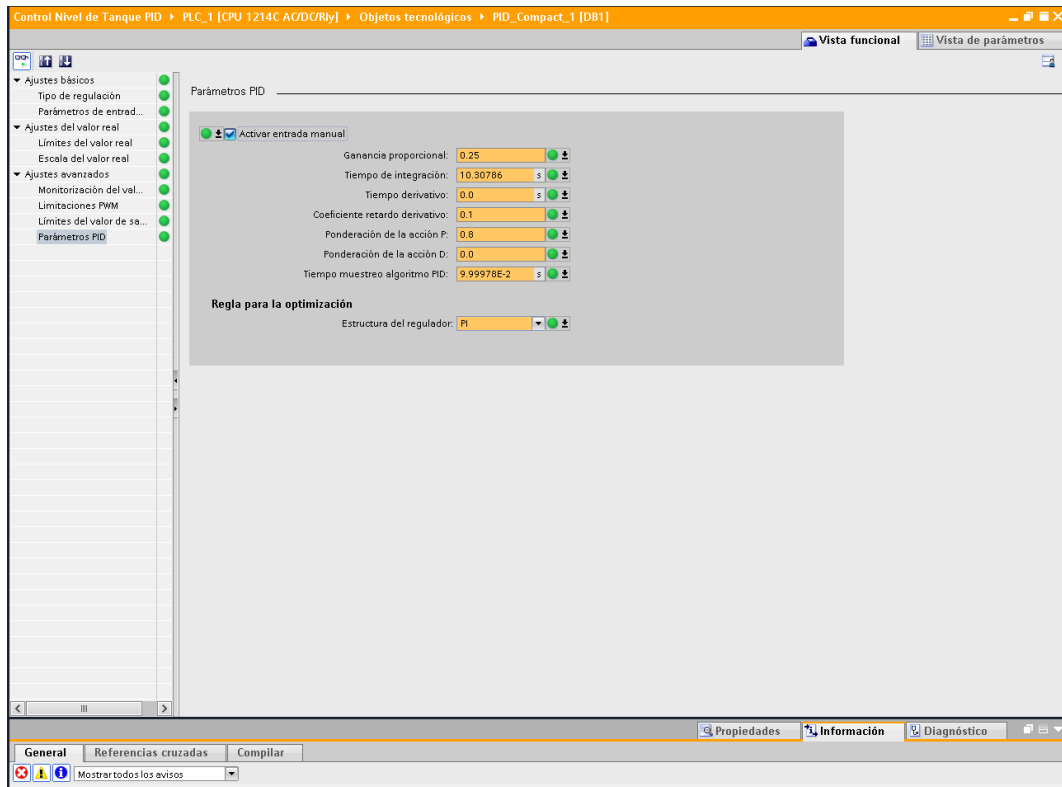
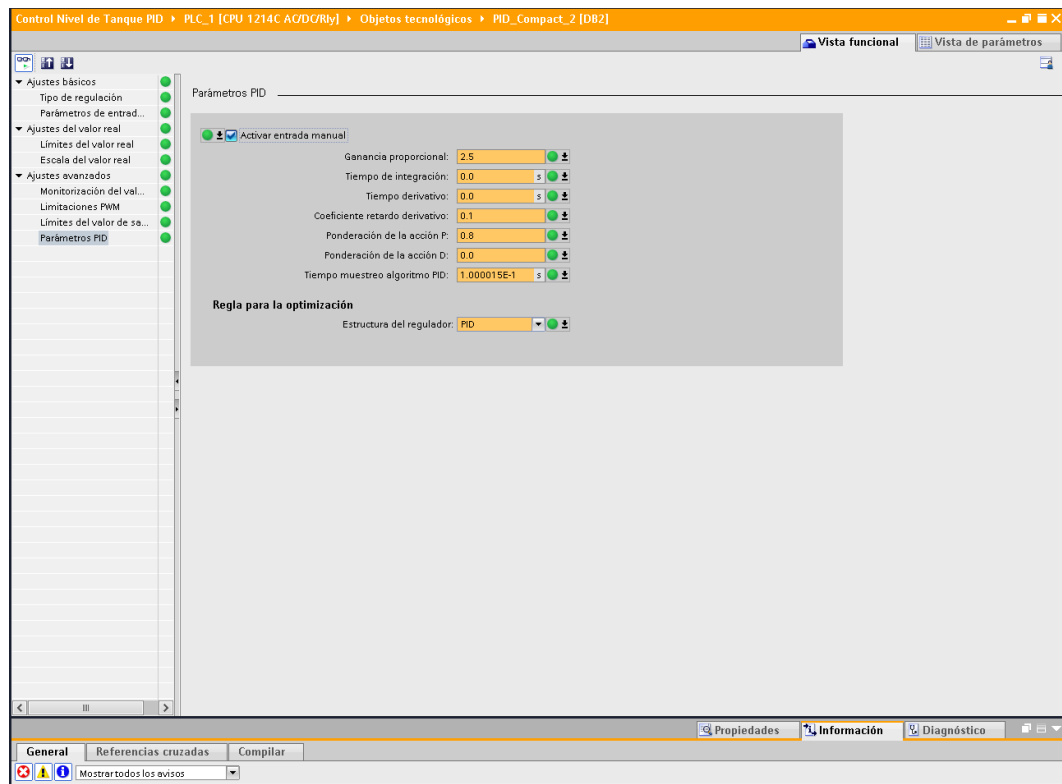


Figura N° 39: Valores del controlador primario.

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 40: Valores del controlador secundario.

Se realizaron pruebas de valores para tres puntos de consigna o set-point para la variable nivel; siendo estas las siguientes:

#### 4.1 Análisis del resultado con valor set-point de 1300mm.

El tanque cuenta con líquido desde 1200mm hasta los 2000mm, medido desde el transmisor de nivel ultrasónico el cual se encuentra en la parte superior del tanque; por consiguiente, al ingresar el primer set-point (MD32) en el controlador primario, representado en la figura N°41, como la variable del proceso nivel de agua (MD0) de color verde va llegando al valor deseado o set-point representado en color negro, al tener el controlador primario una ganancia proporcional diez veces menor ( $K_p= 0.25$ ) a comparación del secundario, se ve que el valor de la respuesta proporcional será estable, con un tiempo integral de valor  $T_i = 10.31$  para eliminar el error y llegar al valor del set-point, cuyo valor de salida output (MD40) en color rojo, se irá hacia el controlador secundario como valor de set-point.

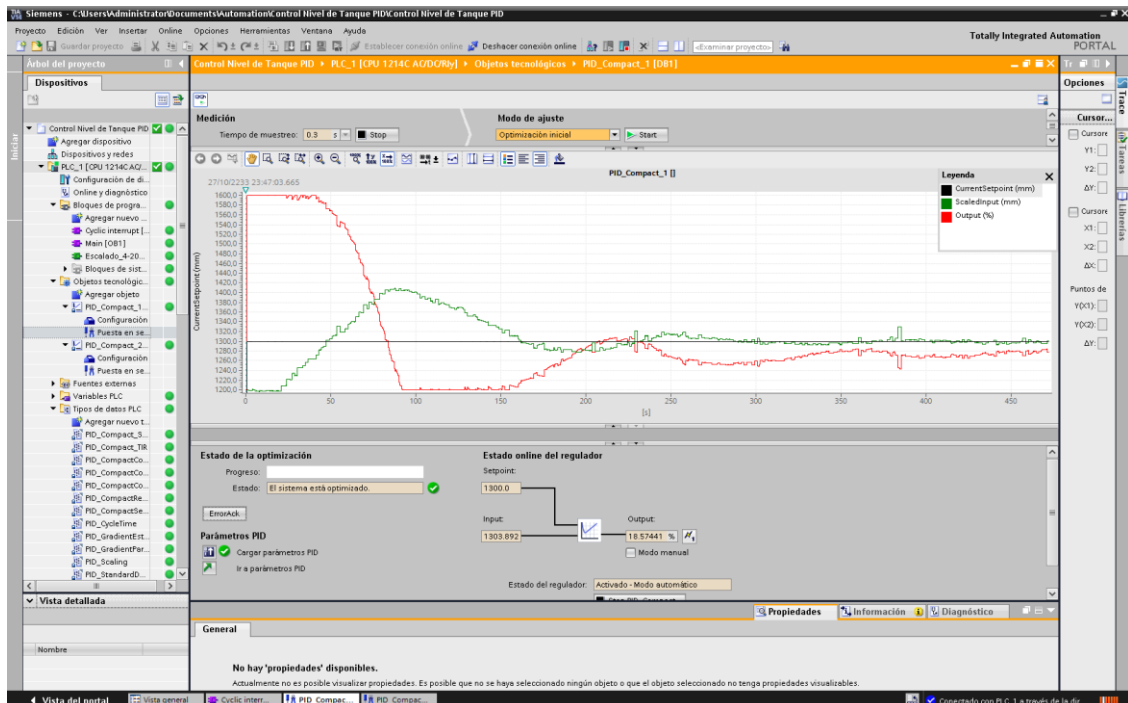


Figura N° 41: Comportamiento del controlador primario con set-point 1300mm.

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en la figura N°41 que el valor inicial de nivel es de 1200mm y después de 300seg se establece en el valor de set-point deseado, siendo para el presente caso los 1300mm.

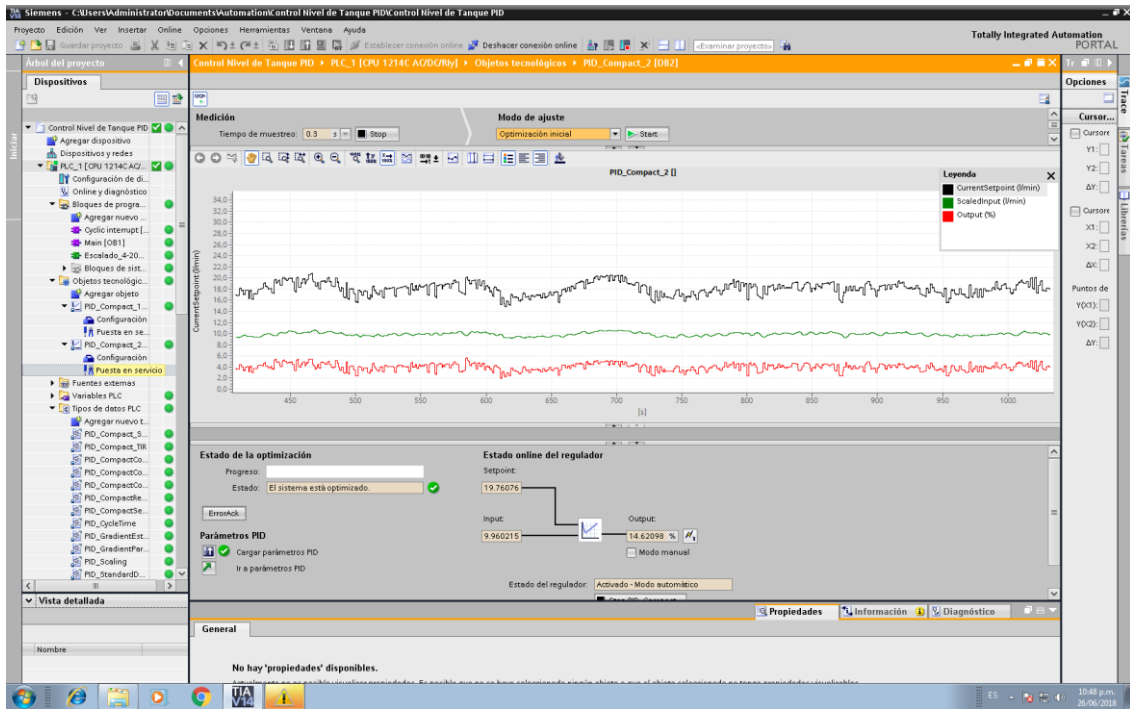


Figura N° 42: Comportamiento del controlador secundario con set-point 1300mm.

Fuente: Elaboración Propia

El controlador secundario en la figura N°42, tendrá como ingreso de set-point el valor de salida del controlador primario (MD40) representado de color negro en la figura, con una variable del proceso que es el valor del flujo (MD8) representado de color verde, y salida en porcentaje de apertura de la válvula (MD24) representado de color rojo que va en valor de 0 a 100% del paso del agua, cual tiene un comportamiento muy similar a la salida del controlador primario controlado por el valor de flujo.

#### 4.2 Análisis del resultado con valor set-point de 1400mm.

Se cambia en el controlador primario el valor del set-point anterior de 1300mm al nuevo valor de set-point: 1400mm (color negro) observado en la figura N°43, teniendo el controlador primario una ganancia proporcional pequeña  $K_p = 0.25$ ,

vemos así que el valor de la respuesta proporcional será estable, con un tiempo integral de valor  $T_i = 10.31$  para eliminar el error y llegar al valor del set-point, y cuyo valor de salida output (color rojo) se irá hacia el controlador secundario como valor de set-point.

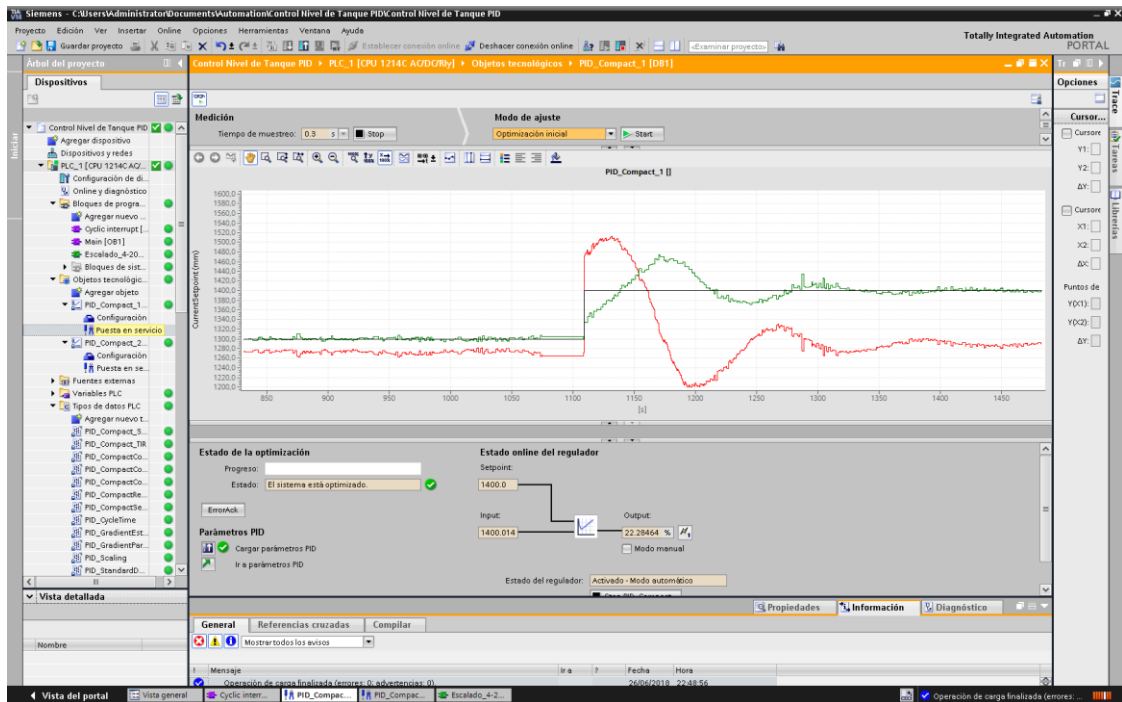


Figura N° 43: Comportamiento del controlador primario con set-point 1400mm.

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en la figura N°43, que se ha generado el cambio de set-point en el segundo 1100, y llega a valor deseado en el segundo 1380, dando un tiempo de establecimiento de 280seg.

El controlador secundario en la figura N°44, tendrá un ingreso de set-point que será el valor de salida del controlador primario (color negro), con una variable del proceso que es el valor del flujo (color verde) y salida en porcentaje de apertura de la válvula (color rojo) que va en valor de 0 a 100% del paso del agua, cual tiene un comportamiento muy similar a la salida del controlador primario controlado por el valor de flujo.

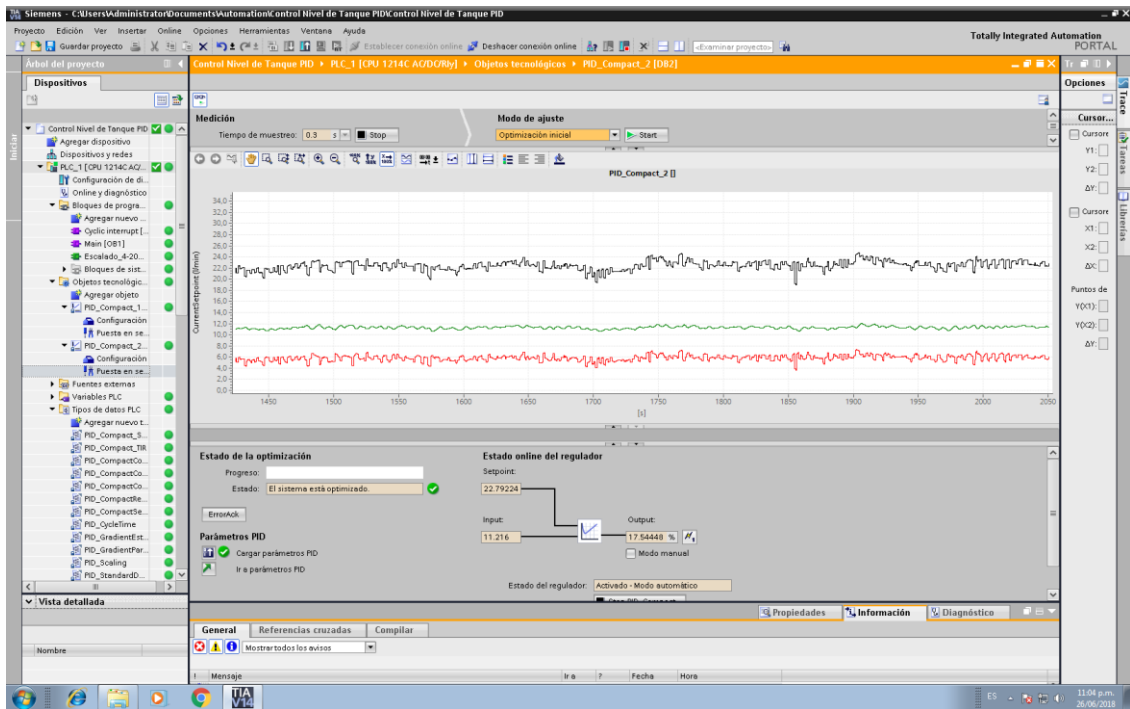


Figura N° 44: Comportamiento del controlador secundario con set-point 1400mm.

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3 Análisis del resultado con valor set-point de 1500mm.

Se cambia en el controlador primario el valor del set-point anterior de 1400mm al nuevo valor de set-point 1500mm (color negro) observado en la figura N°45, al tener el controlador primario una ganancia proporcional pequeña  $K_p = 0.25$ , viendo así que el valor de la respuesta proporcional será estable, con un tiempo integral de valor  $T_i = 10.31$  para eliminar el error y llegar al valor del set-point, cuyo valor de salida output (color rojo) se irá hacia el controlador secundario como valor de set-point.

Se puede observar en la figura N°45, que se ha generado el cambio de set-point en el segundo 980 y se llega a valor deseado en el segundo 1330, dando un tiempo de establecimiento de 350seg.

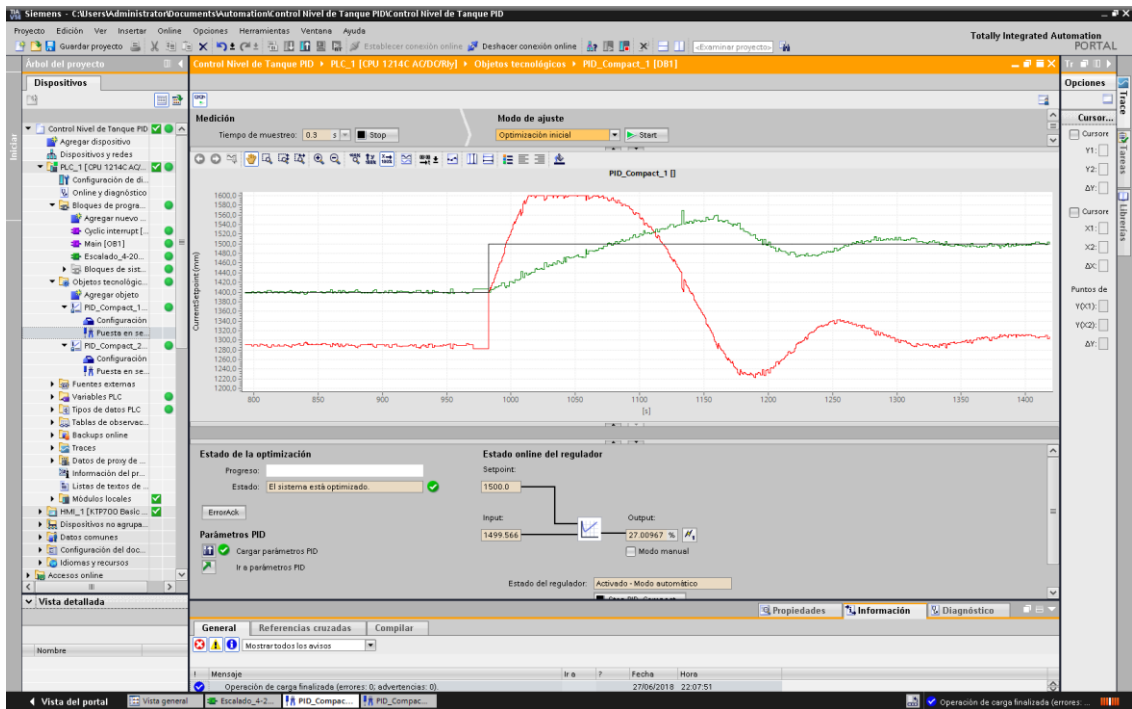


Figura N° 45: Comportamiento del controlador primario con set-point 1500mm.

Fuente: Elaboración Propia

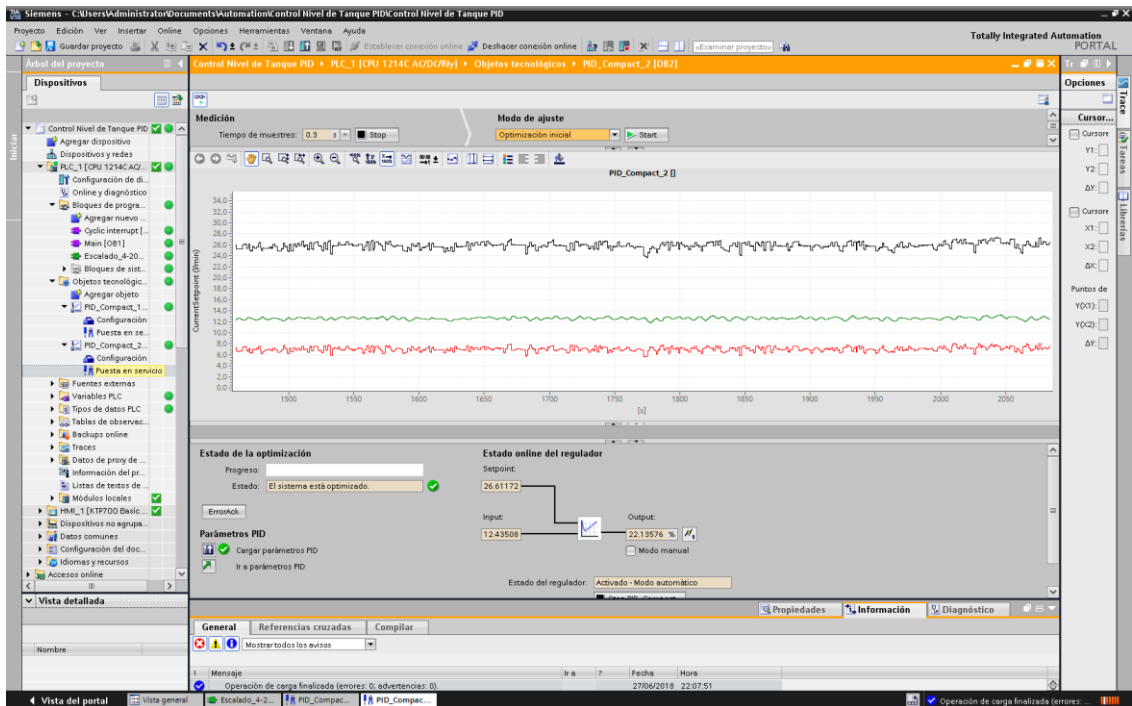


Figura N° 46: Comportamiento del controlador secundario con set-point 1500mm.

Fuente: Elaboración Propia

El controlador secundario en la figura N° 46, tendrá un ingreso de set-point que será el valor de salida del controlador primario (color negro), con una variable del proceso que es el valor del flujo (color verde) y salida en porcentaje de apertura de la válvula (color rojo) que va en valor de 0 a 100% del paso del agua, cual tiene un comportamiento muy similar a la salida del controlador primario controlado por el valor de flujo.

Por ello, en la tabla N°2, se muestran tres de las características correspondientes a los resultados alcanzados en cuanto al control de la variable nivel desde el punto de vista temporal.

Tabla N° 2: Principales características de las pruebas realizadas.

VALORES DE SP	TIEMPO DE ESTABLECIM.	SOBRE IMPULSO	TIEMPO PICO
SP = 1300 mm.	300 seg.	100 mm.	86 seg.
SP = 1400 mm.	280 seg.	70 mm.	75 seg.
SP = 1500 mm.	350 seg.	150 mm.	80 seg.

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.4 Análisis del resultado con valor de set-point de 1300mm con perturbaciones.**

Se generó perturbación en el proceso, abriendo la toma de desfogue en la tubería de salida de descarga del tanque, ubicada en la parte inferior del tanque principal. Se observa en la figura N°47 como se logra llegar al valor de set-point, aun existiendo perturbación.

Se observa la generación de una perturbación en el segundo 51, terminando la misma en el segundo 110, donde se estabiliza en el segundo 270, dando un tiempo de establecimiento de 160seg.

#### **4.5 Análisis del resultado con valor de set-point de 1400mm con perturbaciones.**

Se generó perturbación en el proceso, abriendo la toma de desfogue en la tubería de salida de descargar del tanque, ubicada en la parte inferior del tanque principal.



Se observa en la figura N°48 como se logra llegar al valor de set-point, aun existiendo perturbación.

Se observa la generación de una perturbación en el segundo 70, terminando la misma en el segundo 140, donde se estabiliza en el segundo 290, dando un tiempo de establecimiento de 150seg.

#### 4.6 Análisis del resultado con valor de set-point de 1500mm con perturbaciones.

Se generó perturbación en el proceso, abriendo la toma de desfogue en la tubería de salida de descarga del tanque, ubicada en la parte inferior del tanque principal. Observamos en la figura N°49 como se logra llegar al valor de set-point, aun existiendo perturbación.

De la figura N°49 se pudo observar la generación de una perturbación en el segundo 70, terminando la misma en el segundo 220, donde se estabiliza en el segundo 420, dando un tiempo de establecimiento de 200seg.

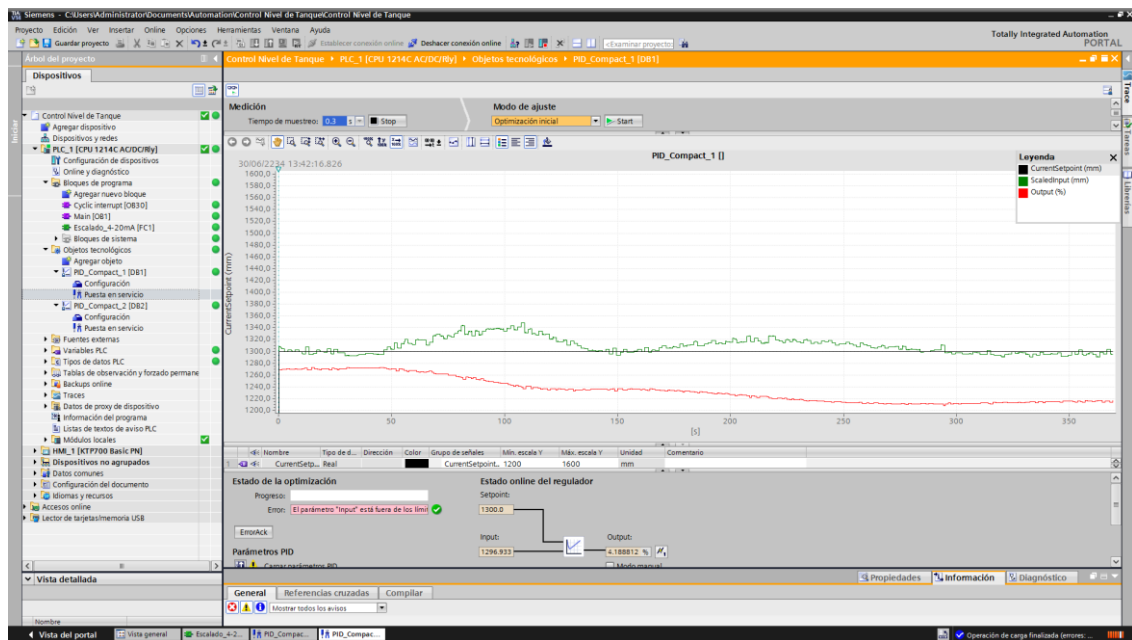


Figura N° 47: Comportamiento del controlador primario con set-point 1300mm, con perturbaciones.

Fuente: Elaboración Propia

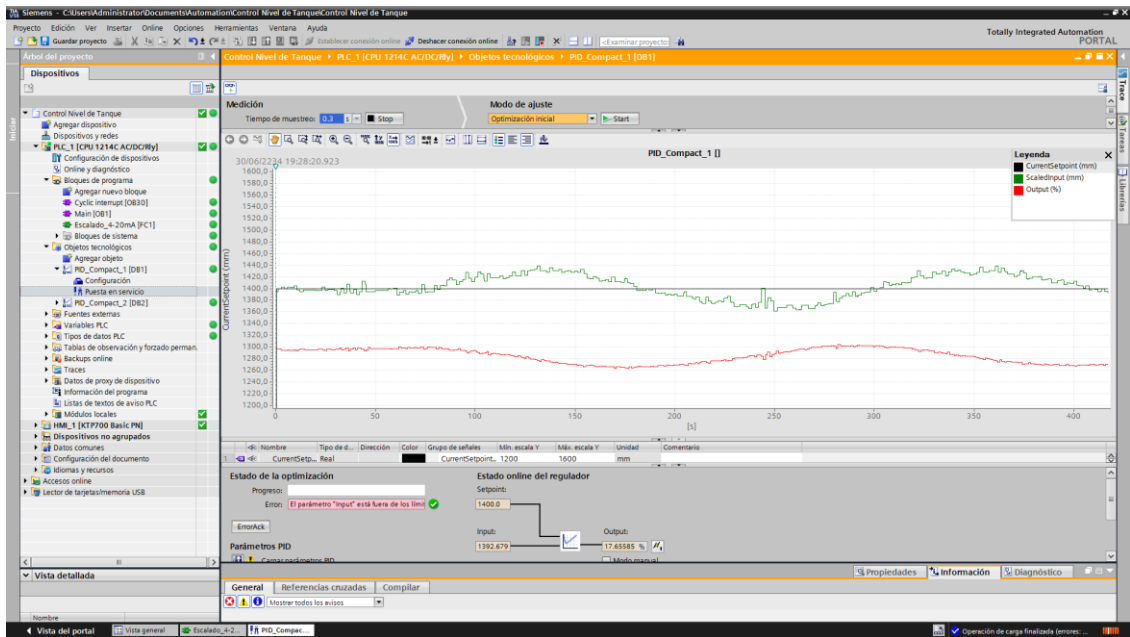


Figura N° 48: Comportamiento del controlador primario con set-point 1400mm, con perturbaciones.

Fuente: Elaboración Propia

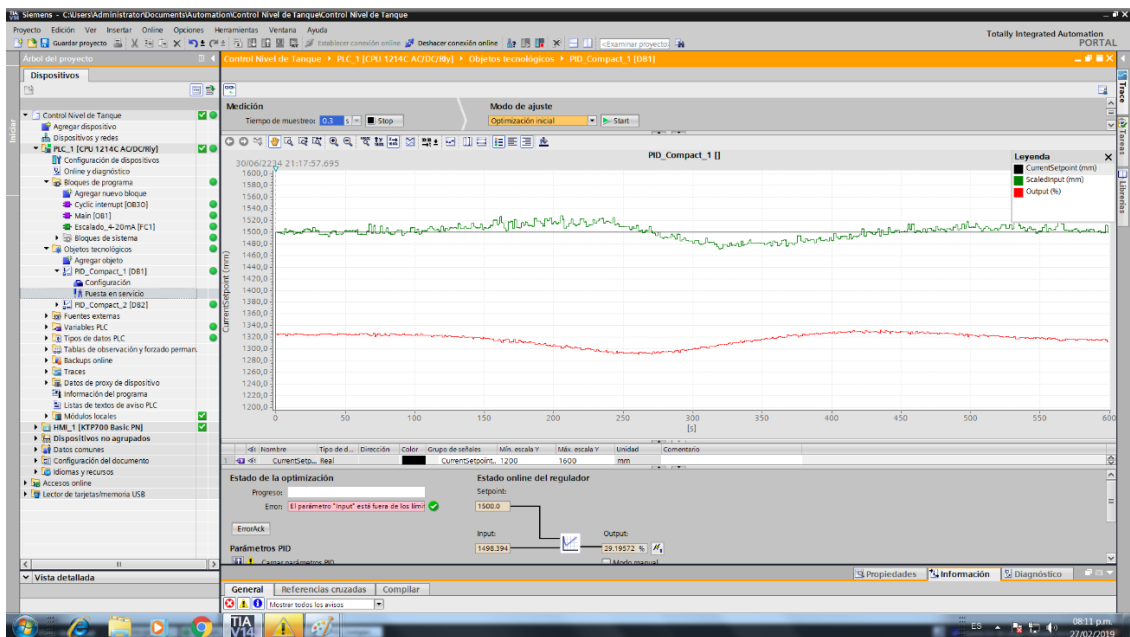


Figura N° 49: Comportamiento del controlador primario con set-point 1500mm, con perturbaciones.

Fuente: Elaboración Propia

Por ello, en la tabla N°3, se muestran tres de las características correspondientes a los resultados alcanzados en cuanto al control de la variable nivel con perturbaciones para los tres niveles de set-point trabajados.

Tabla N° 3: Principales características de las pruebas realizadas con perturbación.

VALORES DE SP	TIEMPO DE ESTABLECIM.	SOBRE IMPULSO	TIEMPO PICO
SP = 1300 mm.	160 seg.	25 mm.	110 seg.
SP = 1400 mm.	150 seg.	38 mm.	110 seg.
SP = 1500 mm.	200 seg.	30 mm.	105 seg.

Fuente: Elaboración Propia

Se concluye que, ante la presencia de perturbaciones, el tiempo de establecimiento se reduce a la mitad, y el sobre impulso a la tercera parte en comparación al establecimiento a los valores de set-point sin perturbaciones, y así mismo el tiempo pico se acerca mucho al tiempo de establecimiento, concluyendo el accionamiento con prontitud al valor de set-point en estas condiciones.

#### 4.7 Presupuesto

En la tabla N° 4, se detalla el costo del módulo de control de nivel del Laboratorio de Control, con los equipos e instrumentos propios del Laboratorio y utilizado en este trabajo de tesis.

Tabla N° 4: Tabla de costo

N°	Materiales	Unidad de	Cantidad	Precio Total
----	------------	-----------	----------	--------------

		Medida		
1	Tanque de acrílico dimensiones 2mts alto x 4mm espesor x 30cm de diámetro.	Unid	1	800.00
2	Tanque de acrílico dimensiones 60cm alto x 4mm de espesor x 30cm de diámetro.	Unid	1	400.00
3	Transmisor de Nivel Ultrasónico.	Unid	1	3,309.00
4	Transmisor de Flujo Electromagnético	Unid	1	5,536.56
5	Válvula de control proporcional	Unid	1	2,174.50
6	Posicionador inteligente para válvula	Unid	1	2,992.95
7	PLC Siemens S7 1200 CPU AC-DC-RLY	Unid	1	1,789.20
8	Pantalla HMI	Unid	1	1,264.10
9	Módulo Siemens SB 1232 AO	Unid	1	1,032.30
10	Módulo Siemens SM 1231 AI	Unid	1	1,032.30
11	Filtro regulador de aire comprimido	Unid	1	128.40
12	Bomba eléctrica de 0.5HP.	Unid	1	292.00
13	Fuente de alimentación 24 VDC 4A	Unid	1	421.75
14	Llave térmica de 25A	Unid	1	30.00
15	Accesorios para instalación en tanque	Unid	1	330.00
			Total	S/. 21,553.06

Fuente: Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

Las conclusiones correspondientes al desarrollo de esta investigación, son:

1. Se logró modernizar el módulo de control de procesos el cual ayudará a los estudiantes a realizar prácticas de automatización e instrumentación con la tecnología actual que encontrarán en un ambiente laboral en las áreas de instrumentación y automatización industrial, sustituyendo el PLC Siemens S7-200 por el Siemens S7-1200, sustituyendo el sensor ultrasónico SRF06 por el transmisor de nivel ultrasónico SGM Lektra modelo Meter2F4A adquirido para el presente proyecto de investigación, sustituyendo el módulo de cuatro entradas y una salida analógica Siemens EM-235 para S7-200, por el módulo de cuatro entradas analógicas Siemens SM1231 y módulo de una salida analógica Siemens SB1232, ambas para S7-1200; y finalmente el cambio de software de programación, del STEP 7 - Micro/WIN V 4.0 SP2 al uso del nuevo software, STEP 7 Basic V14 que se desarrolla en la plataforma base TIA Portal como ya se describió en la sección de Metodología del proyecto de investigación.
2. La programación del nuevo PLC Siemens S7-1200 se realizó de tal manera que se pudo trabajar con las dos variables industriales: Nivel y Flujo en un control de tipo cascada, de tal manera que se anidaron los lazos de control escogiéndose a la variable flujo como lazo secundario por su rapidez en comparación con la variable nivel que quedó esta última como lazo primario; la estrategia de unión de ambos lazos se dio conectando la salida del controlador primario (nivel) como entrada de set-point del controlador secundario (flujo), y cuya salida de corriente de este controlador secundario indicó el porcentaje de apertura de la válvula de control neumática del proyecto de tesis; en donde también el lazo secundario (flujo) se recomienda que tenga una alta ganancia. Para este caso la razón ha sido de 10 a 1 con respecto al lazo primario (nivel), así también se recomienda que el controlador secundario sea implementado como un controlador proporcional puro, y el primario como un controlador proporcional e integral para una mejor respuesta final como la que se ha obtenido en el presente proyecto. Todo esto es sustentado en el capítulo IV.
3. La programación de la pantalla táctil Siemens KTP 700 Basic fue a satisfacción lograda con el uso de las librerías de gráficos del software STEP 7 Basic V14, logrando ser verificada su efectividad al ser puesta en marcha el módulo de control de nivel desde esta pantalla HMI. Además, también fue posible

visualizar los valores programados y para esto fue necesario que el software STEP 7 Basic V14 se encuentre correctamente instalado en la misma PC o Laptop utilizada, y contar con una correcta comunicación entre ellas. La sección 3.7 del capítulo III, sustenta el alcance de este objetivo. Adicionalmente se puso en marcha el acceso remoto al encendido y apagado del módulo de control de nivel con el uso del servidor web del PLC, para este caso fue necesario deshabilitar la conexión al servidor proxy de los dispositivos que harían uso del servidor web, también se dispuso la conexión a la red LAN de un Access Point para el acceso remoto desde un teléfono celular, tablet u otro dispositivo móvil. Esto puede ser encontrado en el ítem 3.8 del capítulo III.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda para un trabajo posterior, la programación de la página de inicio también pueda mostrar los valores de las dos variables industriales en tiempo real, así también como el valor de set-point; y finalmente se podría también habilitar un puerto de red con

la asignación de una IP pública para tener acceso desde cualquier lugar fuera del campus de esta Universidad.

Como hemos visto el PLC S7 1200, no cuenta en su librería con un control de tipo Cascada, por lo que se procedió con la interconexión del lazo primario con el secundario, recomendando para una posterior investigación el uso de otro PLC que cuente con el mencionado control para su uso directo.

Así también se recomienda para una investigación posterior, la implementación de un software SCADA como el Simatic WinCC, y así se podría contar con visualización del proceso mediante un computador en tiempo real en donde se podría incluir la emisión de avisos a eventos programados, así como la emisión de reportes.

Se podría también optar por utilizar un variador de frecuencia para un control en la velocidad de la electrobomba y comparar con ella la respuesta al control del proceso materia de investigación. De esta manera, el control en cascada del proceso podría mejorar al contar con una mayor información de mediciones tomadas por este equipo como voltaje, corriente, consumo de energía, transmisión de alarmas y fallas; y con ello se tomarían las decisiones más adecuadas en tiempo real.

Además, para convertir este proyecto en una aplicación más práctica y útil para los alumnos de las carreras de ingeniería electrónica y mecatrónica, que llevan los cursos de sistemas de automatización industrial y control de procesos industriales, en la Universidad Ricardo Palma, se haría necesario implementar la herramienta de simulación de la programación de los PLCs para el entorno TIA Portal, siendo este software el Simatic Step 7 PLCSIM el cual les permitirá probar y configurar adecuadamente el programa antes de su descargar y puesta en marcha en el PLC.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Alberto, M., Perez, A., & Perez, E. (2008). *Introducción a los Sistemas de Control y Modelo Matemático para Sistemas Lineales Invariantes en el Tiempo*. (Cátedra

Control I). Universidad Nacional de San Juan. San Juan-Argentina. Recuperado de <http://dea.unsj.edu.ar/control1b/teoria/unidad1y2.pdf>

Alzate, D. (2010). *Control y Medida de Nivel de Líquido con Señales de Ultra Sonido*. (Tesis de Tecnólogo Eléctrico). Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Pereira, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1774/6298A478.pdf;sequence=4>

Åström, K. y Hägglund, T. (2009). *Control PID Avanzado* (1ra ed.). España: Pearson Educación S. A.

Astudillo, R. (2016). *Diseño e Implementación de un Prototipo de Medidor de Nivel de Agua a través de un Sensor Ultrasónico para Pasos Deprimidos*. (Tesis de Ingeniero en Electrónica Digital y Telecomunicaciones). Universidad Israel, Carrera de Ingeniería en Electrónica Digital y Telecomunicaciones. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://157.100.241.244/bitstream/47000/1181/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-19.pdf>

Bohorquez, K. Fonseca, D & Gutiérrez, S. (2017). *Sistema Didáctico para el Control de Nivel con Tanques Acoplados*. (Tesis de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones). Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15297/1/Documento%20Tanques%20Acoplados%2012-12-2017%20Versi%C3%B3n%20Final.pdf>

Bolton, W. (2001). *Ingeniería de Control* (2da ed.). Mexico: Alfaomega.

Cachumba, G. (2019). *Implementación de un Prototipo para el Control Automático de Nivel de Agua para Tanques de Almacenamiento con Interfaz HMI*. (Tesis de



Ingeniero en Electrónica Digital y Telecomunicaciones). Universidad Israel, Carrera de Ingeniería en Electrónica Digital y Telecomunicaciones. Quito, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/1939/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2019-029.pdf>

Campos, D. & Gonzalez, M. (2014). *Implementación de un sistema de monitoreo y control de un módulo de medición de nivel, a través de un sistema SCADA*. (Tesis de Ingeniero Electrónico). Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú.

Cobo, R. (2018). *El ABC de la automatización*. Asociación de la Industria Eléctrica Electrónica. Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>

Cosco, J. (2013). *Sensores*. Visitado en junio del 2017. Recuperado de <https://coscomantauni.files.wordpress.com/2013/08/sensores-de-presion-nivel-flujo-temperatura.pdf>

Cooper, D. (2004). *Practical Process Control*. Visitado en junio del 2019. Recuperado de <http://www.unhas.ac.id/rhiza/arsip/arsip-macam2/practicalprocesscontrol.pdf>

Creus, A. (2009). *Instrumentos Industriales su Ajuste y Calibración* (3ra ed.). Barcelona, España: Marcombo.

Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial* (8va ed.). México DF, México: Alfaomega.

Dávila, E. y Tasayco, H. (2017). *Implementación de una Estrategia de Control en Cascada para el Nivel de Agua, en el Módulo Didáctico del Laboratorio de Control-URP*. (Tesis de Ingeniero Electrónico). Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Lima-Perú.

- Gómez, O. & Betalleluz, A. (2015). *Sintonización de un PID para Controlar Remotamente la Variable Nivel en un Módulo Educativo*. (Tesis de Ingeniero Electrónico). Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Lima-Perú.
- Lana Sarrate. (2018). *Instrumentación para la medición de caudal*. Visitado en junio del 2018. España. Recuperado de [http://www.lanasarrate.es/files/20101218192606\\_0427\\_4fccd2e2-13a3-443a-a117-c5febc15594e.pdf](http://www.lanasarrate.es/files/20101218192606_0427_4fccd2e2-13a3-443a-a117-c5febc15594e.pdf)
- Maloney, T. (2006). *Electrónica Industrial Moderna* (5ta ed.). México: Pearson.
- Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C., y Armesto, J. (2010). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización* (2da ed.). México DF, México: Alfaomega.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control Moderna* (5ta ed.). Madrid, España: Pearson.
- Piedrafita, R. (2001). *Ingeniería de la Automatización Industrial*. México DF, México: Alfaomega.
- SGM LEKTRA (2018). *Products Catalogue*. Visitado en junio del 2018. Recuperado de [http://www.sgm-lektra.com/doc/Products\\_Catalogue.pdf](http://www.sgm-lektra.com/doc/Products_Catalogue.pdf)
- Siemens (2018). *Controladores Modular*. Visitado en junio del 2018. Recuperado de [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores\\_modulares/controlador\\_basico\\_s71200/pages/s7-1200.aspx](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/controlador_basico_s71200/pages/s7-1200.aspx)
- Siemens (2017). *Webserver Function Manual*. Visitado en diciembre del 2017. Recuperado de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/560/59193560/att\\_895962/v1/s71500\\_webserver\\_function\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/560/59193560/att_895962/v1/s71500_webserver_function_manual_es-ES_es-ES.pdf)
- Yokogawa (2018). *Magnetic Flowmeters*. Visitado en junio del 2018. Recuperado de <https://www.yokogawa.com/solutions/products-platforms/field-instruments/flow-meters/magnetic-flowmeters/>

Yokogawa (2019). *Medidores de Flujo - ADMAG AXF*. Visitado en abril del 2019.  
Recuperado de <http://www.yokogawa.com.pe/productos-y-servicios/sensores-e-instrumentos/medidores-de-flujo-admag-axf.html>

# **ANEXOS**

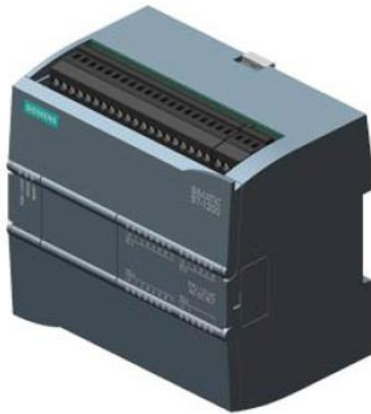
# Anexo 1: Hoja técnica PLC Siemens S7 1200 CPU AC-DC-RLY

## SIEMENS

### Data sheet

6ES7214-1BG40-0XB0

SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, compact CPU, AC/DC/relay, onboard I/O: 14 DI 24 V DC; 10 DO relay 2 A; 2 AI 0-10 V DC, Power supply: AC 85-264 V AC at 47-63 Hz, Program/data memory 100 KB



General information	
Product type designation	CPU 1214C AC/DC/relay
Firmware version	V4.2
Engineering with	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Programming package</li> </ul>	STEP 7 V14 or higher
Supply voltage	
Rated value (AC)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>120 V AC</li> </ul>	Yes
<ul style="list-style-type: none"> <li>230 V AC</li> </ul>	Yes
permissible range, lower limit (AC)	85 V
permissible range, upper limit (AC)	264 V
Line frequency	
<ul style="list-style-type: none"> <li>permissible range, lower limit</li> </ul>	47 Hz
<ul style="list-style-type: none"> <li>permissible range, upper limit</li> </ul>	63 Hz
Input current	
Current consumption (rated value)	100 mA at 120 V AC; 50 mA at 240 V AC
Current consumption, max.	300 mA at 120 V AC; 150 mA at 240 V AC
Inrush current, max.	20 A; at 264 V

I <sub>t</sub>	0.8 A <sup>2</sup> ·s
<b>Output current</b>	
for backplane bus (5 V DC), max.	1 600 mA; Max. 5 V DC for SM and CM
<b>Encoder supply</b>	
24 V encoder supply	
• 24 V	20.4 to 28.8V
<b>Power loss</b>	
Power loss, typ.	14 W
<b>Memory</b>	
Work memory	
• integrated	100 kbyte
• expandable	No
Load memory	
• integrated	4 Mbyte
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	with SIMATIC memory card
Backup	
• present	Yes
• maintenance-free	Yes
• without battery	Yes
<b>CPU processing times</b>	
for bit operations, typ.	0.08 µs; / instruction
for word operations, typ.	1.7 µs; / instruction
for floating point arithmetic, typ.	2.3 µs; / instruction
<b>CPU-blocks</b>	
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used
OB	
• Number, max.	Limited only by RAM for code
<b>Data areas and their retentivity</b>	
Retentive data area (incl. timers, counters, flags), max.	10 kbyte
Flag	
• Number, max.	8 kbyte; Size of bit memory address area
Local data	
• per priority class, max.	16 kbyte; Priority class 1 (program cycle): 16 KB, priority class 2 to 26: 6 KB
<b>Address area</b>	
Process image	
• Inputs, adjustable	1 kbyte

• Outputs, adjustable	1 kbyte
<b>Hardware configuration</b>	
Number of modules per system, max.	3 comm. modules, 1 signal board, 8 signal modules
<b>Time of day</b>	
<b>Clock</b>	
• Hardware clock (real-time)	Yes
• Backup time	480 h; Typical
• Deviation per day, max.	±60 s/month at 25 °C
<b>Digital inputs</b>	
Number of digital inputs	14; Integrated
• of which inputs usable for technological functions	6; HSC (High Speed Counting)
Source/sink input	Yes
<b>Number of simultaneously controllable inputs</b>	
all mounting positions	
— up to 40 °C, max.	14
<b>Input voltage</b>	
• Rated value (DC)	24 V
• for signal "0"	5 V DC at 1 mA
• for signal "1"	15 V DC at 2.5 mA
<b>Input delay (for rated value of input voltage)</b>	
for standard inputs	
— parameterizable	0.2 ms, 0.4 ms, 0.8 ms, 1.6 ms, 3.2 ms, 6.4 ms and 12.8 ms, selectable in groups of four
— at "0" to "1", min.	0.2 ms
— at "0" to "1", max.	12.8 ms
for interrupt inputs	
— parameterizable	Yes
for technological functions	
— parameterizable	Single phase: 3 @ 100 kHz & 3 @ 30 kHz, differential: 3 @ 80 kHz & 3 @ 30 kHz
<b>Cable length</b>	
• shielded, max.	500 m; 50 m for technological functions
• unshielded, max.	300 m; For technological functions: No
<b>Digital outputs</b>	
Number of digital outputs	10; Relays
<b>Switching capacity of the outputs</b>	
• with resistive load, max.	2 A
• on lamp load, max.	30 W with DC, 200 W with AC
<b>Output delay with resistive load</b>	
• "0" to "1", max.	10 ms; max.

• "1" to "0", max.	10 ms; max.
<b>Relay outputs</b>	
• Number of operating cycles, max.	mechanically 10 million, at rated load voltage 100 000
<b>Cable length</b>	
• shielded, max.	500 m
• unshielded, max.	150 m
<b>Analog inputs</b>	
Number of analog inputs	2
<b>Input ranges</b>	
• Voltage	Yes
<b>Input ranges (rated values), voltages</b>	
• 0 to +10 V	Yes
• Input resistance (0 to 10 V)	≥100k ohms
<b>Cable length</b>	
• shielded, max.	100 m; twisted and shielded
<b>Analog outputs</b>	
Number of analog outputs	0
<b>Analog value generation for the inputs</b>	
<b>Integration and conversion time/resolution per channel</b>	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
• Integration time, parameterizable	Yes
• Conversion time (per channel)	625 μs
<b>Encoder</b>	
<b>Connectable encoders</b>	
• 2-wire sensor	Yes
<b>1. Interface</b>	
Interface type	PROFINET
Physics	Ethernet
Isolated	Yes
automatic detection of transmission rate	Yes
Autonegotiation	Yes
Autocrossing	Yes
<b>Interface types</b>	
• Number of ports	1
• integrated switch	No
<b>Protocols</b>	
• PROFINET IO Controller	Yes
• PROFINET IO Device	Yes
• SIMATIC communication	Yes



## Anexo 2: Hoja técnica Transmisor de Nivel Ultrasónico SGM Lektra modelo Meter2F4A

### METER

- Ultrasonic level measurement
- Range 0,25 ÷ 6 m / 0,4 ÷ 10 m
- IP67
- Suitable for liquids and solids
- Comm. Protocol MODBUS / HART
- ATEX
- Power supply 24 Vdc; 12 Vdc
- Output 4 ÷ 20 mA (2 wire version);  
4 ÷ 20 mA + 2 relays set (4 wire version)



The METER ultrasonic level transmitters have 4 modes for configuration and calibration:

1. by means of the configuration module VL601 which can be switched on and off on the METER (VL601 module is equipped with large LCD matrix display).
2. via MODBUS RTU by PC interface with USB/RS485 and communication software 010F105A
3. via HART, by Hand-Held, or by HART modem connected to a PC with s/w 010E105A.
4. via smartphone Android App (only 4 wires version)

The non-contact technology makes it ideal for installations where it is necessary to minimize the maintenance costs. The removable display module allows its use as a fixed display or calibration module.

Are available versions with 2-wire or 4-wire, 2-wire with communication HART and ATEX certification, 4-wire with communication MODBUS and 2 relays.

### TECHNICAL FEATURES

#### Housing/sensor material

PC or AI / PP wetted part (only PVDF for ATEX certified vers.)

#### Mechanical installation

2" GAS M (PP flange DN80 opt.)

#### Protection degree

IP67/IP68 (Sensor)

#### Electrical connection

Internal push connectors

#### Working temperature

-30 ÷ +70°C; +80°C non-continuous

#### Pressure

from 0,5 to 1,5 bar (absolute)

#### Power supply

12Vdc / 20÷30Vdc (2-wires versions) - 24Vdc (4-wires versions)

#### Power consumption

0,6W (2-wires) - 1,5W (4-wires)

#### Analog output

4...20mA, max 750ohm

#### Relays output

(4-wire only) n°2 3A 230Vac (n.o.)

#### Digital communication

MODBUS RTU for 4-wire vers. ; (opt.) HART for 2-wire vers.

#### Max measure range

max 0.25 ÷ 6m  
max 0.40 ÷ 10m

In case of non perfectly reflecting surfaces, the maximum distance value will be reduced

#### Blind distance

0,25m (6m versions) / 0,40m (10m versions)

#### Temperature compensation

digital from -30 to 80°C

#### Accuracy

±0,2% (of the measured distance) not better than ±3mm.

#### Resolution

1mm.

#### Calibration

4 buttons or via HART / MODBUS RTU / BLUETOOTH

#### Warm-up

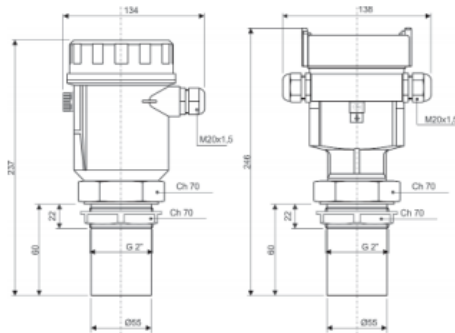
5 minutes typical

#### LCD Display

Plug-in display/keyboard 4 buttons matrix LCD

#### Ex-proof

ATEX II 1/2G Ex ia II C T6 Tamb -20 ÷ +60°C



**METER** Ultrasonic level transmitter

4+20mA output.  
 Housing with anticondensation filter  
 G 2" / PP or PVDF threaded connection  
 + nr. 1 2" BSP/PP fixing bolt (not for PVDF versions)  
 Setting by keyboard/display removable module (optional)  
 or via BLUETOOTH with Android APP  
 Working temperature: -30° + +70°C (80° non continuous)

Version	
-	2-wire, range 6m, HART, ATEX II 1/2G Ex ia II C T6 (amb. temp. -20++60°C)
0	2-wire, range 10m, HART, ATEX II 1/2G Ex ia II C T6 (amb. temp. -20++60°C)
1	2-wire, range 6m
2	2-wire, range 6m, HART
3	2-wire, range 6m, ATEX II 1/2G Ex ia II C T6 (amb. temp. -20++60°C)
4	4-wire, range 6m, 2 relays, MODBUS
5	2-wire, range 10m
6	2-wire, range 10m, ATEX II 1/2G Ex ia II C T6 Tamb -20++60°C
7	2-wire, range 10m, HART
8	4-wire, range 10m, 2 relays, MODBUS
9	Special
Housing / Sensor materials	
F	PC with transparent cap, IP67 / PP
L	PC with blind cap, IP67 / PP
P	PC with transparent cap IP67 / PVDF
R	PC with blind cap IP67 / PVDF
S	Aluminum with transparent cap, IP67 / PP
U	Aluminum with transparent cap, IP67 / PVDF (compulsory for ATEX versions)
Z	Special
Power supply	
4	24Vdc (20+30Vdc)
5	12Vdc (max 20Vdc) - only for version 1 and 5
9	Special
Accessories	
A	None
B	BLUETOOTH - only for 4-wire versions (vers. 4 and 8)
C	DN80 PN6 UNI 1092-1/PP flange (600J001T)
D	VL601 keyboard/display removable module (VL601SGM)
P	PP sensor extension for a total insertion of 250 mm (not available for PVDF sensors)
S	MODBUS communication software (010F105A)
T	HART communication software (010E105A)
Z	Special

## General Specifications

GS 01E20D01-01E

AXF  
Magnetic Flowmeter  
Integral Flowmeter  
/Remote Flowtube

ADMAG AXF™

The AXF magnetic flowmeter series are sophisticated products with outstanding reliability and ease of operation, developed on the basis of decades of field-proven experience.

The combination of a replaceable electrode and the diagnostic to detect adhesion level on the electrodes dramatically improves maintainability.

The AXF employs the fluid noise free "Dual Frequency Excitation Method" and the newly added "Enhanced Dual Frequency Excitation Method" as an option for more difficult applications to ensure greater stability and quicker response.

Note: The "Dual Frequency Excitation Method" is Yokogawa's unique technology.

Fieldbus communication type is also available.

Refer to GS 01E20F02-01E for FOUNDATION™ fieldbus communication type and GS 01E20F12-01E for PROFIBUS PA communication type regarding the items marked with "◇".

### FEATURES

#### ● User-oriented Functionality

##### Fluid Adhesion Level Diagnosis

By constantly monitoring the level of insulating substance on the electrodes, it is possible to determine when maintenance is required.

With the utilization of an optional replaceable electrode, the electrodes can be easily removed from the flowmeter and cleaned.

##### Flexible Electrical Connection Direction

The converter or the terminal box can be rotated arbitrarily to change the directions of electrical connection on the site.

##### Clear and Versatile Indications

The LCD indicator employs a large, backlit full dot-matrix, that can facilitate various displays.

One to three lines are available. When there is an alarm condition, a full description of the countermeasure is indicated.

##### "Easy Setup" Parameters "◇"

The most frequently used parameters are arranged in a group at the top.

The infra-red switches enable the users to set parameters without opening the cover.

#### ● Expansion of Product Lineup

##### Improved Accuracy Specification

The standard accuracy is 0.35% of reading. Also available is an optional high accuracy calibration rated at 0.2% of reading.



Integral Flowmeter

Remote Flowtube

#### ● Extra Small Size Flange Type

The flange type is now available from a 2.5 mm size.

#### ● Various Sanitary Connections

A variety of sanitary connections are available, such as Tri-Clamp, ISO, DIN and SMS.

#### ● Enhanced Performance and Specifications

##### Enhanced Dual Frequency Excitation Method

The "Enhanced Dual Frequency Excitation Method" can be optionally selected.

For difficult applications such as for high concentration slurries or low conductivity fluid, extremely stable measurements can be realized.

##### Improved Minimum Conductivity

The newly designed AXF converter permits the measurement of fluids with conductivity as low as 1 μS/cm.

##### High-Speed Pulse Output "◇"

The pulse rate now goes up to 10,000 pps (pulse/second) for use with high speed applications such as in short time batch processes.

##### Versatile Input/Output Function for Integral Flowmeter "◇"

Integral type is also equipped with versatile input/output function.

#### CONTENTS

Features	P. 1
Standard Specifications	P. 2
Hazardous Area Classification	P.12
Standard Performance	P.17
Normal Operating Conditions	P.19
Cautions for Installation	P.23
Accessories	P.24
Terminal Configuration and Terminal Wiring	P.24
Model and Suffix Code	P.25
Optional Specifications for Flowtubes	P.36
External Dimensions	P.41
Sizing Data	P.57
Ordering Information	P.58

YOKOGAWA ◆

Yokogawa Electric Corporation  
2-9-32, Nakacho, Musashino-shi, Tokyo, 180-8750 Japan  
Tel.: +81-422-52-4443 Fax.: +81-422-52-2018

GS 01E20D01-01E  
©Copyright June 2003(YK)  
19th Edition May 2016(KP)

## ■ STANDARD SPECIFICATIONS

### ● Converter (Integral flowmeter)

The contents of (\*1) and (\*2) described in the converter specifications are follows.

- \*1: Select two points from: one pulse output, one alarm output, one status input, or two status outputs.
- \*2: For models without an indicator, the configuration tool (Such as HHT (handheld terminal) or FieldMate™ etc.) is necessary to set parameters.

### Excitation Method:

- Standard dual frequency excitation:  
Size 2.5 to 400 mm (0.1 to 16 in.)
- Enhanced dual frequency excitation:  
Size 25 to 200 mm (1.0 to 8.0 in.)  
(Optional code HF1 or HF2)

### Input Signal (\*1) "◇":

- One Status Input: Dry contact
- Load Resistance: 200 Ω or less (ON), 100 kΩ or more (OFF)

### Output Signals "◇":

- One Current Output: 4 to 20 mA DC (load resistance: 750Ω maximum, including cable resistance)
- One Pulse Output (\*1):  
Transistor contact output (open collector)  
Contact capacity: 30 V DC (OFF), 200 mA (ON)  
Output rate: 0.0001 to 10,000 pps (pulse/second)
- One Alarm Output (\*1):  
Transistor contact output (open collector)  
Contact capacity: 30 V DC (OFF), 200 mA (ON)
- Two Status Outputs (\*1):  
Transistor contact output (open collector)  
Contact capacity: 30 V DC (OFF), 200 mA (ON)

### Communication Signals "◇":

- BRAIN or HART communication signal  
(Superimposed on the 4 to 20 mA DC signal)
- Distance from Power Line: 15 cm (6 in.) or more  
(Parallel wiring should be avoided.)

### BRAIN:

#### Communication Distance:

- Up to 1.5 km (0.93 miles), when polyethylene insulated PVC-sheathed cables (CEV cables) are used.
- Communication distance varies depending on the type of cable and wiring used.

#### Load Resistance:

- 250 to 450Ω (including cable resistance)

#### Load Capacitance:

- 0.22 μF or less

#### Load Inductance:

- 3.3 mH or less

#### Input Impedance of Communicating Device:

- 10 kΩ or more (at 2.4 kHz)

### HART:

#### Load Resistance:

- 250 to 600Ω (including cable resistance)
- Note: HART is a registered trademark of the FieldComm Group.

### Data Security During Power Failure:

- Data (parameters, totalizer value, etc.) storage by EEPROM. No back-up battery required.

### Indicator (\*2):

- Full dot-matrix LCD (32×132 pixels)

### Lightning Protector:

- The lightning protector is built into the current output and pulse/alarm/status input and output terminals. When optional code A is selected, the lightning protector is built into the power terminals.

### Protection:

- General-purpose Use/Sanitary Type/IIIS Flameproof type:  
IP66/IP67
- Explosion proof type except IIIS:  
In case of explosion proof type except IIIS, refer to description of "Enclosure" in "HAZARDOUS AREA CLASSIFICATION".

### Coating:

- Case and Cover: Corrosion-resistant coating
- Coating Color: Mint green coating (Munsell 5.6 BG 3.3/2.9 or its equivalent)

### Converter Material:

- Case and Cover : Aluminum alloy

### Mounting/Shapes (Integral Flowmeter):

- Electrical Connection: ANSI 1/2 NPT female  
ISO M20 ×1.5 female  
JIS G1/2 female
- Direction of Electrical Connection: The direction can be changed even after delivery.
- Terminal Connection: M4 size screw terminal

### Grounding:

- Grounding resistance 100 Ω or less
- When optional code A is selected, grounding resistance 10 Ω or less shall be applied.
- \* In case of explosion proof type except IIIS, follow the domestic electrical requirements as regulated in each country.
- \* In case of IIIS Flameproof type, refer to description of "HAZARDOUS AREA CLASSIFICATION".

### Functions "◇"

#### How to Set Parameters (\*2):

- The indicator's LCD and three infra-red switches enable users to set parameters without opening the case cover. Parameters can also be set with the configuration tool (Such as HHT (handheld terminal) or FieldMate, etc.). The language for the HHT is English only.

#### Displayed Languages (\*2):

- Users can choose a language from among English, Japanese, German, French, Italian, and Spanish.

#### Instantaneous Flow Rate/Totalized Value Display Functions (for models with an indicator) (\*2):

- The full dot-matrix LCD enables user selections of displays from one line to three lines for:

- Instantaneous flow rate
- Instantaneous flow rate (%)
- Instantaneous flow rate (bar graph)
- Current output value (mA)
- Totalized forward-direction flow rate
- Totalized reverse-direction flow rate
- Totalized differential flow rate
- Tag No.
- Results of electrode adhesion diagnostics
- Communication type

## Anexo 4: Hoja técnica posicionador inteligente para válvula



### SSL & SSR Series Smart Valve Positioner

Power-Genex SSL & SSR series are the smart valve positioners which were designed with advanced operating mechanism and can achieve the smartest control with various setting functions for optimum valve conditions

#### 1. Features

- Auto-Calibration for optimum valve conditions
  - Precise control performance and high dynamic response
  - Easy operation with four-key pads and full text graphical LCD
  - Single and double acting
  - Low air consumption due to piezo electric microvalve
  - Pressure regulator built-in to eliminate variations in supply air pressure
  - Problem-free characteristics on a very small actuator
  - High resistance against shock and vibration
  - Mounting on linear actuators according to IEC 534
  - Mounting on rotary actuators according to VDI / VDE 3845
- Options
- Position transmitter (4...20mA output signal)
  - Two alarm limits (Min., Max)
  - Gauge block with two stainless steel pressure gauges
  - Explosion proof type (Exd IIB T6, Exia IIC T6)
  - HART communication (FSK)

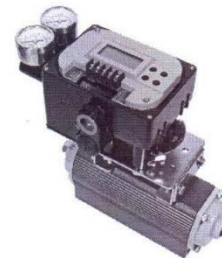


#### 2. Specifications

Input signal	4-20mA DC
Voltage drop	8.5V DC @ 20mA (425Ω)
Min. / Max. current	3.6mA / 50mA
Required load voltage (≅ Ω @ 20mA)	Without HART: 8.5V (≅ 425Ω) With HART: 9.2V (≅ 460Ω)
Air supply pressure	1.4...7.0bar (20...100psi)
Media characteristic	Filtered compressed dry and non-oiled air
Output pressure	0...100% supply air pressure / single or double action
Shut-off value	Range 0...5% of position signal
Air capacity	6.6 kg/h = 5.4N m <sup>3</sup> /h = 3 scfm @ supply air of 1.4bar (20psi)
Air consumption	< 0.04 kg/h
Humidity limits	<90% RH, non-condensing
Stroke / Angle	5...80mm (max. up to 150mm) / 40...90° (max. up to 100°)
Adjustable speed	1...200 (lowest 1, highest 200)
LCD indication	4-digit LCD indicator
Scan time	2μs
Valve action	Position 0...100% / direct action (DA) / reverse action (RA)
Characteristic curve	Linear, E.Q. percentage 1:25 or 1:50 Linearity ≤0.3% / sensitivity ≤0.2% / hysteresis ≤0.2%
Temperature limits	Operation: -20...+70°C
Protection class	IP66, intrinsic safety (Exia), Flameproof (Exd)
Case material	Aluminum diecast
Pneumatic connections	Rc 1/4 or 1/4 NPT
Electrical connections	2 x G 1/2 or 1/2 NPT
Weight	2.3 kg (with pressure gauge block)

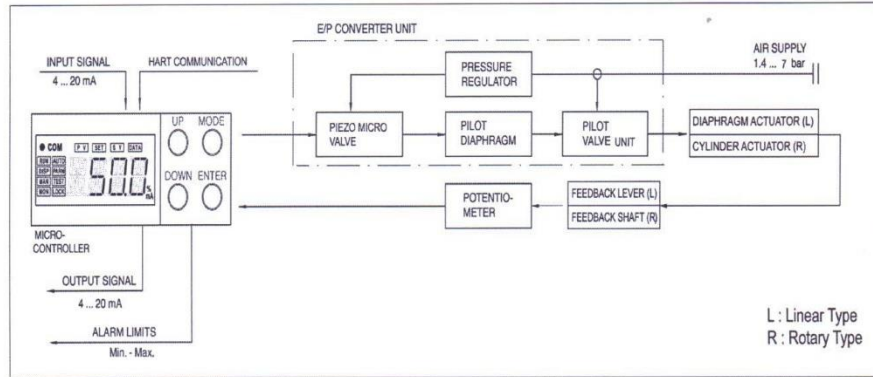


SSL (linear type)



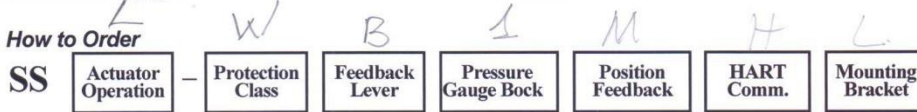
SSR (rotary type)

**3. Principle of Operation**



- ① Input signal (4-20mA) supplied is transmitted to the piezo microvalve by passing through the micro-controller in the control unit.
- ② Supply air (1.4-7.0bar) is transmitted to the piezo microvalve by passing through the pressure regulator in the E/P converting unit.
- ③ Due to the piezo-electric effect, the piezo microvalve generates the pneumatic output signal in proportion to the voltage level coming from the micro-controller.
- ④ Pneumatic output signal is amplified by the pilot diaphragm and operates the poppets in the pilot valve.
- ⑤ Supply air (1.4-7.0bar) is supplied into the actuator by the movement of these poppets.
- ⑥ Position feedback from the feedback shaft is transmitted to the potentiometer.
- ⑦ This potentiometer generates the feedback signal, which is transmitted to the micro-controller.
- ⑧ If the feedback signal equals the input signal supplied into the positioner, the micro-controller doesn't send the signal to the piezo microvalve any more so as to stop the supply air from delivering to the actuator. But, if these two signals are different, the micro-controller continues to send the signal to the piezo microvalve unit until they become equal.
- ⑨ As options, the position transmitter (4-20mA output signal) and / or two limit switches (open, close) can be built-in for position feedback.

**4. How to Order**



Description	Code	Description	Code
<b>Actuator operation:</b>	L: Linear type R: Rotary type	<b>Pressure gauge block:</b>	1: 6 bar (90psi) 2: 10 bar (150psi)
<b>Protection class:</b>	F: Flameproof (Exd IIB T6) I: Intrinsic safety (Exia IIC T6) W: Weatherproof to IPIP66	<b>Position feedback:</b>	N: None O: Position transmitter (4...20mA output signal) L: Two limit switches M: O+L
<b>Feedback lever:</b> - Linear type	A: Stroke (5...65mm) B: Stroke (10...85mm) C: Stroke (up to 150mm)	<b>HART communication</b>	N: None H: HART communication
- Rotary type	F: Fork lever (standard) N: Namur shaft (direct mounting)	<b>Bracket:</b>	N: None L: DIN / IEC 534 (for SSL) R: DIN VDI / VDE3845 (for SSR)

## Anexo 5: Hoja técnica Siemens SB 1232 AO

# SIEMENS

Data sheet

6ES7232-4HA30-0XB0


SIMATIC S7-1200, Analog output, SB 1232, 1 AO, +/-10 V DC (12 bit resol.) or 0-20mA (11 bit resol.)



General information	
Product type designation	SB 1232, AQ 1x12 bit
Input current	
from backplane bus 5 V DC, typ.	15 mA
Output voltage	
Power supply to the transmitters	
• Supply current, max.	25 mA
Power loss	
Power loss, typ.	1.5 W
Analog inputs	
Number of analog inputs	0
Analog outputs	
Number of analog outputs	1
Cycle time (all channels) max.	Voltage: 300 $\mu$ S (R), 750 $\mu$ S (1 $\mu$ F) Current: 600 ms (1 mH); 2 ms (10 mH)
Output ranges, voltage	
• -10 V to +10 V	Yes

<b>Output ranges, current</b>	
• 0 to 20 mA	Yes
<b>Load impedance (in rated range of output)</b>	
• with voltage outputs, min.	1 000 Ω
• with current outputs, max.	600 Ω
<b>Cable length</b>	
• shielded, max.	100 m; shielded, twisted pair
<b>Analog value generation for the outputs</b>	
Conversion principle	Differential
<b>Integration and conversion time/resolution per channel</b>	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	12 bit
<b>Errors/accuracies</b>	
Temperature error (relative to output range), (+/-)	25 °C ±0.5%, to 55 °C ±1%
<b>Interrupts/diagnostics/status information</b>	
Alarms	Yes
Diagnostics function	Yes
<b>Diagnostics indication LED</b>	
• for status of the outputs	Yes
<b>Degree and class of protection</b>	
Degree of protection acc. to EN 60529	
• IP20	Yes
<b>Standards, approvals, certificates</b>	
CE mark	Yes
CSA approval	Yes
FM approval	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
<b>Ambient conditions</b>	
<b>Free fall</b>	
• Fall height, max.	0.3 m; five times, in product package
<b>Ambient temperature during operation</b>	
• min.	-20 °C
• max.	60 °C
• horizontal installation, min.	-20 °C
• horizontal installation, max.	60 °C
• vertical installation, min.	-20 °C
• vertical installation, max.	50 °C
<b>Ambient temperature during storage/transportation</b>	
• min.	-40 °C
• max.	70 °C



<b>Air pressure acc. to IEC 60068-2-13</b>	
• Storage/transport, min.	660 hPa
• Storage/transport, max.	1 080 hPa
<b>Relative humidity</b>	
• Operation at 25 °C without condensation, max.	95 %
<b>Pollutant concentrations</b>	
• SO2 at RH < 60% without condensation	SO2: < 0.5 ppm; H2S: < 0.1 ppm; RH < 60% condensation-free
<b>Mechanics/material</b>	
Enclosure material (front)	
• Plastic	Yes
<b>Dimensions</b>	
Width	38 mm
Height	62 mm
Depth	21 mm
<b>Weights</b>	
Weight, approx.	40 g
<b>last modified:</b>	11/05/2018 

## Anexo 6: Hoja técnica Siemens SM 1231 AI

# SIEMENS

hoja de datos del producto

6ES7231-4HD32-0XB0



SIMATIC S7-1200. ENTRADA ANALOG. SM 1231,  
4 AI, +/-10V, +/-5V, +/-2.5V,  
O 0-20mA/4-20 MA,  
12 BIT + SIGNO (13 BIT ADC)

<b>Tensión de alimentación</b>	
<b>24 V DC</b>	SI
<b>Intensidad de entrada</b>	
<b>Consumo típ.</b>	45 mA
<b>De bus de fondo 5 V DC, típ.</b>	80 mA
<b>Pérdidas</b>	
<b>Pérdidas, típ.</b>	1,5 W
<b>Entradas analógicas</b>	
<b>Nº de entradas analógicas</b>	4 ; Entradas diferenciales tipo corriente o tensión
<b>Tensión de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), máx.</b>	± 35 V
<b>Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx.</b>	35 V
<b>Intensidad de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), máx.</b>	40 mA
<b>Intensidad de entrada admisible para entrada de corriente (límite de destrucción), máx.</b>	40 mA
<b>Tiempo de ciclo (todos los canales), máx.</b>	625 µs
<b>Rangos de entrada</b>	
<b>Tensión</b>	SI ; ±10 V, ±5 V, ±2,5 V

<b>Intensidad</b>	Si ; 4 a 20 mA, 0 a 20 mA
<b>Termopar</b>	No
<b>Termorresistencias</b>	No
<b>Resistencia</b>	Si
<b>Rangos de entrada (valores nominales), tensiones</b>	
<b>-10 V a +10 V</b>	Si
<b>Resistencia de entrada (-10 V a +10 V)</b>	≥ 9 MOhm
<b>-2,5 V a +2,5 V</b>	Si
<b>Resistencia de entrada (-2,5 V a +2,5 V)</b>	≥ 9 MOhm
<b>-5 V a +5 V</b>	Si
<b>Resistencia de entrada (-5 V a +5 V)</b>	≥ 9 MOhm
<b>Rangos de entrada (valores nominales), intensidades</b>	
<b>0 a 20 mA</b>	Si
<b>Resistencia de entrada (0 a 20 mA)</b>	280 Ω
<b>4 a 20 mA</b>	Si
<b>Salidas analógicas</b>	
<b>Nº de salidas analógicas</b>	0
<b>Formación de valores analógicos</b>	
<b>Tiempo de integración y conversión/resolución por canal</b>	
<b>Resolución con rango de rebase (bits incl. signo), máx.</b>	12 bit ; + signo
<b>Tiempo de integración parametrizable</b>	Si
<b>Supresión de perturbaciones de tensión para frecuencia perturbadora f1 en Hz</b>	40 dB, DC a 60 V para frecuencia de perturbación 50/60 Hz
<b>Filtrado de valores medidos</b>	
<b>parametrizable</b>	Si
<b>Nivel: ninguno</b>	Si
<b>Nivel: débil</b>	Si
<b>Nivel: medio</b>	Si
<b>Nivel: intenso</b>	Si
<b>Error/precisiones</b>	
<b>Error de temperatura (referido al rango de entrada), (+/-)</b>	25 °C ±0,1 % a 55 °C ±0,2 % todo el rango de medida
<b>Límite de error básico (límite de error práctico a 25 °C)</b>	
<b>Tensión, referida al rango de entrada, (+/-)</b>	0,1 %
<b>Intensidad, referida al rango de entrada, (+/-)</b>	0,1 %
<b>Supresión de tensiones perturbadoras para (f1 +/- 1%), f1 = frecuencia perturbadora</b>	
<b>Tensión en modo común, máx.</b>	12 V
<b>Alarmas/diagnósticos/información de estado</b>	
<b>Alarmas</b>	
<b>Alarmas</b>	Si