

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**TESIS**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO CON SISTEMA DE PERIFERIA DESCENTRALIZADA HART, PARA EL CONTROL DE NIVEL Y TEMPERATURA EN LA PLANTA DE TANQUES DEL LABORATORIO DE CONTROL DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. MANUEL JORDANNO GOCHE INFANTE**

**Bach. KEVIN ORLANDO SANCHEZ SILVERA**

**TACNA – PERÚ**

**2021**

# **UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO CON SISTEMA DE PERIFERIA DESCENTRALIZADA HART, PARA EL CONTROL DE NIVEL Y TEMPERATURA EN LA PLANTA DE TANQUES DEL LABORATORIO DE CONTROL DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA”.**

Tesis sustentada y aprobada el 02 de diciembre de 2021; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE: Mag. JOSÉ MARCIAL SUMARRIBA BUSTINZA**

**SECRETARIO: Mtro. MARKO JESÚS POLO CAMACHO**

**VOCAL: Mag. ANIBAL JUAN ESPINOZA ARANCIAGA**

**ASESOR: Mag. MARCO ANTONIO SEBASTIÁN COLOMA YNGANINA**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Manuel Jordanno Goche Infante, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70461428.

Yo, Kevin Orlando Sanchez Silvera, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 71922464.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada:

*“Implementación de un Módulo con Sistema de Periferia Descentralizada HART, Para el control de Nivel y Temperatura en la Planta de Tanques del Laboratorio de Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.”.*

El mismo que presento para optar:

*El título profesional de Ingeniero Electrónico*

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *la universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a *la universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 02 de diciembre del 2021.



---

Bach. Manuel Jordanno Goche Infante  
DNI: 70461428



---

Bach. Kevin Orlando Sanchez Silvera  
DNI: 71922464

## DEDICATORIA

A Dios, por bendecirme siempre y permitirme ser constante en lograr todos mis objetivos.

A mi madre Karla que se ha esforzado siempre para desarrollarme profesionalmente. Por formarme con valores e integridad.

A mis hermanos Mishelle y Andree.

A mi país Perú, al que siempre dedicaré mi trabajo y esfuerzo para contribuir a convertirlo en un país mejor.

**Manuel Goche**

A Dios por brindarme salud, darme la oportunidad de seguir adelante día a día estando conmigo en cada paso que doy.

A mis padres, por el apoyo incondicional que siempre me brindaron, por ser mi motivación en cada logro obtenido y confiar en mí.

**Kevin Sánchez**

## AGRADECIMIENTO

A mi casa de estudios, la Universidad Privada de Tacna, a la cual siempre le estaré eternamente agradecido, por formarme y convertirme en la persona que soy.

A mis amigos por su sostén e incentivo en todo momento para la culminación exitosa de mi tesis.

**Manuel Goche**

A los docentes y compañero de tesis por su apoyo y orientación durante este proceso de formación profesional.

A mi familia por sus consejos y estímulo constante.

A mis amigos y todas las personas que de alguna u otra manera me dieron su aliento.

**Kevin Sánchez**

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1. Descripción del problema .....	3
1.2. Formulación del problema .....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	4
1.3. Justificación e importancia .....	4
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Hipótesis .....	6
1.5.1. Hipótesis general.....	6
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	6
1.6. Impacto .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Antecedentes del estudio .....	8
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	10
2.2. Marco Teórico .....	14
2.3. Sistemas de control.....	15
2.4. Sistemas de control de lazo abierto.....	16

2.5.	Sistemas de control de lazo cerrado.....	17
2.6.	Control proporcional, integral y derivativo.....	18
2.6.1.	Control Proporcional.....	18
2.6.2.	Control integral y PI.....	20
2.6.3.	Control derivativo.....	22
2.7.	Aplicaciones de los controladores PID.....	25
2.7.1.	Función de transferencia de un proceso.....	26
2.7.2.	Procesos de primer orden.....	27
2.7.3.	Función de transferencia de un proceso de segundo orden.....	30
2.8.	Descripción de los equipos que conforman el sistema de control.....	34
2.8.1.	Sensor de Nivel.....	34
2.8.1.1.	Método por ultrasónico.....	34
2.8.2.	Sensor de Temperatura.....	37
2.8.2.1.	Conexión de la PT100.....	39
2.8.2.2.	Autocalentamiento.....	41
2.8.2.3.	Precauciones.....	42
2.8.3.	Electroválvula.....	45
2.8.4.	Bomba de agua.....	46
2.8.5.	Tanques de almacenamiento.....	46
2.8.6.	Controlador lógico programable.....	46
2.9.	Tia Portal.....	49
2.10.	Factory IO.....	49
2.11.	Interfaces y protocolos de comunicación.....	49
2.11.1.	Modos de Comunicación.....	50
2.11.2.	Comunicación Simplex.....	50
2.11.3.	Comunicación Half Duplex.....	50
2.11.4.	Comunicación Duplex.....	51
2.11.5.	Velocidad de Transmisión (transmission rate or baudrate).....	52
2.11.6.	Interfaces.....	52
2.11.7.	Protocolos.....	52
2.11.8.	Protocolo de comunicación HART.....	54
2.12.	Definición de términos.....	62

2.12.1.	Protocolos de comunicación industrial .....	62
2.12.2.	Conexión Punto a Punto .....	62
2.12.3.	Conexión Multipunto o Multidrop.....	62
2.12.4.	Multiplexores .....	62
2.12.5.	Trama .....	63
2.12.6.	Comando.....	63
2.12.7.	FSK .....	63
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....		64
3.1.	Tipo y diseño de la investigación.....	64
3.2.	Nivel de investigación.....	64
3.3.	Unidad de Estudio, población y/o muestra de estudio .....	65
3.3.1.	Unidad de Estudio .....	65
3.3.2.	Población.....	65
3.3.3.	Muestra .....	65
3.4.	Operacionalización de variables.....	65
3.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	67
3.6.	Procesamiento, presentación, análisis e interpretación de los datos .....	68
3.7.	Diseño de la Simulación .....	68
3.7.1.	Sistema de supervisión.....	68
3.7.2.	Sistema de Control .....	69
3.8.	Software de programación utilizados en la simulación.....	69
3.9.	Implementación de la simulación.....	69
3.9.1.	Control PID del tanque de líquidos .....	69
3.9.2.	Implementación de módulo con sistema de periferia descentralizada HART .....	72
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....		108
CONCLUSIONES .....		118
RECOMENDACIONES .....		119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		120
ANEXOS.....		123

## ÍNDICE DE TABLAS

Figura 1. Valores resistivos 1 Pt100.....	43
Figura 2. Valores resistivos 2 Pt100.....	44
Figura 3. Características sensor de temperatura .....	45
Figura 4. Operacionalización de variables .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de Control de lazo abierto .....	17
Figura 2. Sistema de Control de lazo cerrado .....	18
Figura 3. Gráfica de respuesta al escalafón.....	19
Figura 4. Contestación a una entrada escalón de un control PI en un proceso de segundo orden.....	21
Figura 5. Respuesta al escalón producida por un control PD.....	23
Figura 6 (a). Respuesta al escalón, producida por un regulador PID .....	24
Figura 6 (b). Regulador PID .....	24
Figura 7. La función de Transferencia.....	27
Figura 8. Proceso de primer orden.....	27
Figura 9 (a) (b). Planta típica para aproximación de procesos de segundo orden..	31
Figura 10. Sensor de nivel ultrasónico .....	35
Figura 11. Sensor ultrasónico Echomax XPS-10 .....	37
Figura 12. Sensor de temperatura Pt100 .....	38
Figura 13. Conexión con dos hilos .....	39
Figura 14. Conexión con tres hilos.....	40
Figura 15. Conexión con cuatro hilos.....	41
Figura 16. PLC .....	47
Figura 17. Comunicación Simplex .....	50
Figura 18. Comunicación Half Duplex.....	51
Figura 19. Comunicación Duplex.....	51
Figura 20. Señales Digitales y Analógicas en HART.....	56
Figura 21. Modo de Operación Punto a Punto .....	57
Figura 22. Modo de Operación Multidrop .....	58
Figura 23. Multiplexor .....	59
Figura 24. Capas de protocolo HART .....	60
Figura 25. Formato de capa de Enlace .....	61
Figura 26. Función de transferencia del proyecto. ....	70
Figura 27. Diagrama esquemático del sistema de control PID del proyecto.....	70

Figura 28. Tablero principal de control.....	72
Figura 29. Diagrama esquemático del sistema de periferia descentralizada HART	73
Figura 30. Selección del CPU.....	73
Figura 31. Módulo de entradas analógicas AI 4xI 2-wire 4..20mA HART.....	74
Figura 32. Configuración inicial de AI HART.....	75
Figura 33. Creación de variables en el módulo HART.....	75
Figura 34. Creación de variables del proyecto.....	76
Figura 35. Bloques de Programación.....	77
Figura 36. Plantilla.....	78
Figura 37. Sistema start/stop.....	78
Figura 38. Bloque setpoint.....	79
Figura 39. Bloque de normalización y escalamiento.....	80
Figura 40. Bloque de conversión real a entero.....	81
Figura 41. Bloque de señal del sensor.....	81
Figura 42. Bloque de normalización y escalamiento.....	82
Figura 43. Bloque de conversión real a entero.....	83
Figura 44. Bloque de salida PID.....	83
Figura 45. Salida PID.....	84
Figura 46. Bloque de normalización y escalamiento.....	85
Figura 47. Bloque de condición.....	86
Figura 48. Bloque de condición.....	87
Figura 49. Bloque de temperatura.....	87
Figura 50. Bloque de normalización y escalamiento.....	88
Figura 51. Bloque de conversión real a entero.....	89
Figura 52. Bloque de controlador PID.....	89
Figura 53. Tipo de Regulación.....	90
Figura 54. Parámetros de entrada.....	90
Figura 55. Límites de valor real.....	91
Figura 56. Escala de valor real.....	92
Figura 57. Ajustes avanzados.....	93
Figura 58. Parámetros PID.....	93
Figura 59. Modo de ajuste.....	94

Figura 60. Ajuste manual .....	95
Figura 61. Paleta de accesorios.....	96
Figura 62. Activación de etiquetas de actuadores.....	96
Figura 63. Señal de actuador.....	97
Figura 64. Activación de etiqueta del sensor.....	97
Figura 65. Señal de sensor forzada. ....	98
Figura 66. Movimiento de cámara.....	98
Figura 67. Configuración Factory IO .....	99
Figura 68. Configuración de puertos.....	100
Figura 69. Conexión con TIA Portal .....	101
Figura 70. Botoneras start, stop del programa .....	101
Figura 71. Inicio del programa. ....	102
Figura 72. Potenciómetro Setpoint.....	102
Figura 73. Regulación fina de parámetros 1 .....	103
Figura 74. Regulación fina de parámetros 2. ....	103
Figura 75. Potenciómetro de temperatura.....	104
Figura 76. Inicio del HMI .....	104
Figura 77. Inicio del sistema desde el HMI.....	105
Figura 78. Pantalla de temperatura en HMI .....	105
Figura 79 Pantalla de Nivel en HMI .....	106
Figura 80. Valor del Nivel del Setpoint y el Valor de Nivel del Sensor.....	106
Figura 81. Disminución del Nivel del Setpoint y del Valor del Sensor.....	107
Figura 82. Bloque de controlador PID .....	109
Figura 83. Parámetros PID .....	110
Figura 84. Perturbación del nivel del líquido 1 .....	111
Figura 85. Perturbación del nivel del líquido 2 .....	111
Figura 86. Gráfica de señal perturbada 1.....	112
Figura 87. Gráfica de señal perturbada 2.....	113
Figura 88. Ajuste manual .....	114
Figura 89. Parámetros experimentales .....	115
Figura 90. Optimización del nivel del líquido 1 .....	116
Figura 91. Optimización del nivel del líquido 2 .....	116

Figura 92. Optimización fina, ajuste manual ..... 117

## RESUMEN

El sistema de control con periferia descentralizada HART para controlar el nivel y la temperatura de la planta de tanques del laboratorio de Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, es una solución de automatización, que gestiona, visualiza y controla las variables involucradas en la investigación desarrollada. Para este objetivo, se evaluó específicamente la medición con sensores industriales que admitan el protocolo HART y la adquisición de datos con las herramientas que se necesiten para el proyecto. Se utilizó una interfaz mediante el software de visualización gráfica Factory I/O enlazado con la lógica de programación de la plataforma TIA PORTA para que el usuario pueda desarrollar y modificar cambios en el sistema. De los resultados obtenidos en la simulación del sistema de control PID, se concluyó que la solución de automatización propuesta pretendió establecer un sistema de control con periferia descentralizada HART confiable, de utilidad para los estudiantes de la carrera de ingeniería electrónica en el desarrollo de prácticas de laboratorio.

**Palabras claves:** Automatización; Control PID; Periferia descentralizada; Protocolo Hart.

## ABSTRACT

The control system with decentralized HART periphery to control the level and temperature of the tank plant of the Control laboratory of the Professional School of Electronic Engineering, is an automation solution that manages, visualizes and controls the variables involved in the investigation developed. For this objective, the measurement with industrial sensors that support the HART protocol and the acquisition of data with the tools that are needed for the project were specifically evaluated. An interface was used through the Factory I / O graphical visualization software linked with the programming logic of the TIA PORTA platform so that the user can develop and modify changes in the system. From the results obtained in the simulation of the PID control system, it was concluded that the proposed automation solution sought to establish a reliable HART decentralized peripheral control system, useful for students of the electronic engineering career in the development of practices of laboratory.

**Keywords:** Automation; PID control; Decentralized periphery; Hart protocol.

## INTRODUCCIÓN

Según Vega y Meza (2016), “la automatización tiene un rol importante en la industria porque aseguran su control y desempeño óptimo aumentando su productividad, reduciendo costos y tiempos de producción, realización procesos industriales seguros para los trabajadores y consumidores”.

Este proyecto se desarrolló para permitir a los estudiantes del proyecto curricular de Ingeniería en Control y carreras afines tener un prototipo a pequeña escala de un proceso industrial con la intención de manipular variables físicas y/o químicas.

Para tal fin se simuló un sistema de control PID utilizando el protocolo de red industrial Hart y la plataforma TIA PORTA, la cual permite supervisar el nivel y la temperatura de la planta de tanques del laboratorio de Control y automatización de la carrera de Ingeniería Electrónica.

Con el fin de un correcto desarrollo del presente proyecto, se ha estructurado de la siguiente manera: en introducción, cinco capítulos, conclusión y recomendaciones para una información organizada y detallada de su ejecución.

En la introducción se describe el desarrollo del sistema que se planea ejecutar, así como herramientas (software) y dispositivos (hardware) para un correcto desarrollo del presente proyecto.

En el capítulo I, se precisa la razón del por qué se escogió el tema a tratar del presente proyecto, el problema y los recursos a utilizar para brindar una solución.

Se describen los objetivos en términos generales y la oportunidad de mejora en la preparación académica para con las disciplinas de control y automatización.

En el capítulo II, se especifica los antecedentes del proyecto describiendo la necesidad académica para desarrollar sólidos conocimientos en la práctica de control de procesos ya que es una materia que servirá mucho en el ámbito laboral y, por lo tanto, surge la necesidad del estudio.

El marco teórico del proyecto que se estudió y se analizó para la exposición del mismo, se centra en información como los sensores de nivel, la temperatura, PLC, lógica de programación e interfaz de comunicación.

En el capítulo III, se expone la metodología de investigación y, asimismo, el desarrollo acerca de métodos y parámetros para la realización del proyecto.

En el capítulo IV, se describe la información acerca de la simulación del proyecto para aquellos procesos de control PID de nivel como de temperatura, esta oportunidad a los estudiantes de la EPIE a realizar prácticas y al mismo tiempo interrelacionarse con un proceso industrial asiduamente implementado. Asimismo, posibilitará conocer las configuraciones de conexiones, así como el monitoreo de control variable que conforma un lazo de control automático que serán ejecutados a través de las herramientas de TIA Portal y Factory IO.

En el capítulo V, se detalla el análisis de los resultados obtenidos de la simulación que permitirán verificar los objetivos planteados en la investigación.

Se culmina con las Conclusiones obtenidas y Recomendaciones del caso, presentando las referencias bibliográficas citadas durante el desarrollo de la investigación.

.

.

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

### **1.1. Descripción del problema**

Actualmente el Laboratorio de Control e Instrumentación de Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, posee una planta de tanques que no se encuentra operativa debido a que no tiene implementado un mecanismo de control que consienta visualizar y desarrollar variables de control.

En este sentido, se toma como oportunidad de mejora, el desarrollo de elaboración y poner por obra un Módulo que cuente con un sistema de Periferia Descentralizada HART, con el fin de obtener nuevas e innovadoras técnicas de aprendizaje, invitando al estudiante a la investigación para poder enfrentarse a actividades reales y conocer el funcionamiento, configuración, programación, conexión y control de los equipos.

En esta distinta forma de aprendizaje y funcionamiento, se busca en los estudiantes, la adaptación teórico-práctico en el análisis de la secuencia del proceso más utilizado como nivel, temperatura y la regulación de los parámetros PID, para reunir aptitudes y estar completamente capacitados posteriormente en su vida profesional, desarrollando y enaltecendo a la Universidad Privada de Tacna, específicamente al área de Automatización y Control.

### **1.2. Formulación del problema**

#### **1.2.1. Problema general**

Cómo influye en el control de nivel y de la temperatura de la planta de tanques del laboratorio de Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica la Implementación de un módulo con Sistema de periferia descentralizada HART. Ver Anexo 1, matriz de consistencia.

### 1.2.2. Problemas específicos

¿Cómo influye en el funcionamiento óptimo del control PID, la selección de los sensores empleados para la medición de la temperatura y del nivel de la planta de tanques?

¿Cómo influye la utilización de la lógica de programación del software TIA PORTAL en la simulación del módulo con sistema de periferia descentralizada HART para control PID de nivel y temperatura en la planta de tanques?

¿Cómo influye el empleo del software Factory IO en la supervisión del funcionamiento del módulo de periferia descentralizada de protocolo HART?

### 1.3. Justificación e importancia

Dado el análisis propuesto por el estudio, se logrará desarrollar un proyecto que proporcione a la escuela profesional de Ingeniería Electrónica perteneciente a la Universidad Privada de Tacna, una innovación en el material de trabajo con el fin de implementar en el Laboratorio de control e instrumentación, con el fin de obtener nuevas e innovadoras técnicas de aprendizaje, invitando al estudiante a la investigación para poder enfrentarse a actividades reales y conocer el funcionamiento, configuración, programación, conexión y control de los equipos.

Con este fin, primero se realiza una etapa de investigación sobre la importancia de, no solo implementar un sistema de control e instrumentación electrónica, sino de hacer referencia también a los protocolos de instrumentación industrial.

En particular, se estudiará y se implementará la simulación de un módulo con sistema de periferia descentralizada HART, mediante un transmisor y/o sensor de nivel y sensor de temperatura, con el objeto de equiparar una herramienta básica a fin de que los estudiantes puedan realizar trabajos teórico - prácticos y tengan una actividad experimental en cuanto se refiere a una planta de nivel industrial, así mismo se busca mejorar las técnicas de aprendizaje a través de la simulación del módulo,

permitiendo desarrollar aptitudes en el área de sistemas de control respecto a procesos e instrumentación.

Por lo tanto, dado que el estudio generará aportes a la teoría y práctica en el sistema de control de pruebas con herramientas de ingeniería, utilizando Sistema de periferia descentralizada HART, el estudio tiene su justificación.

Por otro lado, la investigación permitirá revisar el aporte tecnológico que se brindará a la Universidad Privada de Tacna, en la escuela profesional de Ingeniería Electrónica. Comprobando de este modo las hipótesis expuestas. Este hecho pone en manifiesto la necesidad de aplicar el método científico, por lo que la investigación tiene su justificación metodológica. Ver Anexo 1, matriz de consistencia.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Implementar un módulo con Sistema de periferia descentralizada HART, para el control de nivel y de la temperatura de la planta de tanques del laboratorio de Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

Seleccionar los sensores para la medición de temperatura y de nivel para el óptimo funcionamiento del control PID.

Simular el módulo con sistema de periferia descentralizada HART para control PID de nivel y temperatura en la planta de tanques, utilizando la lógica de programación del software TIA PORTAL.

Emplear el software Factory IO para la supervisión del funcionamiento del módulo de periferia descentralizada de protocolo HART.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

La implementación virtual de un Módulo con Sistema de Periferia Descentralizada HART para el control de Nivel y Temperatura utilizando el software TIA PORTAL, permite controlar la planta de tanques del laboratorio de Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de modo eficiente.

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

La selección de los sensores para la medición de temperatura y de nivel que trabajen con el protocolo de red industrial HART, permite que el control PID del sistema opere de manera óptima.

La simulación del módulo con el sistema de periferia descentralizada HART para control PID de nivel y temperatura en la planta de tanques, se facilita al utilizar la lógica de programación del software TIA PORTAL.

Mediante el empleo del software Factory IO para la supervisión del módulo de periferia descentralizada de protocolo HART, se visualiza los parámetros que regulan el funcionamiento del sistema de control.

## **1.6. Impacto**

El presente proyecto titulado: "Implementación de un módulo con un sistema de periferia descentralizada HART, para un adecuado control de nivel, y optimizar las condiciones de temperatura en la planta de tanques del Laboratorio de control de la escuela profesional de Ingeniería Electrónica.", se basa en entregar un instrumento de estudio a los educadores de la EPIE a fin de que los mismos cumplan con instruir

a los estudiantes mediante equipos, procesos y situaciones más allegadas con los campos profesionales que actualmente se utilizan a nivel industrial.

Para ello utilizaremos dos herramientas (Software) fundamentales de ingeniería para realizar la simulación del proyecto. TIA Portal con Factory IO.

En este sentido, el proyecto será dinámico y su manejo será el mejor al brindar un fácil acceso a todos los equipos electrónicos y eléctricos involucrados en el proceso. Para garantizar lo mencionado, se proporcionará documentos relevantes como fichas técnicas de equipos, catálogos y manuales de instrucciones. Ver Anexo 1, matriz de consistencia.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Calero y Salas (2021) en su trabajo de Grado “Control de nivel de un sistema de tanques acoplados mediante un autómatas programable y una pantalla HMI”, indican que:

En este trabajo se programará una pantalla HMI para dirigir el control de un sistema de 4 tanques acoplados. El control lo llevará a cabo un PLC, y consistirá en mantener el nivel de agua de los tanques en la referencia fijada para cada uno. Se podrá configurar qué tanques se desean controlar, eligiendo entre un tanque individual, una columna, o los dos tanques inferiores. La interfaz se programará en una pantalla SIEMENS conectada directamente al PLC, así como en la propia pantalla del ordenador, que permitirá controlar de forma remota la planta. Para ello se hará uso del software TIA Portal y de los elementos facilitados por el Laboratorio del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, que permitirá el conexionado de los dispositivos.

Finalmente, se elaborará una guía detallada sobre la programación del HMI, implementado tanto en la pantalla táctil de siemens como en el propio ordenador.

Los resultados de este trabajo han sido muy satisfactorios, consiguiéndose alcanzar todos los objetivos propuestos: conexionado físico de los equipos, programación del control, creación de la interfaz y configuración del control remoto (p. 11).

Bastidas (2017) en su tesis de titulación denominada “Análisis y diseño de un sistema de control utilizando PLC para el proceso de fluido y nivel de llenado de tanques”, precisa que:

En esta propuesta tecnológica se muestra el análisis y diseño de un sistema para el proceso de control de nivel y de flujo en el llenado de un tanque, con este trabajo se permite poner en práctica los conocimientos adquiridos de las diferentes asignaturas recibidas en el período estudiantil y conocer las diferentes características técnicas, como el funcionamiento de los componentes lógicos y físicos utilizados en esta propuesta.

La importancia de realizar este proyecto involucra una investigación y pruebas experimentales para controlar el nivel y flujo, mediante un sistema que incorpora varios elementos y equipos como sensores, bombas, variador de frecuencia, pantalla HMI (Interfaz Hombre Máquina), módulos de comunicación, conversores digital analógico y un PLC (Controlador Lógico Programable) utilizados en la industria, siendo capaz de evitar el derramamiento de líquidos en tanques y como consecuencia de esto se incrementa el costo de consumo por el desperdicio del mismo, además realizar un proceso de llenado de forma manual y sin control puede presentar problemas como contaminación al producto y precisión de llenado del nivel requerido o deseado.

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

Vega y Meza (2016), en su trabajo de tesis de título denominado: “Diseño e implementación de un sistema SCADA para el control de enfriamiento del tanque de agua fría de la planta de procesos análogos (PPA)”, afirman que:

En este proyecto se seleccionaron e instalaron sensores de tipo industrial que permitieron realizar un proceso de identificación experimental mediante el

software MATLAB® se obtuvo un modelo aproximado que caracteriza el comportamiento del sistema térmico en el tanque de agua fría de la planta, se diseña un controlador PID por el método del lugar de las raíces que es implementado en el controlador Lógico Programable (PLC) marca Allen Bradley desde el software RS Logix 5000, y con una interfaz gráfica desarrollada en Factory Talk View para la pantalla HMI se implementa un sistema de supervisión y control y adquisición de datos (SCADA).

Se concluye que al realizar el proceso de identificación con señal paso se pueden estimar modelos cercanos a la dinámica del sistema y a partir de ellos diseñar algoritmos de control para lograr controlar variables en un proceso térmico y que el Sistema SCADA permite al usuario manipulación bidireccional de datos en tiempo real entre la pantalla HMI y el PLC, a través de elementos propios de la interfaz como botones, objetos, tendencias, alarmas y otros (p. 4).

Menéndez y De la Cruz (2014) en su tesis de título denominada “Diseño e implementación de un banco de pruebas de sensores de presión, nivel y temperatura con tecnología Wireless Hart para la compañía EuroInstruments”, manifiesta que:

El estudio en cuestión tiene como objetivo el diseñar e implementar un campo de pruebas para la empresa EUROINSTRUMENTS, sobre algunas variables de proceso como la presión, el nivel y la temperatura, a través de una conexión inalámbrica wireless Hart tipo malla.

Dado el estudio, los autores recomiendan al cliente, utilizar tecnología inalámbrica (wireless Hart) por sus diversas ventajas y facilidad de instalación en lugares difíciles de acceso de las variables de proceso (Presión, Nivel, Temperatura). Se utiliza equipos de un determinado principio de medición para adquirir lecturas de las variables mencionadas líneas arriba (p. 16).

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Seclen (2019) en el trabajo de tesis de título denominado “Sistemas de conexión FSK y la conectividad de instrumentos de campo con tecnología HART con

la finalidad de incrementar el conocimiento de los protocolos industriales – período 2018”, indica que:

El propósito de la tesis es estudiar los sistemas de comunicación FSK para conectar dispositivos de campo utilizando tecnología HART, y de tal manera se vaya ampliando el conocimiento de los protocolos industriales.

Este estudio se centra en el estudio de las características técnicas de la tecnología HART para conocer las capacidades de conectividad de los dispositivos de campo y los beneficios que aporta el protocolo HART para ser utilizado en las redes de campo.

El objetivo de la tesis es poder proporcionar a los estudiantes, mediante la investigación de un prototipo didáctico de control, nuevas e innovadoras técnicas de aprendizaje, que les permita adquirir conocimientos para poder enfrentar posteriormente en el rubro laboral futuro, lazos de control con mayor enfoque a este proyecto que es de nivel PID y temperatura.

Con este prototipo propuesto en el presente proyecto, se busca la adaptación del estudiante con respecto a los controles ya mencionados, tanto así que serán capaces de generar cambios en el sistema mediante la variabilidad de dispositivos y/o lógica de programación de los cuales enriquecerán sus conocimientos para poder aplicarlos industrialmente (p. 13).

Padilla y Toro (2018) en su tesis de título denominada “Diseño e implementación de un sistema SCADA con PLC siemens S7-200 para el control PID de la planta de nivel de la escuela profesional de ingeniería electrónica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, utilizando software libre”, afirman lo siguiente:

Se desarrolló un Sistema SCADA con software libre para la planta de nivel del laboratorio de ingeniería electrónica, la cual está gobernada por un PLC S7-200, el nivel del tanque se obtiene mediante un sensor ultrasónico.

El proyecto está desarrollado en dos partes la primera consiste en hacer un reconocimiento general de la planta de nivel, dispositivos de accionamiento y protección, sensores y actuadores, así como los elementos de control. Luego se procede a realizar un programa en el PLC S7-200 para posteriormente

conectarlo con LabView y obtener los datos del comportamiento de la planta, los datos obtenidos son procesados mediante MATLAB y obtenemos la función de transferencia, mediante un software de simulación le implementamos los controles P, PI, PID.

Luego en una segunda parte estos controladores son implementados en la planta real, mediante el software de programación de Siemens se pudo verificar el comportamiento mediante la librería PID. Una vez que se logró sintonizar los controladores, se desarrolló un SCADA para poder visualizar las variables de proceso de forma más amigable con el operador, se probó varios software SCADA pero al final se optó por el IGSS ya que reunía los requisitos necesarios para ser implementados en aplicaciones de pequeña y media empresa por que cuenta con diversas formas de comunicación con PLC de diferentes marcas.

Se logró nuestro objetivo principal que fue el diseño de un sistema SCADA con software libre para la planta de nivel la cual podemos controlar y monitorear los diferentes parámetros como: nivel del tanque, velocidad de variador de frecuencia, así como también distintas alarmas implementadas en la planta (p. 6).

García (2018) en su trabajo de tesis titulado “Implementación del sistema de control proporcional integral derivativo para controlar el nivel de agua en un depósito usando tarjeta de adquisición de datos USB-6008”, manifiesta que:

Esta investigación se ubica en la línea de las Ciencias de Ingeniería, desarrolla un procedimiento para el modelado, diseño e implementación experimental de un sistema de control PID para controlar el nivel de agua en el proceso tanque con agua.

El algoritmo de control se implementa en la plataforma LabVIEW, donde se realiza el procesamiento de datos y la toma de acciones para el control de la variable de nivel.

Los estudios de simulación y experimentación realizados demostraron el buen rendimiento de este controlador, el cual fue probado para distintas consignas, siendo la ley de control capaz de hacer que el sistema de control tenga mínimo sobre impulso y error en estado estacionario nulo (p. 3).

Tejada (2016), en su tesis titulada “Diseño e implementación de prototipo de control de flujo y temperatura para sistema “HVAC” aplicando control multivariable cascada”, manifiesta que:

El desarrollo de la presente Tesis, está dedicado a la implementación de un prototipo de prueba HVAC el cual permita realizar un tipo de simulación de control de flujo y temperatura, utilizando el sistema de control multivariable en cascada, supervisado por SCADA vía Ethernet o RS232, el cual nos permite la supervisión, monitoreo y control del proceso de flujo y temperatura sensada. Se tiene en cuenta que el censado más importante es el de temperatura, para ello utilizaremos un sensor de temperatura RTD basado en la variación de la resistencia de un conductor con respecto a la temperatura.

Se consideró el diseño para la programación de sistema de control cascada mediante PLC, lo que ha permitido la implementación del prototipo HVAC. Así mismo, se ha diseñado e implementado toda la instrumentación correspondiente al prototipo como son flujo, temperatura, variador de velocidad, ventilador centrífugo, resistencia calorífica, sistema eléctrico, así como se han aplicado soluciones técnicas al cableado, conexionado e instalaciones. Posteriormente se realizaron las pruebas de validación correspondientes (p. 17).

Távora y Rojas (2015) en su tesis titulada “Diseño de un sistema de control con periferia descentralizada para optimizar las condiciones de temperatura y presión del vapor que ingresa a fábrica en la empresa Agroindustrial Tumán S.A.A”, manifiestan que:

El sistema de control con periferia descentralizada para optimizar las condiciones del vapor que ingresa a fábrica en la Empresa Agroindustrial Tumán S.A.A, es una solución de automatización, que gestiona, visualiza y controla las variables involucradas en la red de tuberías de vapor en el ingenio azucarero. Tumán como ingenio azucarero, posee una producción de vapor muy significativa, debido a que es justamente este fluido, el elemento vital para el funcionamiento de las máquinas térmicas, que constituyen la maquinaria de la empresa. Por ser de tanta importancia la red de distribución

de este vapor, debe contar con un sistema de control adecuado para estas condiciones.

Para diseñar el sistema de control, se tuvo que realizar un análisis cuantitativo y cualitativo, de las variables influyentes en el proceso. Cuantitativamente hablando, se realizó un balance de materia, para obtener las dimensiones técnicas de las características del proceso. En la forma cualitativa, los instrumentos existentes nos sirvieron como indicativos, de cómo reacciona el sistema de control actualmente.

Para ampliar el universo de posibilidades, este trabajo propone 2 arquitecturas de red, basadas en protocolos de comunicación industrial que permitan el monitoreo continuo de las variables de proceso.

La solución fue dimensionada tomando como referencia estándares y normas usadas para el cálculo de los equipos.

Con la solución de automatización propuesta, no solo pretende aumentar la calidad del sistema de control existente, sino que también pretende mejorar el servicio de vapor usado en el ingenio (p. 7).

## **2.2. Marco Teórico**

Se fundamentará como se construyó el Marco teórico de nuestro trabajo de investigación.

Para Rivera-García (1993), el marco teórico es la “descripción de los elementos teóricos planteados por uno y/o por diferentes autores y que permiten al investigador fundamentar su proceso de investigación”.

Hernández, Fernández- Collado y Baptista (2006) plantean que el marco teórico puede construirse a partir de:

- Adopción de una teoría completamente desarrollada, con abundante evidencia empírica y que se aplica a nuestro problema de investigación.
- Complementación de varias teorías aplicables a nuestro problema de investigación.
- Generalizaciones empíricas o proto-teorías que sugieren variables potencialmente importantes y que se aplican a nuestro problema de investigación.

- Descubrimientos interesantes, pero parciales, que no llegan a ajustarse a una teoría.

Según Gallego (2018), “para que el marco teórico sea todo lo sencillo y potente posible, debe poseer tres dimensiones fundamentales: histórica-contextual, conceptual y metodológica”.

Para Daros (2002, pp. 80-81), el marco teórico cumple las siguientes funciones:

- Posibilita describir los problemas en las investigaciones.
- Es un instrumento fundamental para el análisis de los problemas.
- Dar sentido a los hechos o fenómenos y orientar la organización de los mismos.
- Cumple la función de ser eje integrador de todo el proceso de investigación

### **2.3. Sistemas de control**

Obando (2020) expresa que, “uno de los recursos más utilizados en el sector industrial son los sistemas de control. Cualquier producción impulsada por la ingeniería requiere este proceso para lograr un propósito específico. Controlar o coordinar el comportamiento de otro sistema para evitar el mal funcionamiento de este sistema”

Obando (2018), manifiesta con respecto a la representación de los sistemas de control lo siguiente:

Un sistema de control puede estar compuesto por numerosos mecanismos eléctricos (resistencias, inductancias, capacitores), electrónicos (amplificadores, controladores), electromecánicos (motores, generadores). Para representar todos estos componentes y la manera como fluye la información entre ellos, los ingenieros de control se valen de *Los Diagramas de Bloques*. Esta representación permite desarrollar esquemas para comprender más fácilmente las operaciones de control en el sistema,

representando pictóricamente la función de cada elemento físico de dicho sistema (párrafo 2)

Pero un sistema de control no se establece solo con estar provistos con estos dispositivos, sino que además se debe seguir la razón de al menos tres elementos base:

- Una variable a la que se busca controlar.
- Un actuador.
- Un punto de referencia.

El sistema de control se podría establecer en dos clases y estos discrepan en la forma en que lidian con la variable a examinar.

#### **2.4. Sistemas de control de lazo abierto**

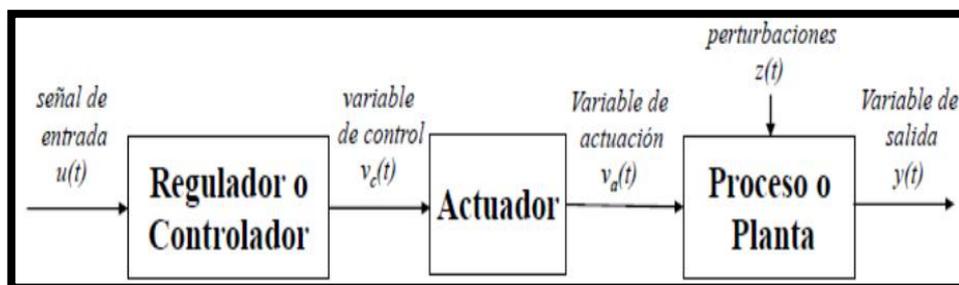
Obando (2020) expone los tipos de lazos, este tipo no tiene información ni comentarios sobre las variables de control. Es decir, la salida no depende en absoluto de la entrada. Los siguientes parámetros son predecibles y se utilizan en procesos y dispositivos que permiten un claro margen de error. Tal y como se observa en la figura 1.

Un ejemplo muy claro ejemplo es el de un semáforo. Este sistema de control es de circuito abierto porque cada semáforo está cronometrado, pero no tiene información sobre la cantidad de tráfico.

Otro ejemplo, que es el amplificador de sonido en equipo modular. Al cambiar la potencia del volumen, el sistema no sabe si realmente sucedió o no.

**Figura 1**

*Sistema de Control de lazo abierto*



*Nota.* La figura 1, representa el mecanismo de control de lazo abierto. Tomada de (Dademuchconnection, 2020).

En donde a su vez se denota lo siguiente:

- La señal de entrada o de referencia,  $u(t)$  desarrolla directamente el dispositivo de control (regulador), para poder producir, por medio del actuador, y conseguir los resultados deseados en las variables de salida  $y(t)$ .
- El regulador no constata el valor que ocasiona la salida  $y(t)$ .
- Definitivamente “*sensible*” ante las dificultades que se produzcan sobre la planta.

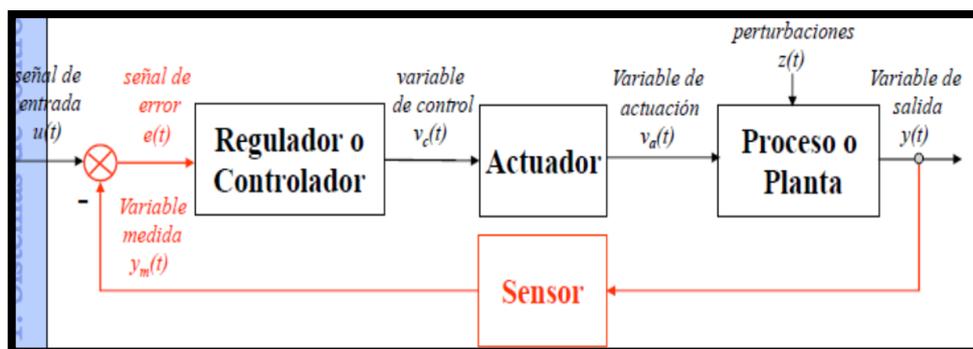
## 2.5. Sistemas de control de lazo cerrado

Toledo (2007) expresa en su tesis, que todos los sistemas se distinguen al no poseer una señal de retroalimentación; es decir, la variable controlada o de salida no vuelve para que se compare junto a la variable de referencia, es por ello que, no se verifica el nivel de corrección del margen de error en el sistema de control. (p. 50). Tal y como se observa en la figura 2.

Un ejemplo común que nos muestra Obando (2020) es el de un aparato minisplit o aire acondicionado. La variable en estos dispositivos es la temperatura ambiente. El sensor define si el compresor debe estar encendido para enfriar la posición.

**Figura 2**

*Sistema de Control de lazo cerrado*



Nota. La figura 2, representa el mecanismo de control de lazo cerrado. Tomada de (Dademuchconnection, 2020).

La ingeniería de procesos de control parece simple porque se necesitan sólo tres elementos básicos, sin embargo, casualidad o no, es todo lo contrario. Estos son los sistemas básicos de la ingeniería industrial, incluida la automatización, y se pueden encontrar en casi todos los dispositivos que usamos en nuestra vida cotidiana.

En donde a su vez denota lo siguiente:

- La salida del sistema se mide a través de un sensor, y a su vez se coteja con aquel valor de la entrada de referencia  $u(t)$ .
- Se deduce que, de este modo, el sistema de control podría contestar mejor ante los desaciertos que se puedan ocurrir sobre el sistema. (Gandhi, 2020)

Por lo tanto, no existiría una solución ideal para eliminar el error de estabilidad del proceso que aumentaría la ganancia proporcional.

## 2.6. Control proporcional, integral y derivativo

### 2.6.1. Control Proporcional

El controlador del tipo continuo más sencillo utilizado en los mecanismos y/o sistemas de retroalimentación es el controlador proporcional (P).

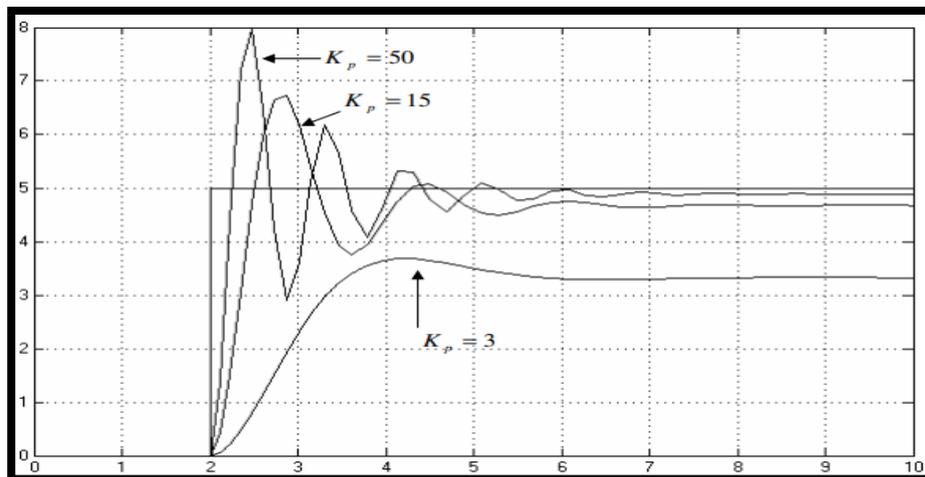
Toledo (2007) lo definió en su tesis como una acción correctiva o de control que es equitativo al error del proceso. Afirma también que:

Un controlador proporcional no puede descartar completamente errores en el proceso. Esto se debe a que el error de velocidad resulta necesario para mantener la señal de salida del controlador en un valor dado. En general, este error se denomina desviación proporcional o error de estado estable y representa una gran desventaja de los controladores proporcionales. (p.97).

El error de estado estable se puede minimizar haciendo que la ganancia proporcional sea lo más grande posible. Desafortunadamente, aumentar la ganancia proporcional también aumenta la tendencia a volverse inestable. En la práctica, si la ganancia es muy alta, el controlador oscilará alrededor de la referencia. Por lo tanto, no existe una solución ideal para eliminar el error de estabilidad del proceso que aumentaría la ganancia proporcional. Tal y como se observa en la figura 3.

### Figura 3

*Gráfica de respuesta al escalafón*



*Nota.* La figura 3, muestra las gráficas de respuesta al escalón, de un sistema de control de lazo cerrado con un control proporcional en un proceso de segundo orden. Tomada de (Diseño de controladores PID en tiempo discreto y análisis respuesta utilizando herramientas computacionales, 2007, p. 63)

En la figura 3, se visualiza el error en estado de desviación proporcional con  $k_p = 3$  es importante, ya que baja con el incremento en la constante proporcional, aunque a costa de la estabilidad. Otra característica importante que se observa con el aumento de la constante de proporcionalidad es una disminución en el tiempo de respuesta del proceso, aunque la inestabilidad aumenta como se mencionó anteriormente.

### 2.6.2. Control integral y PI

Una forma de eliminar el error de estado estacionario que ocurre en los sistemas de control con controladores proporcionales es agregar una desviación a la salida del controlador. Entonces, según Tolejo (2007) habría que ajustar manualmente este valor de desviación del valor nominal de la carga a error de proceso nulo. (p. 64).

$$K_p \neq K_i \quad (1)$$

Finalmente, este método a menudo se denomina reposición manual. Al agregar el desplazamiento de salida del controlador, el error de proceso y la señal de salida del controlador se formatean como concatenados, transformando esto en:

$$P = K_p R_p + P_o \quad (2)$$

En donde  $P_o$ , es la desviación en la salida del controlador.

Este método de depuración de un proceso funciona bajo cierta carga. Si se cambia, ese error no es nulo. Por lo tanto, este método se puede utilizar en sistemas de control de procesos donde el valor promedio de la carga es constante

Aquí es esencial incluir un término que maneje el tiempo que continúa este error (para generar un reinicio automático). El reinicio manual se puede sustituir por cambiar el valor numérico de acuerdo con el tamaño y la duración del error.

Para cada unidad de tiempo, se agrega la misma pequeña cantidad al valor en el área formada entre el tiempo y el error.

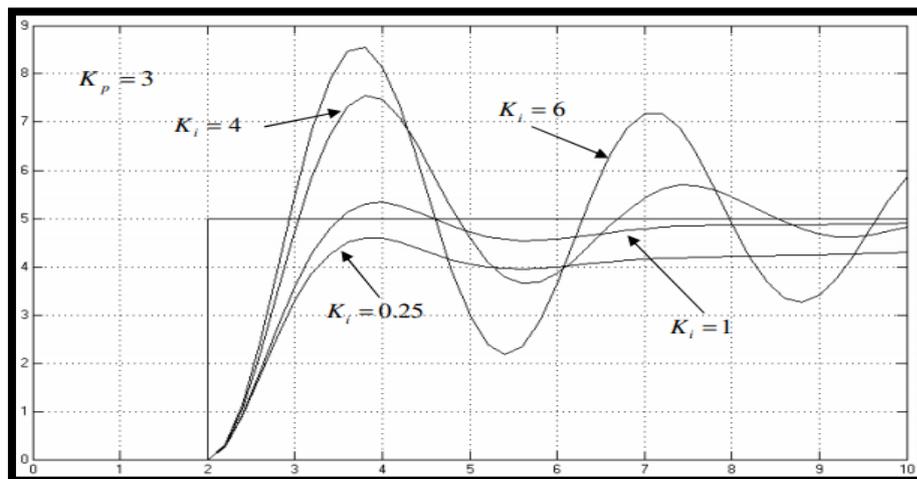
Una forma de incluir partes que varían con la magnitud y duración del error en estado estacionario es usar la acción integral, permitiéndonos almacenar las diferencias existentes entre la variable de proceso y la variable de referencia durante el lapso de tiempo que permanece el error.

La operación integral tiene ciertas limitaciones, como oscilación o inestabilidad, si la ganancia integral del regulador se agrega grande, pero los errores se pueden corregir en un estado estacionario, como lo demuestra la gráfica de la figura 4, y como vemos una ganancia integral  $K_i = 6$ .

Como denota en la figura 4, dado que la acción integral es suficiente para corregir los errores de estado presentes en el control PI, el control PI es suficiente para coordinar muchas aplicaciones en plantas industriales.

#### Figura 4

*Contestación a una entrada escalón de un control PI en un proceso de segundo orden*



*Nota.* La figura 4, establece la Contestación a una entrada escalón de un control PI en un proceso de segundo orden. Tomada por (Diseño de controladores PID en tiempo discreto y análisis respuesta utilizando herramientas computacionales, 2007, p. 66)

Se reconoce claramente el efecto de la acción integral sobre el control proporcional con una  $k_p = 3$ . El gráfico de la Figura 3 apunta a un control proporcional puro, y el gráfico de la Figura 4 muestra las diversas acciones de corrección que

ocurren a medida que aumenta la acción integral. El error de estado estacionario se repara ligeramente con  $k_i = 0.25$ , por lo que al aumentar esta acción llega a valores que quizá vuelvan siembren inestabilidad en el sistema, como ejemplo este caso, a través de una constante de integración con el valor  $k_i = 6$ .

### 2.6.3. Control derivativo

Los controles con acción derivada se compensan proporcionalmente por la derivada del error con respecto al tiempo.

$$A. \text{ Derivativa} = k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Donde:  $de(t) / dt$  es un cambio en el error.

$k_d$ : es el producto del control derivativo.

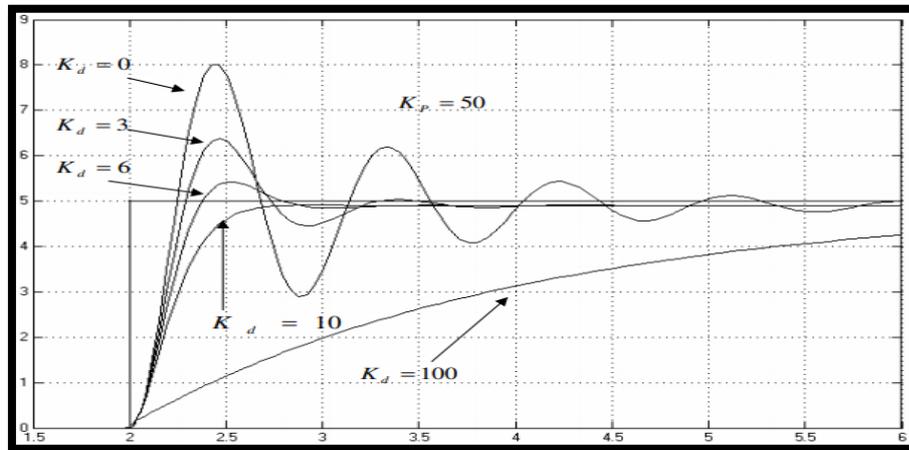
Los controladores derivativos son convenientes porque responden a la tasa de cambio del error y pueden realizar correcciones significativas antes de que el nivel real del error sea inmenso. Por lo tanto, aunque se puede decir que el control derivativo predice errores e inicia una corrección temprana, sin embargo, no se pueden usar solos porque no responden a errores de estado estable. Tal y como se observa en la figura 5.

#### Características

- Solo afecta a la parte temporal. Así, las oscilaciones se reducen y estabilizan rápidamente para "predecir el error".
- Se fundamenta en el error de la pendiente.
- Nunca encontrará un solo control derivativo porque nunca funciona en estado estable.

**Figura 5**

*Respuesta al escalón producida por un control PD*



*Nota.* La figura 5, representa la respuesta al escalón producida por un control PD. Tomada de (Diseño de controladores PID en tiempo discreto y análisis respuesta utilizando herramientas computacionales, 2007, p. 69)

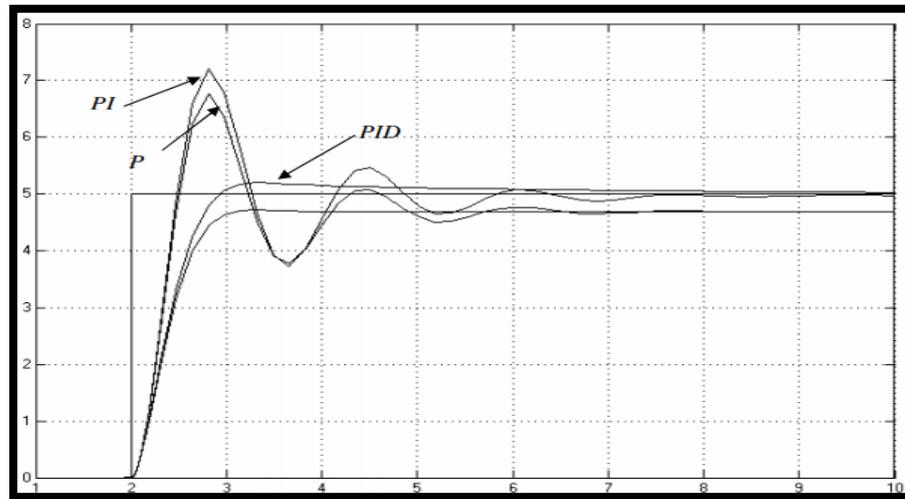
En la figura 5, observamos el comportamiento del control de DP en respuesta a las fases del sistema secundario. Esta operación puede reducir en gran medida el sobrepaso inicial para responder a cambios repentinos, pero los valores grandes producen respuestas muy lentamente.

Este es un efecto que no reduce adecuadamente la oscilación inicial porque el ajuste del proceso y el sistema de control es indeseable, y el valor también es pequeño, por lo que es necesario equilibrar la estabilidad y la velocidad de respuesta.

Es importante señalar que, en un sistema físico real, las perturbaciones aleatorias inherentes al proceso pueden ser el factor determinante en la elección de la constante derivada. Esto se debe a que, cuando el valor de KD es grande, las perturbaciones generan oscilaciones que aumentan con el tiempo. Tal y como se observa en la figura 6 a y b.

**Figura 6 (a)**

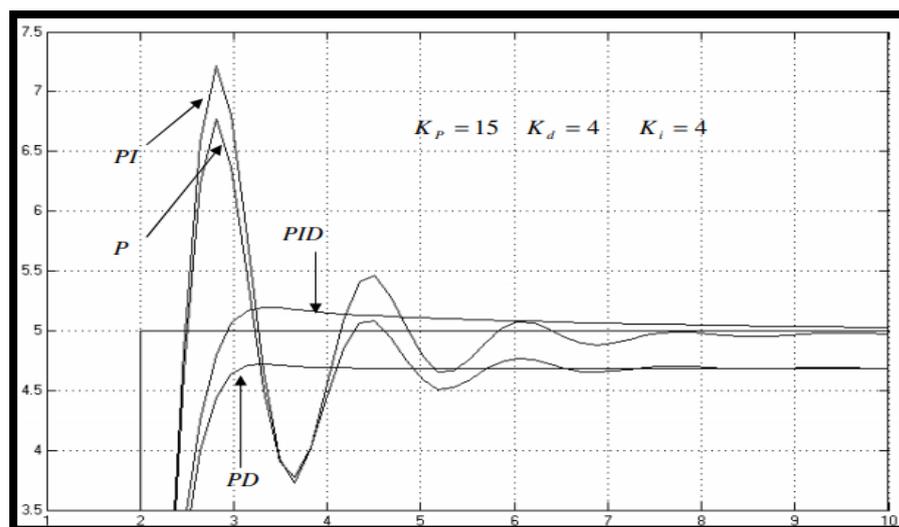
*Respuesta al escalón, producida por un regulador PID*



*Nota.* La figura 6 (a) expresa la respuesta al escalón, producida por un regulador PID. Tomada de (Diseño de controladores PID en tiempo discreto y análisis respuesta utilizando herramientas computacionales, 2007, p. 70)

**Figura 6 (b)**

*Regulador PID*



*Nota.* La figura 6 (b) establece el regulador PID. Tomado de (Diseño de controladores PID en tiempo discreto y análisis respuesta utilizando herramientas computacionales, 2007, p. 71)

Realizando en análisis a la figura 6, observamos que el tipo de respuesta lograda con las constantes de ajuste indicadas. En este caso, se visualiza que la respuesta con buenas características de estabilidad, se consigue con el regulador PID, aunque es cuestión de la clase de proceso regulado, usualmente se suele utilizar un control PI, en vista que el control PD no es prácticamente ejecutable, por lo cual se suelen hacer uso en la práctica únicamente controladores P, PI y PID.

Asimismo, podemos visualizar la figura 6(a), en el reparo de un mecanismo de segundo orden, con funciones de transferencias  $1 / I / (s + I)^2$ , a una entrada escalón, y se denota las características mencionadas para cada clase de regulador. Por ejemplo, vemos que el regulador P, otorga una respuesta correctiva veloz al cambio de entrada, pero jamás corrige el error en un estado estacionario, creando de esa manera un sobrepaso inicial muy alto.

Según Tolejo (2007) Hay que tener en cuenta, que el regulador de DP reduce el sobrepaso inicial y obtiene buenas características en términos de tiempo de respuesta, pero existe un problema con la reducción del error en estado estacionario. (p. 72).

El uso de un regulador PI puede corregir el error en estado estacionario, pero como se ve, se pueden obtener buenas características de respuesta con los ajustes adecuados, pero debido al efecto integral, puede ocurrir un sobrepaso mayor que en el caso del regulador PI.

En el caso de los reguladores PID, los reguladores PID combinan las características sobresalientes de cada acción reguladora, ya que este tipo de proceso logra un equilibrio bastante bueno entre el tiempo de respuesta, la corrección de errores en estado estacionario y un grado aceptable de sobrepaso inicial. A menudo, dependiendo de la naturaleza dinámica del proceso, basta con utilizar un regulador PI para lograr muy buenas características de sintonía, y en la práctica este tipo de regulador es muy utilizado.

## **2.7. Aplicaciones de los controladores PID**

Los reguladores PID son muy útiles para el ajuste de procesos industriales. La mayoría de los reguladores utilizados en la industria son de este tipo, ya que la estrategia de control en general requiere simplicidad. Se utilizan comúnmente en

plantas industriales en el control de nivel, presión, caudal, temperatura, movimiento o posición, velocidad, etc.

El proceso anterior tiene ciertas características dinámicas muy importantes, como ejemplo el tiempo muerto, corrección de tiempo, tiempo de establecimiento, ganancia de proceso, etc. Las cuales establecen la clasificación de procesos en procesos primarios, secundarios o superiores.

En este caso, el estudio de la respuesta, en el lazo de control mediante el regulador PID se limitará a procesos secundarios hasta alcanzar una regulación adecuada o estable. Entonces, lo que realmente puedes ver es esta situación, se deben utilizar diferentes tipos de estrategias de control para procesos de orden superior. Por tanto, la naturaleza dinámica de estos procesos industriales varía cuantitativamente en función de la variable o proceso a regular, pero es cualitativamente igual, por lo que se propone el mismo modelo para estos procesos para realizar análisis de respuesta.

### 2.7.1. Función de transferencia de un proceso

Cualquier curso puede incluir una función de transferencia. Las variables de entrada y salida pueden describirse como funciones del dominio del tiempo  $f(t)$ , siendo básicamente representadas en el dominio de la frecuencia como transformación de Laplace  $F(s)$  lo que conllevará a un análisis sencillo. Tal y como se observa en la figura 7.

Así, la función de transferencia de un proceso se puede definir como la transformada de Laplace de la función de tiempo de la variable de salida dividida por la transformada de Laplace de la función de tiempo de la variable de entrada, como se contempla en la ecuación 2.4

$$G(S) = \frac{H(S)}{Q(S)} \quad (4)$$

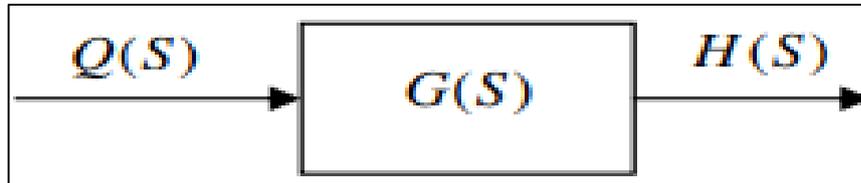
$G(S)$  = Función de transferencia del proceso, en el dominio de la frecuencia

$H(S)$  = Transferencia de Laplace de la variable de salida en el tiempo

$Q(S)$  = Transferencia de Laplace de la variable de entrada en el tiempo

**Figura 7**

*La función de Transferencia*



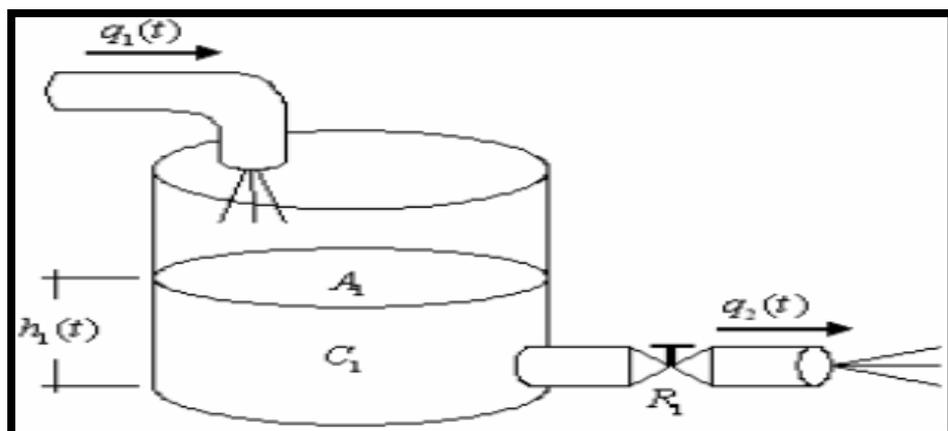
*Nota.* La figura 7 establece la función de Transferencia. Tomada en (Diseño de controladores PID en tiempo discreto y análisis respuesta utilizando herramientas computacionales, 2007, p. 74)

### 2.7.2. Procesos de primer orden

Los procesos industriales que consisten en elementos resistivos y elementos capacitivos se definen de esta manera. El tanque representa la capacitancia del proceso y la válvula representa la resistencia. Tal y como se observa en la figura 8.

**Figura 8**

*Proceso de primer orden*



*Nota:* La figura 8 representa el proceso de primer orden. Tomada de (Diseño de controladores PID en tiempo discreto y análisis respuesta utilizando herramientas computacionales, 2007, p. 75)

La función de transferencia de un proceso está determinada por la ley de conservación de la masa, que define que la materia no se puede crear ni destruir. Esto conlleva, a cuando este en estado estacionario, la tasa de flujo másico del líquido de entrada al tanque,  $q_1(t)$ , da igual a la tasa de flujo másico de líquido que sale del tanque,  $q_2(t)$ , esta observación hace que la siguiente relación de balance de masa en estado estacionario, sea la siguiente:

$$\rho q_1(t) - \rho q_2(t) = \frac{d(\rho A_1 h_1)}{dt} \quad (5)$$

En donde:

$\rho$  = Densidad de masa del líquido

$q_1(t)$  = Taza de flujo másico del líquido de entrada

$q_2(t)$  = Taza de flujo másico del líquido de salida

$h_1(t)$  = Nivel del líquido en el tanque

Ahora bien, si asumiéramos que el tanque drena por una tubería de resistencia  $R_1$  se altera linealmente con el nivel del líquido en el tanque,  $h_1$ , la tasa de flujo másico que deja el tanque es,  $q_2(t)$ , puede ser expresa por la siguiente función:

$$q_2(t) = \frac{h_1(t)}{R_1} \quad (6)$$

Sustituyendo para  $q_1(t)$

$$q_1(t) - \frac{h_1(t)}{R_1} = A_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (7)$$

Considerando, la ecuación 2.7 aún bajo condiciones de un estado estacionario, en un punto inicial en el tiempo  $t = 0$ . El nivel del tanque,  $h_1$ , es seguido, así la ecuación anterior puede ser descrita como:

$$q_{1(t=0)} - \frac{h_{1(t=0)}}{R_1} = 0 \quad (8)$$

En tanto, en un momento igual a 0, se hace un cambio en la tasa de flujo másico, de manera escalafonada desde su estado estacionario con valor  $q_1(t)$  hasta la respuesta en estado dependiente del tiempo del proceso, al transformar el escalón en la tasa de flujo es:

$$q_{1(t)} - q_{1(t=0)} = \frac{1}{R_1} [h_{1(t)} - h_{1(t=0)}] + A_1 = \frac{d[h_{1(t)} - h_{1(t=0)}]}{dt}$$

Ahora desistimos

$$Q_1(t) = q_1(t) - q_{1(t=0)} \quad (9)$$

Tenemos como resultado

$$H_1(t) = h_1(t) - h_{1(t=0)} \quad (10)$$

Por lo anterior, tenemos la ecuación 2.8

$$Q_1(s) = \frac{1}{R_1} H_1(s) + A_1 s H_1(s) \quad (11)$$

Consecuentemente, la función de transferencia del primer orden.

$$\frac{H_1(s)}{Q_1(s)} = \frac{R_1}{T_1 s + 1} \quad (12)$$

Donde:

$R_1$  = Ganancia del proceso

$T_1$  = Constante de tiempo del proceso, igual a  $A_1 R_1$ .

Se dice que una función de transferencia de esta forma es de primer orden porque el polinomio en el denominador es de primer orden y es una función típica de un proceso de primer orden.

### 2.7.3. Función de transferencia de un proceso de segundo orden

Como se mencionó anteriormente, el proceso secundario es un proceso que consta de dos elementos capacitivos y dos elementos resistivos. Los procesos secundarios se clasifican en interactivos y no interactivos.

La Figura 9 muestra un ejemplo de la diferencia entre procesos secundarios interactivos y no interactivos. El proceso no interactivo encontrará que el nivel del tanque dos no tiene ningún efecto sobre el caudal que sale del tanque uno. Por otro lado, en un proceso interactivo, el flujo que sale del tanque uno es el flujo al tanque, que depende del nivel de los dos líquidos en los tanques uno y dos.

La función de transferencia entre las variables de salida del proceso secundario es interactiva o no interactiva y puede estimarse utilizando métodos como los presentados anteriormente en el proceso primario. Por lo tanto, la relación de balance de masa en estado estacionario se usa primero para encontrar la ecuación diferencial. Las ecuaciones diferenciales describen un proceso en términos de la variable independiente  $t$ . Laplace se utiliza para encontrar la función de transferencia como función de una variable compleja.

Examinemos el proceso no interactivo de la figura 7 (a). Anteriormente, como se presentó, la función de transferencia que concuerda con el nivel del líquido en el tanque uno,  $H_1(s)$ , y la tasa de flujo ingresando al tanque uno,  $Q_1(s)$ , es como continúa:

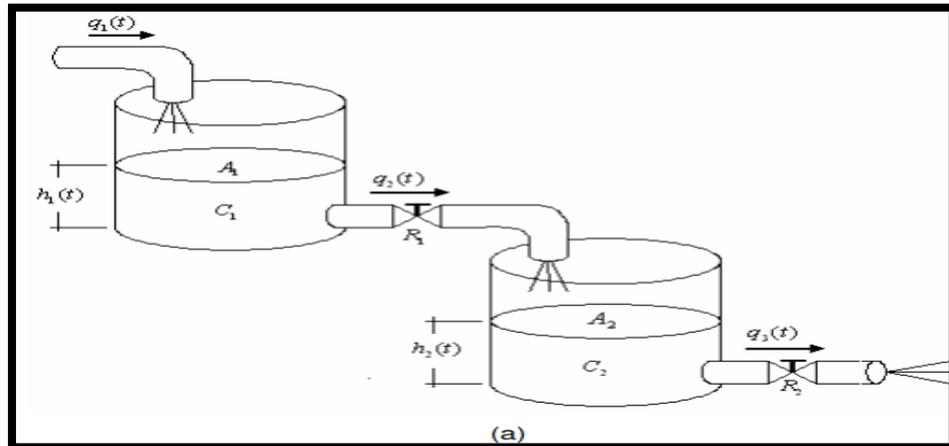
$$\frac{H_1(s)}{Q_1(s)} = \frac{R_1}{T_1s+1} \quad (13)$$

Es así como  $T_1$  = constante de tiempo del proceso, y también es igual  $A_1T_1$ .

Tal y como se observa en la figura 9 a y b.

**Figura 9 (a)**

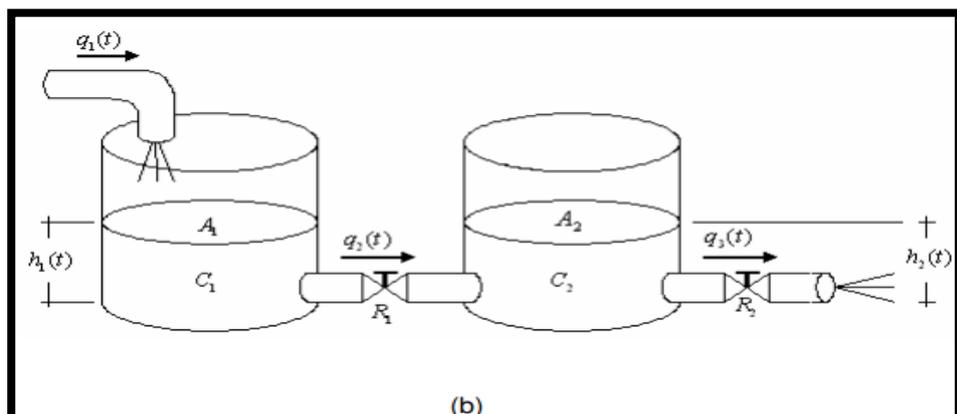
*Planta típica para aproximación de procesos de segundo orden*



*Nota.* En la figura 9 (a), establecen la planta típica para aproximación de procesos de segundo orden. Tomado de (Diseño de controladores PID en tiempo discreto y análisis respuesta utilizando herramientas computacionales, 2007, p. 75)

**Figura 9 (b)**

*Planta típica para aproximación de procesos de segundo orden (b)*



*Nota.* En la figura 9 (b), establecen la planta típica para aproximación de procesos de segundo orden. Tomado de (Diseño de controladores PID en tiempo discreto y análisis respuesta utilizando herramientas computacionales, 2007, p. 75)

Por otro lado, la tasa de flujo entrando al tanque dos,  $Q_2(s)$ , es definida por:

$$Q_2 = \frac{H_1}{R_1} \quad (14)$$

Consecuentemente tenemos que:

$$\frac{H_2}{Q_1} = \frac{R_2}{T_2 s + 1} \quad (15a)$$

En donde  $T_2 = A_2 T_2$

En tanto, la función encargada de la transferencia total, que conecta con el nivel del líquido del tanque 2,  $H_2(s)$ , y la tasa de flujo ingresando al tanque 1,  $Q_1(s)$ , es:

$$\frac{H_2}{Q_1} = \left( \frac{1}{T_1 s + 1} \right) \left( \frac{R_2}{T_2 s + 1} \right) \quad (15b)$$

En donde  $T_2 = A_2 R_2$

En la exhibición anterior, denotamos que la función de transferencia de un proceso de segundo orden, no interactivo, es tan sólo el producto de las funciones de transferencia individuales.

La función anterior significa que a medida que aumenta el grado N del proceso, aumenta la constante de tiempo del proceso. Como resultado, un aumento en el orden N de un proceso retrasa la respuesta dinámica del proceso si el proceso se ve afectado por un cambio escalonado en la variable de entrada.

A continuación, consideramos el proceso interactivo de la Figura 7b, mediante las ecuaciones que describen este proceso son más complejas que las que describen procesos no interactivos. Esto se debe a que, por un lado, el caudal en las tuberías que conectan con los tanques uno y dos depende del nivel de ambos líquidos.

Las ecuaciones diferenciales lineales son

$$q_2(t) = \frac{1}{R_1} [h_1(t) + h_2(t)] \quad (16)$$

$$q_1(t) - q_2(t) = A_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (17)$$

$$q_3(t) = \frac{h_2(t)}{R_2} \quad (18)$$

$$q_2(t) - q_3(t) = A_2 \frac{dh_2}{dt} \quad (19)$$

La transformación de Laplace de estas ecuaciones es:

$$R_1 Q_2(s) = H_1(s) - H_2(s) \quad (20)$$

$$Q_1(s) - Q_2(s) = A_1 s H_1(s) \quad (21)$$

$$R_2 Q_3(s) = H_2(s) \quad (22)$$

$$Q_2(s) - Q_3(s) = A_2 s H_2(s) \quad (23)$$

Haciendo uso de las ecuaciones 2.20 a 2.23, sería un hecho que la función de transferencia total que relaciona el nivel del líquido en el tanque 2,  $H_2(s)$  y el flujo entrante al tanque uno,  $Q_1(s)$  es.

$$\frac{h_2(t)}{R_2} = \frac{R_2}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2 + A_1 R_2) s + 1} \quad (24)$$

Ahora bien, asumiendo que el tanque uno y el tanque dos son de igual tamaño y capacidad, ( $T = T_1 = T_2$ ), se podría hacer una comparación de las operaciones de ecuaciones 2.15 y 2.24 y se terminaría, explicando que la constante de tiempo para el proceso interactivo, es mucho más grande que para el proceso no interactivo.

Es importante mencionar que se pueden modelar muchas conjugaciones de procesos, pero el análisis clave es que, previamente desarrollado, es probable que

las ecuaciones sean más amplias y complejas cuando se ejecutan diferentes tipos de sistemas.

## **2.8. Descripción de los equipos que conforman el sistema de control**

### **2.8.1. Sensor de Nivel**

Un sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide el nivel de un material (generalmente un líquido) en un tanque u otro contenedor. Incluye control de procesos industriales.

Se pueden dividir en dos tipos. Se utiliza un sensor de nivel de punto para indicar el nivel del líquido en un cierto nivel preestablecido. Normalmente, este tipo de sensor actuará como una alarma que indica sobrecarga si detecta un nivel determinado. Por el contrario, actúa como una alarma de nivel bajo.

El sensor de nivel continuo es más sofisticado y puede rastrear todo el nivel del sistema. En este caso, mide un rango específico de niveles de flujo en lugar de un solo punto, y produce una salida analógica directamente correlacionada con el nivel dentro del recipiente. Las señales de salida están conectadas a lazos de control de procesos e indicadores visuales para crear un sistema de gestión de nivel. (Omega Company, n.d.)

#### **2.8.1.1. Método por Ultrasónico**

Se basa en la emisión de pulsaciones ultrasónicas sobre una superficie reflectante y la recepción de sus reflejos en el receptor. El retardo de la captación de eco depende del nivel del tanque. Las mediciones se realizan desde el exterior del tanque. El sensor funciona a una frecuencia cercana a los 20 KHz. Estas ondas, con cierta amortiguación, atraviesan un entorno de gas o vapor y se reflejan en la superficie de un sólido o líquido.

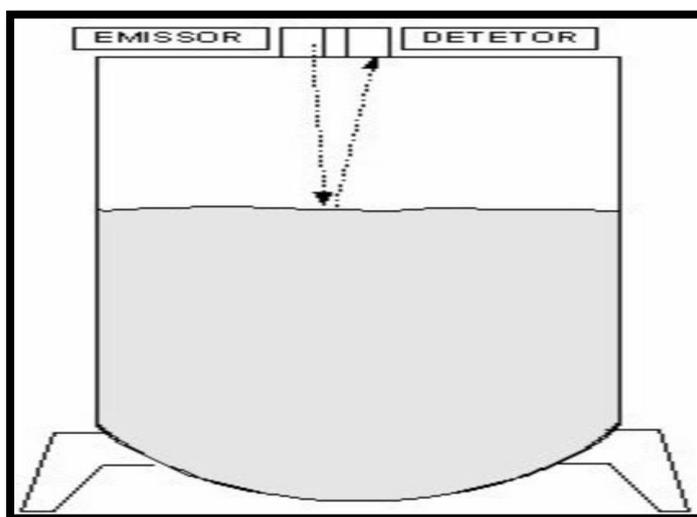
Arias (2013) manifiesta mediante su informe final de tesis que, el sensor emite ondas sonoras en la parte superior del tanque. Cuando las ondas ultrasónicas alcanzan la superficie del líquido, rebotan y regresan al sensor. Sabiendo el tiempo

que regresa la onda y la velocidad del sonido, se calcula la distancia entre el sensor y el nivel para que puedas determinar el nivel. (p. 85).

Se emplean para todo tipo de depósitos y líquidos. Se pueden utilizar en áreas clasificadas. Son sensibles a la densidad del fluido y producen un eco ultrasónico falso, por lo que, si la superficie del nivel del líquido no es transparente, por ejemplo, formará burbujas y emitirá señales falsas porque es demasiado líquido. Tal y como se observa en la figura 10.

**Figura 10**

*Sensor de nivel ultrasónico*



*Nota.* La figura 10 representa un sensor de nivel ultrasónico. (Antech El Salvador, n.d.)

El tipo de sensor ultrasónico que se empleará en el proyecto es la 7ML1115-0BA30 SIEMENS Echomax XPS-10 de la marca SIEMENS.

El sensor Echomax XPS utiliza tecnología ultrasónica para medir el nivel de llenado de muchos líquidos y sólidos granulares.

El sensor es resistente a inundaciones, vapor y productos químicos agresivos. También se puede instalar sin bridas.

La serie XPS ofrece varias versiones que cubren diferentes rangos de medición hasta 30 m. (100 pies) y una temperatura máxima de + 95 ° C (+ 203 ° F).

Durante el funcionamiento, el sensor Echomax emite un pulso acústico de cono acústico estrecho. El transmisor de nivel de carga mide el tiempo de funcionamiento desde la emisión del pulso hasta la recepción del eco y calcula la distancia entre el sensor y el material en consecuencia. Tal y como se observa en la figura 11.

#### Ventajas:

- Compensación de temperatura integrada.
- Rápida amortiguación de vibraciones y acortamiento de la distancia muerta.
- Revestimiento de espuma opcional para uso en ambientes polvorientos.
- Autolimpiante y de bajo mantenimiento
- Resistencia a lo químico.
- Está sellado.

#### Especificaciones Técnicas:

##### Rango de medida máx.

- XPS-10: 10 m (33 ft).
- XPS-15: 15 m (50 ft).
- XPS-30: 30 m (98 ft).

##### Rango de medida mín.

- XPS-10 / XPS-15: 0.3 m (1 ft).
- XPS-30: 0.6 m (2 ft).

##### Temperatura máx.

- Serie XPS: 95 °C (203 °F).

##### Frecuencia

- XPS-10 / XPS-15: 44 kHz.

- XPS-30: 30 kHz.

### Figura 11

*Sensor ultrasónico Echomax XPS-10*



*Nota.* La figura 11 presenta el Sensor ultrasónico Echomax XPS-10. Tomado de (DASTEC Soluciones en Medición y Control, n.d.)

### 2.8.2. Sensor de Temperatura

Estos son dispositivos que convierten los cambios de temperatura en señales de voltaje y los procesan en una unidad de control electrónico. Hay tres tipos de sensores de temperatura: termopares, RTD y termistores.

Los sensores suelen estar formados por elementos cuya resistencia cambia con la temperatura. Independientemente de los tres tipos anteriores, el cambio de temperatura se propaga rápidamente al sensor y al cable porque el sensor generalmente está cubierto con un material que es altamente conductivo a la temperatura. Esto se envía al controlador electrónico.

La clase de sensor que se empleará en el proyecto es la RTD en este caso una PT100.

La RTD o termómetro de resistencia es un transductor de temperatura, que depende del cambio en la resistencia del material cuando cambia la temperatura. En

otras palabras, tiene la capacidad de convertir la temperatura en diferencia de resistencia. Tal y como se observa en la figura 12.

### **Figura 12**

*Sensor de temperatura Pt100*



*Nota.* La figura 12 representa el sensor de temperatura Pt100.  
Tomado de (Maz cr.com, n.d.)

Los sensores de temperatura de resistencia explotan cómo la temperatura afecta la conducción de electrones en un material. En general, a medida que aumenta la temperatura, aumenta el valor de resistencia de un material.

Los RTD deben conectarse mediante una conexión de tipo puente de Wheatstone. Esto se debe a que la diferencia de resistencia que cambia con la temperatura aplicada permite que el puente obtenga un cambio en la corriente que convierte la señal de resistencia en una señal analógica. Controlador electrónico o PLC para controlar la temperatura del proceso.

Las PT1000 y las PT100 son RTDs. Están hechos de platino y se llaman así porque tienen valores de resistencia de 0°C 1000 y 100 ohmios. Se prefieren porque son sensores con una respuesta bastante lineal.

Una de las características del platino es que tiene una línea bastante recta entre temperatura y resistencia. Por esta razón, es ampliamente utilizado, RTD en el Reino Unido RTD. Industrial Platinum RTD en el Reino Unido se conoce comúnmente como IPRT. Sus ventajas incluyen:

Son químicamente inertes.

- Debido a que tiene 2041,4 grados Kelvin, su punto de fusión es bastante alto.
- Existe una relación bastante lineal.
- Se puede utilizar de forma muy pura.

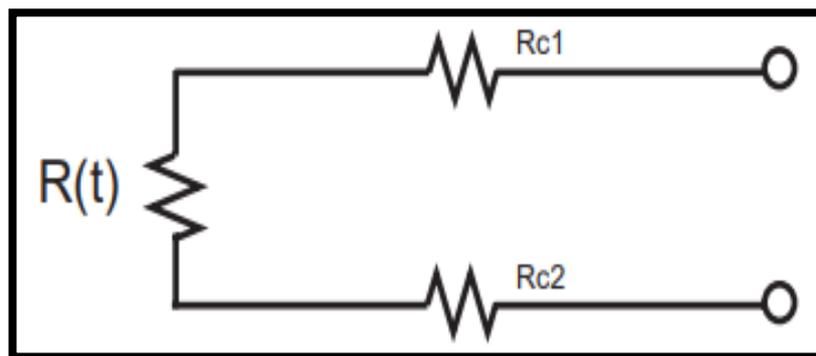
### 2.8.2.1. Conexión de la Pt100

El Pt100 tiene 3 modos de conexión cada uno necesitará otro medidor. El propósito es determinar con precisión la resistencia eléctrica  $R(t)$  del elemento de detección de platino, sin que la resistencia afecte el valor medido cable RC.

Si está usando 2 cables, la forma más fácil de conectarlos es usando 2 cables. Tal y como se observa en la figura 13. En este caso, la resistencia de los cables  $R_{c1}$  y  $R_{c2}$  que conectan el Pt100 y el instrumento aumenta, dando lugar a errores inevitables. El líder mide el total  $R(t) + R_{c1} + R_{c2}$  en lugar de  $R(t)$ . La única forma de reducir la resistencia de  $R_{c1}$  y  $R_{c2}$  es utilizar un cable lo más grueso posible y reducir el error de lectura.

**Figura 13**

*Conexión con dos hilos*



*Nota.* La figura 13 representa la conexión con dos hilos. Tomado de (Pt100)

Por ejemplo, para una temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$ ,  $R(t) = 134,7$  ohmios, en cambio si tendríamos el cable  $R_{c1}$  que es igual a  $1,3$  ohmios y  $R_{c2}$  es igual a  $1,2$  ohmios, la resistencia medida tendrá un resultado de  $134,7 + 1,3 + 1,2 = 137,2$  ohmios. La

temperatura del instrumento es de  $96^{\circ}\text{C}$ . Un cable típico de grosor moderado es un cable con un diámetro equivalente a 18 AWG. La resistencia de este cable es de 0,0193 ohmios por metro.

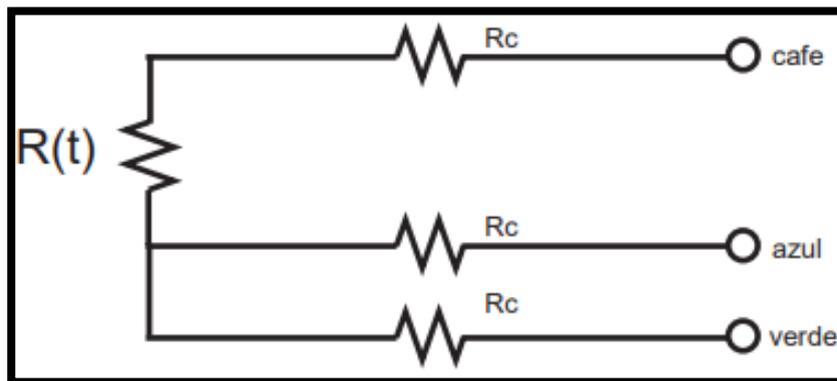
Por ejemplo, si usa este cable para medir una resistencia de 15

A un metro de distancia, la resistencia total del cable es de  $15 * 2 * 0.0193 = 0.579$  ohmios, y puede haber un error de  $1.5^{\circ}\text{C}$  en la lectura.

Para 3 hilos, el modo de conexión es el más común, el problema de los errores generados por los cables es muy numeroso. Tal y como se observa en la figura 14

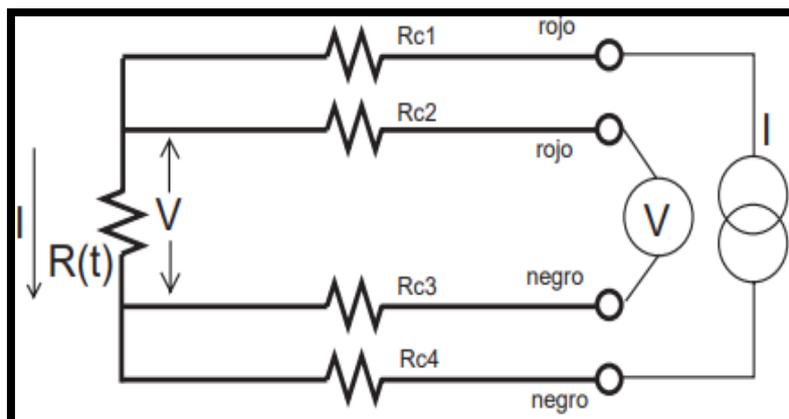
**Figura 14**

*Conexión con tres hilos*



*Nota.* La figura 14 presenta una Conexión con tres hilos. Tomado de (Pt100)

El único requisito es que los 3 cables tengan la misma resistencia. Es eléctrico porque el sistema de medición (en la mayoría de los casos) se basa en un "puente de piedra de trigo". Por supuesto, el lector de temperatura debería ser para este tipo de conexión. En algunos casos, se pasa una corriente conocida a través de los cables azul y verde, a través de los cuales el instrumento mide  $2R_c$ . A continuación, mida la resistencia a través de los cables marrón y azul, reste  $2R_c$  de la medición final para obtener  $R(t)$ . El método de 4 cables es el más preciso y 4 cables, puede variar, es decir, con diferentes resistencias para este instrumento, pero a su vez es más caro. Tal y como se observa en la figura 15.

**Figura 15***Conexión con cuatro hilos*

*Nota.* La figura 15 presenta la conexión con cuatro hilos.

Tomado de (Pt100)

A través de los cables 1 y 4, una corriente conocida  $I$  circula a través de  $R(t)$ , creando una diferencia de potencial  $V$  a través de  $R(t)$ . Dado que los cables 2 y 4 están conectados a la entrada del voltímetro de alta impedancia, no fluye corriente en estos cables, por lo que la caída de potencial entre los cables  $Rc2$  y  $Rc3$  es cero ( $dV = I_c * R_c = 0 * R_c = 0$ ). El voltímetro mide con precisión el voltaje  $V$  a través del elemento  $R(t)$ . Finalmente, el medidor obtiene  $R(t)$  dividiendo el  $V$  medido por la corriente  $I$  conocida.

### 2.8.2.2. Autocalentamiento

Cualquiera que sea el método de conexión, debe pasar una corriente específica  $I$  fluye a través del elemento sensor para que se pueda medir su resistencia. Esta corriente que llamé "corriente de excitación" proviene del medidor y es del orden de 0,1 mA. A 2 mA. Depende del modelo y la marca. del instrumento.

Un posible problema es que la "corriente de excitación" producirá calentamiento del elemento sensor por efecto Joule ( $P = I * I * R$ ) y elevará su temperatura, provocando errores en la lectura. Esto es más pronunciado cuando se mide en un medio que conduce menos calor (menor capacidad para disipar el calor generado) al mismo tiempo.

Por ejemplo, si desea medir la temperatura, es más alta que si mide el agua. Un valor típico del error producido por Pt100 es del orden de 0.5 ° C por milivatio producido si Pt100 está en aire fresco y 0.05 ° C si el mismo Pt100 está en agua. Dado que la fuerza de autocalentamiento depende del cuadrado de la corriente impulsora, cuanto menor sea esta corriente, menos efectiva será.

### **2.8.2.3. Precauciones**

Finalmente, la instalación del Pt100 debe tomar ciertas precauciones de limpieza y protección para evitar errores provocados por fugas de corriente. En ambientes muy húmedos, es común que los cables se degraden y la corriente fluya entre los cables a través de la humedad condensada. Hay un mínimo, pero por esta corriente de "fuga", el lector muestra una temperatura más baja de lo que realmente es. Estas fugas también pueden causar que el óxido, la humedad o el polvo cubran los terminales.

De la descripción del método de medición, queda claro que, a diferencia de los termopares, dos dispositivos de lectura no se pueden conectar al mismo Pt100 para suministrar corriente respectivamente. Tal y como se observa en la tabla 1, 2 y 3.

Tabla 1

Valores resistivos Pt100

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68
160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10
180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200	175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81
220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09
240	190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72
250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94
270	201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53
280	204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11
290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67

Nota. La tabla 1 nos demuestra aquellos valores resistivos Pt100.  
Tomada de (Pt100).

Tabla 2

Valores resistivos Pt100

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
300	212.03	212.39	212.74	213.10	213.45	213.81	214.16	214.52	214.88	215.23
310	215.59	215.94	216.29	216.65	217.00	217.36	217.71	218.07	218.42	218.77
320	219.13	219.48	219.84	220.19	220.54	220.90	221.25	221.60	221.96	222.31
330	222.66	223.01	223.37	223.72	224.07	224.42	224.77	225.13	225.48	225.83
340	226.18	226.53	226.88	227.24	227.59	227.94	228.29	228.64	228.99	229.34
350	229.69	230.04	230.39	230.74	231.09	231.44	231.79	232.14	232.49	232.84
360	233.19	233.54	233.89	234.23	234.58	234.93	235.28	235.63	235.98	236.32
370	236.67	237.02	237.37	237.72	238.06	238.41	238.76	239.11	239.45	239.80
380	240.15	240.49	240.84	241.19	241.53	241.88	242.23	242.57	242.92	243.26
390	243.61	243.95	244.30	244.65	244.99	245.34	245.68	246.03	246.37	246.72
400	247.06	247.40	247.75	248.09	248.44	248.78	249.12	249.47	249.81	250.16
410	250.50	250.84	251.19	251.53	251.87	252.21	252.56	252.90	253.24	253.58
420	253.93	254.27	254.61	254.95	255.29	255.64	255.98	256.32	256.66	257.00
430	257.34	257.68	258.02	258.37	258.71	259.05	259.39	259.73	260.07	260.41
440	260.75	261.09	261.43	261.77	262.11	262.45	262.78	263.12	263.46	263.80
450	264.14	264.48	264.82	265.16	265.49	265.83	266.17	266.51	266.85	267.18
460	267.52	267.86	268.20	268.53	268.87	269.21	269.54	269.88	270.22	270.55
470	270.89	271.23	271.56	271.90	272.24	272.57	272.91	273.24	273.58	273.91
480	274.25	274.58	274.92	275.25	275.59	275.92	276.26	276.59	276.93	277.26
490	277.60	277.93	278.26	278.60	278.93	279.26	279.60	279.93	280.26	280.60
500	280.93	281.26	281.60	281.93	282.26	282.59	282.93	283.26	283.59	283.92
510	284.25	284.58	284.92	285.25	285.58	285.91	286.24	286.57	286.90	287.23
520	287.56	287.90	288.23	288.56	288.89	289.22	289.55	289.88	290.21	290.54
530	290.86	291.19	291.52	291.85	292.18	292.51	292.84	293.17	293.50	293.82
540	294.15	294.48	294.81	295.14	295.47	295.79	296.12	296.45	296.78	297.10
550	297.43	297.76	298.08	298.41	298.74	299.07	299.39	299.72	300.04	300.37
560	300.70	301.02	301.35	301.68	302.00	302.33	302.65	302.98	303.30	303.63
570	303.95	304.28	304.60	304.93	305.25	305.58	305.90	306.22	306.55	306.87
580	307.20	307.52	307.84	308.17	308.49	308.81	309.14	309.46	309.78	310.11
590	310.43	310.75	311.07	311.40	311.72	312.04	312.36	312.68	313.01	313.33
600	313.65	313.97	314.29	314.61	314.93	315.26	315.58	315.90	316.22	316.54
610	316.86	317.18	317.50	317.82	318.14	318.46	318.78	319.10	319.41	319.73
620	320.05	320.37	320.69	321.01	321.33	321.65	321.96	322.28	322.60	322.92
630	323.24	323.55	323.87	324.19	324.51	324.82	325.14	325.46	325.78	326.09
640	326.41	326.73	327.04	327.36	327.67	327.99	328.31	328.62	328.94	329.25
650	329.57	329.89	330.20	330.52	330.83	331.15	331.46	331.78	332.09	332.41
660	332.72	333.04	333.35	333.66	333.98	334.29	334.61	334.92	335.23	335.55
670	335.86	336.17	336.49	336.80	337.11	337.43	337.74	338.05	338.36	338.68
680	338.99	339.30	339.61	339.92	340.24	340.55	340.86	341.17	341.48	341.79
690	342.11	342.42	342.73	343.04	343.35	343.66	343.97	344.28	344.59	344.90
700	345.21	345.52	345.83	346.14	346.45	346.76	347.07	347.38	347.68	347.99
710	348.30	348.61	348.92	349.23	349.53	349.84	350.15	350.46	350.77	351.07
720	351.38	351.69	352.00	352.30	352.61	352.92	353.22	353.53	353.84	354.14
730	354.45	354.75	355.06	355.37	355.67	355.98	356.28	356.59	356.89	357.20
740	357.51	357.81	358.12	358.42	358.72	359.03	359.33	359.64	359.94	360.25
750	360.55	360.85	361.16	361.46	361.77	362.07	362.37	362.68	362.98	363.28
760	363.59	363.89	364.19	364.49	364.80	365.10	365.40	365.70	366.01	366.31
770	366.61	366.91	367.21	367.51	367.81	368.12	368.42	368.72	369.02	369.32
780	369.62	369.92	370.22	370.52	370.82	371.12	371.42	371.72	372.02	372.32
790	372.62	372.92	373.22	373.52	373.82	374.12	374.42	374.71	375.01	375.31
800	375.61	375.91	376.21	376.50	376.80	377.10	377.40	377.70	377.99	378.29
810	378.59	378.88	379.18	379.48	379.77	380.07	380.37	380.66	380.96	381.26
820	381.55	381.85	382.14	382.44	382.74	383.03	383.33	383.62	383.92	384.21
830	384.51	384.80	385.10	385.39	385.69	385.98	386.27	386.57	386.86	387.16
840	387.45	387.74	388.04	388.33	388.62	388.92	389.21	389.50	389.79	390.09
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Nota. La tabla 2 nos demuestra aquellos valores resistivos Pt100.  
Tomada de (Pt100)

**Tabla 3***Características sensor de temperatura*

RTD	
Tipo	Pt100
Rango de temperatura	0°C ~ 1250 °C
Material del RTD	Platino
Precisión	0.01 °C
Diámetro del tubing	3/16
Longitud del tubing	1.5
Material del tubing	Acero inoxidable
Tipo de unión	Aislado
Resistencia sonda a 0°C	100 Ω
Aislante	
Material de la extensión	Teflón
Rango de temperatura	-190°C ~ 260°C
Longitud de la extensión	2 m
Número de hilos	3 hilos
Resistencia a la abrasión	Muy buena
Resistencia a la humedad	Excelente
Resistencia a la producción del petróleo	Excelente

*Nota.* La tabla 3, nos demuestra sus características. Tomada de (Pt100).

### 2.8.3. Electroválvula

Este es el dispositivo encargado de controlar el flujo a través de una tubería o conducto.

Las válvulas de solenoide también se consideran válvulas electromecánicas porque están controladas por la corriente que fluye a través de la bobina de solenoide.

Esta válvula se utiliza cuando la señal proviene de un temporizador eléctrico, un interruptor de límite eléctrico, un interruptor de presión, un control eléctrico. Por tanto, la electroválvula permite elegir el accionamiento eléctrico para controlar distancias muy largas y tiempos de conmutación cortos.

#### **2.8.4. Bomba de agua**

Una bomba de agua es una máquina que se utiliza para bombear un líquido de un lugar a otro, independientemente del líquido. Se utilizan para suministrar o drenar líquido de algún lugar.

Es una máquina que puede transportar un fluido de un lugar a otro absorbiendo la energía mecánica que puede ocurrir en motores eléctricos y térmicos, etc. y convirtiéndola en energía que la transfiere al fluido como energía hidráulica. Mismo nivel y/o diferente nivel y/o diferente velocidad.

#### **2.8.5. Tanques de almacenamiento**

Son estructuras de diversos materiales, generalmente cilíndricas, y se utilizan para almacenar y / o almacenar gases líquidos a una determinada presión.

Los tanques de almacenamiento se utilizan para almacenar industrias de líquidos, gas y petroquímica, y su uso más destacado es principalmente el refinado de petróleo debido a sus requisitos de almacenamiento, temporal o de largo plazo. actividad del producto obtenido.

#### **2.8.6. Controlador lógico programable**

Un controlador lógico programable, también conocido como PLC o controlador lógico programable en inglés, es una computadora utilizada para la automatización de procesos industriales, que permite la automatización de sistemas electromecánicos como el control de máquinas electromecánicas en la producción industrial.

Estos dispositivos se utilizan en la mayoría de los sistemas de la industria. Se diferencian de los ordenadores convencionales en que tienen varias entradas y salidas, son resistentes a altas temperaturas y pueden soportar ruidos eléctricos, vibraciones, caídas, etc. Los programas de control de la máquina se almacenan en una memoria no volátil o en baterías. Dado que el PLC es un sistema que transmite

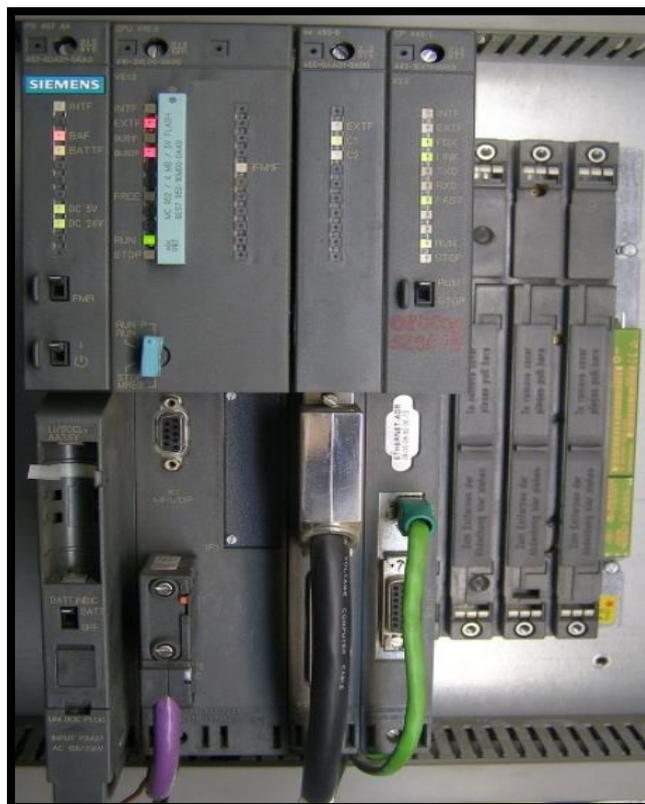
una señal de salida de acuerdo con la señal de entrada, ejecuta retroalimentación para obtener el comando deseado.

Nació en 1968 para GM Hydramatic que pedía una propuesta para reemplazar un sistema de relés basado en un circuito cableado. Bedford Associates hizo la mejor sugerencia. Debido a que era el proyecto número 84 de un colega de Bedford, se desarrolló el primer PLC llamado 084. Tal y como se observa en la figura 16.

Bedford Associates tiene como principal función el crear y proporcionar servicios de mantenimiento para estos dispositivos bajo el nombre MODICON. Dick Morley, también conocido como el padre de PLC, trabajó en este proyecto. En 1977, MODICON fue vendido a Gould Electronics, luego adquirido por la alemana AEG y finalmente por la francesa Schneider Electric.

**Figura 16**

*PLC*



*Nota.* La figura 16, representa a PLC. Tomada de (Wikipedia la enciclopedia libre, 2021).

La evolución de los PLC se ha centrado en las funciones más básicas y necesarias, incluido el control de procesos industriales, el control de relés y la comunicación de datos. Los PLC modernos tienen las mismas capacidades de almacenamiento, procesamiento, comunicación y rendimiento que las computadoras de escritorio que se usan comúnmente en los hogares. Los PLC permiten la programación y los enlaces acoplados con hardware de E / S remotas, lo que facilita la sustitución de algunos PLC en algunas aplicaciones que utilizan computadoras domésticas. Estas computadoras convencionales generalmente tienen un sistema operativo que no es tan estable como el sistema que tiene el PLC, y el hardware de las computadoras domésticas tiene alta temperatura, vibración, polvo, gotas y humedad. Si lo usa, su hardware es limitado. Windows, el sistema operativo de estas computadoras, no es adecuado para la ejecución de lógica determinista. Sin embargo, las computadoras de escritorio son generalmente menos costosas que los PLC, por lo que las aplicaciones son menos exigentes y se pueden usar para aplicaciones más simples, como la automatización del hogar y pequeñas instalaciones, donde son menos importantes. Algunas de las ventajas de un controlador lógico programable son que ahorra tiempo en el desarrollo y la implementación del proyecto y se puede modificar a un costo menor. También ocupa muy poco espacio, tiene bajos costos de mantenimiento, reemplaza los costos de mano de obra y reduce los costos de nómina porque se puede controlar más de una máquina. Por otro lado, los controladores lógicos programables también tienen algunos inconvenientes, como era de esperar. Esto se debe a que el mantenimiento de estas máquinas requiere de personal calificado y capacitado para que el equipo pueda desarrollarse sin problemas.

El PLC que se empleará en el proyecto de investigación es el S7-1200 de la marca SIEMENS.

Un módulo de periferia E/S descentralizada HART, el cual podría ser ET 200SP HA Módulo de entradas y salidas AI-DI 16/DQ16x24VDC HART HA (6DL1133-6EW00-0PH1) o cualquier otro módulo disponible para periferia E/S descentralizada HART, por ejemplo, ET 200SP AI 4x1 2-wire 4..20mA HART (6ES7134-6TD00-0CA1); ET 200SP INTERFAZ (6ES7 155-6AU00-0CN0) y módulo de entradas analógicas (6ES7 134-6TD00-0CA1).

## **2.9. Tia Portal**

Esta es una plataforma de ingeniería de automatización. Un portal de automatización totalmente integrado proporciona acceso a una gama completa de servicios de manera digital, desde la planificación digital y la ingeniería integrada hasta las operaciones.

Dado que la nueva versión admite herramientas de simulación, las capacidades adicionales de diagnóstico y gestión de energía aumentan la productividad de la planta.

El portal TIA le permite integrar todos los componentes principales de su proyecto de automatización (control, HMI, motores, periféricos descentralizados, gestión de motores y ahora control de movimiento y distribución de energía).

## **2.10. Factory IO**

Es una plataforma en la que se puede entrenar mediante la constante práctica de tareas de control del mundo real con más de 20 escenas inspiradas en aplicaciones industriales comunes. Desarrollando así la creatividad y el diseño de escenarios propios de automatización, haciendo uso de una paleta de partes industriales.

Establece conexión con PLC Siemens compatibles, físicos como LOGO, S7-200 / 200 SMART / 300 / 400, S7-1200 / 1500, S7-PLCSIM.

En caso de no tener PLC físico, se procedería a descargar una plantilla de acuerdo al PLC virtual que se desee utilizar y posteriormente establecer comunicación. Cabe mencionar que dicha plantilla debe ser incluida al inicio de nuestra programación.

## **2.11. Interfases y protocolos de comunicación**

Las interfases se encargan de preparar los datos para que puedan pasar por un medio de transmisión. Si el medio de transmisión es cobre, los datos pueden expresarse en niveles de voltaje o corriente; en el caso de fibra óptica, los datos

deben expresarse como pulsos de luz. Los siguientes protocolos son los encargados de establecer las reglas que rigen el intercambio de datos entre dos equipos. (Interfaces y Protocolos de Comunicación, 2012)

### 2.11.1. Modos de Comunicación

Una forma de caracterizar los dispositivos finales de línea, las computadoras y los módems es por su modo de transmisión o modo de comunicación. Las tres clases de modos de transporte son semidúplex simple y dúplex completo.

### 2.11.2. Comunicación Simplex

Es aquella que solo sucede en un sentido y evita que el receptor tenga posibilidad de responder al emisor. El transporte simple generalmente no se usa cuando se requiere la interacción hombre-máquina. Un ejemplo de transmisión simple es la búsqueda unidireccional de transmisiones de radio y televisión. Tal y como se observa en la figura 17.

**Figura 17**

*Comunicación Simplex*



*Nota.* La figura 17 establece la Comunicación simplex. Tomado de (Interfaces y Protocolos de Comunicación, 2012)

### 2.11.3. Comunicación Half Dúplex

La transmisión half-dúplex permite la transmisión bidireccional, es decir, la transmisión solo puede ocurrir en una dirección a la vez. Tanto el transmisor como el

receptor comparten una sola frecuencia y se encuentran interrelacionados. Tal y como se observa en la figura 18.

**Figura 18**

*Comunicación Half Duplex*



*Nota.* La figura 18 que establece la comunicación half duplex.

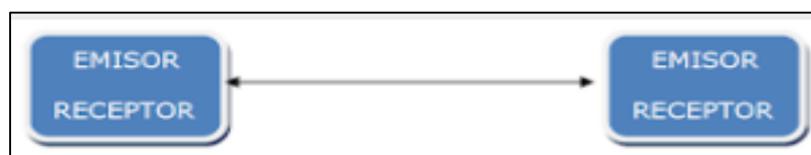
Tomado de (2012)

#### 2.11.4. Comunicación Dúplex

La transmisión full-dúplex (FDX) permite la transmisión en ambas direcciones, pero simultáneamente en el mismo canal. Hay dos frecuencias: envío y recepción. Los ejemplos de este tipo son numerosos en el campo de las telecomunicaciones. El caso más común es un teléfono, donde el transmisor y el receptor se comunican simultáneamente usando el mismo canal, pero usando dos frecuencias. Tal y como se observa en la figura 19.

**Figura 19**

*Comunicación Dúplex*



*Nota.* La figura 19 establece la comunicación dúplex.

Tomado de (Interfaces y Protocolos de Comunicación, 2012)

### **2.11.5. Velocidad de Transmisión (transmission rate or baud rate)**

Esto muestra cuántos bits por segundo se pueden enviar entre el transmisor y el receptor. Todos los elementos de la red deben operar a la misma velocidad. La velocidad máxima está limitada por el tipo de interfaz utilizada y el medio de transmisión.

La velocidad en baudios también es función de la longitud de la línea. Esto se debe a que la probabilidad de interferencia electromagnética aumenta al aumentar la longitud, pero disminuye al disminuir la velocidad de transmisión. Se pueden lograr velocidades de transferencia entre 1200 bits / segundo y 37,5 kilobits / segundo de una manera sencilla. Para velocidades superiores a 1 Mbit / s, se requieren cables especiales de cobre o fibra óptica.

### **2.11.6. Interfases**

Una interfaz de comunicación en serie es un elemento que permite la transferencia de información desde un equipo de datos (DTE) a un medio de transmisión para la comunicación con un módulo u otro dispositivo de datos (DTE).

La transmisión de datos a través de este medio está sujeta a estándares internacionales para garantizar la compatibilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes.

La principal consideración a nivel de campo es que la línea de transmisión de datos es barata y sencilla.

Un tipo de interfaz estándar en serie a nivel industrial. Bajos costos de instalación (cables y conectores) La gran longitud de los cables y la seguridad de la información compensan las bajas tasas de transmisión que lo caracterizan.

### **2.11.7. Protocolos**

Un protocolo es un idioma en el que los dispositivos se comunican a través de una red. Así es como los dispositivos de una red intercambian información. Por ejemplo, dos computadoras conectadas a la misma red, pero con diferentes protocolos no

pueden comunicarse, por lo que todas deben "hablar" en el mismo idioma. Debido a esto, se creó el protocolo TCP / IP para la comunicación por Internet. Este protocolo de comunicación debe estar instalado para que su computadora se conecte a Internet. Se pueden implementar en hardware (tarjetas de red), software (controladores) o una combinación de ambos. (Interfaces y Protocolos de Comunicación, 2012)

Luego, se puede definir como un conjunto de reglas con respecto al formato de los datos, cómo se transmiten, cómo se accede al bus de topología de red y cómo se controla generalmente para la comunicación entre dos o más dispositivos o servicios.

Algunas características que debe cumplir el protocolo son:

- Detectar si la conexión es una conexión física (cableada o inalámbrica).
- Pasos necesarios para iniciar la comunicación (apretón de manos).
- Negociar atributos de conexión.
- El principio y el final del mensaje.
- Formato de mensaje.
- Cómo manejar mensajes de error o corruptos (corrección de errores).
- Cómo detectar desconexiones inesperadas y qué hacer en este caso.
- Termine la sesión de conexión.
- Estrategias para garantizar la seguridad (autenticación, cifrado).

Los protocolos implementados en sistemas de comunicación de alto impacto son a menudo ejemplos de estándares establecidos porque la comunicación y el intercambio de información (datos) son importantes en muchos sistemas y el trabajo de diseño debe copiarse para asegurar dicha comunicación.

Esto sucede intencionalmente, incluso de manera informal. Existe un consorcio de empresas cuyo objetivo es identificar las recomendaciones estándar que deben seguirse para garantizar la interoperabilidad de los productos. (Interfaces y Protocolos de Comunicación, 2012)

Ejemplos de protocolos

- Capa 1: Nivel físico

Cable de par trenzado, Cable coaxial o UTP categoría 5, Cable de fibra óptica, y Cable de par trenzado.

- Capa 2: Nivel de enlace de datos  
Token Ring, FDDI, ATM, HDLC, Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet.
- Capa 3: Nivel de red  
IGMP, NetBEUI, IPX, Appletalk, ARP, RARP, IP (IPv4, IPv6), X.25 y ICMP.
- Capa 4: Nivel de transporte  
SPX, TCP, UDP.
- Capa 5: Nivel de sesión  
RPC, SSL, NetBIOS.
- Capa 6: Nivel de presentación  
ASN.1.
- Capa 7: Nivel de aplicación  
POP3, IMAP, SNMP, SMTP, HTTP, SMB/CIFS, NFS, Telnet, IRC, ICQ, NNTP, FTP, SSH. (Interfaces y Protocolos de Comunicación, 2012).

#### **2.11.8. Protocolo de comunicación HART**

El protocolo HART se deriva de las siglas "Highway Addressable Remote Transducer" = Transductor remoto direccionable de alta velocidad.

De la Cruz y Menéndez (2014), expresan a través de su tesis que este es un protocolo abierto comúnmente usado en sistemas de control y se usa para monitorear datos usando equipos de campo. (p. 51)

Rosemount Inc en la década de 1980. Desarrollado por y luego liberado sus derechos. Por lo tanto, desde 1993, esta norma está depositada en la HART Communication Foundation (HCF) y está disponible gratuitamente para todos los fabricantes que deseen implementarla como sistema de control.

Ha contribuido a su popularidad e implementación en muchas industrias y se ha convertido en uno de los protocolos líderes utilizados por más de 60 fabricantes certificados en el campo de la instrumentación.

Uno de los beneficios de HART es la versatilidad para implementar un 4-20 mA tradicional en un sistema ya instalado utilizando el mismo cableado y las mismas entradas y salidas del sistema de control descrito anteriormente.

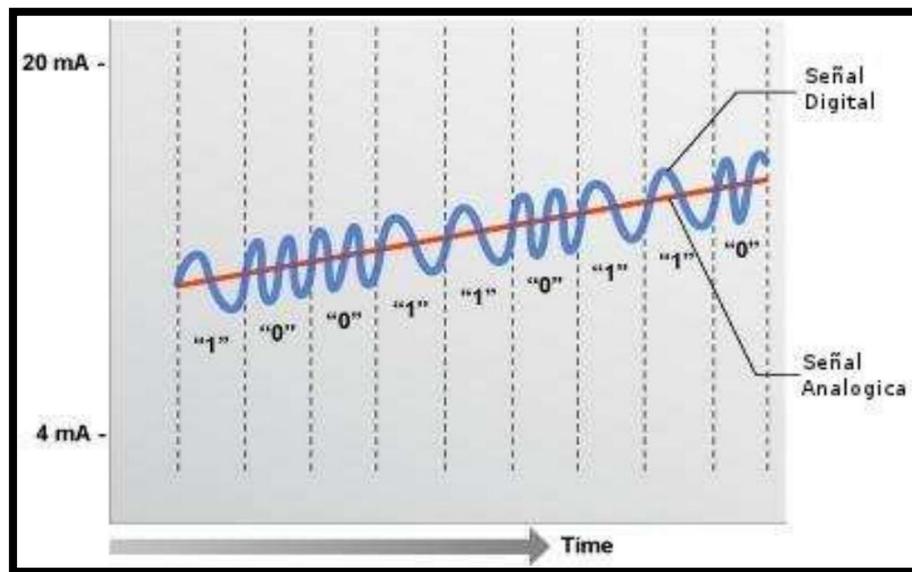
Otra ventaja es que los sistemas analógicos y digitales están mezclados, la información sobre las variables lineales se mantiene en los 4-20 mA conocidos y la parte digital de este protocolo proporciona información simultánea adicional.

#### Características:

El protocolo HART es una mezcla de información analógica y digital en el mismo cable, que se realiza gracias a la tecnología de codificación de frecuencia (FSK), en la que la información digital se superpone en un circuito cerrado de corriente (4 a 20 mA). Hay una señal de CA que tiene una corriente de CC que transporta información de estas variables primarias (4-20 mA) que varía entre dos frecuencias (1200 Hz y 2200 Hz) donde esta señal representa unos y ceros binarios. Cada. Dado que el valor medio de esta señal de CA es igual a cero, no agrega fluctuaciones a la señal de CC y, por lo tanto, no puede provocar un cambio en la variable primaria. Tal y como se observa en la figura 20.

**Figura 20**

*Señales Digitales y Analógicas en HART*



*Nota.* La figura 20 presenta las Señales Digitales y Analógicas en HART. Tomado de Rodríguez (2011).

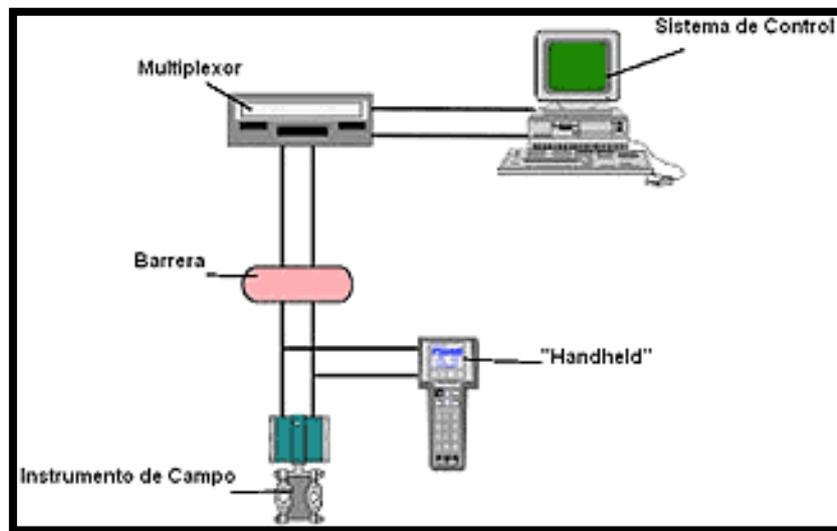
Habiendo mencionado lo anterior es necesario decir que el instrumento puede continuar utilizando la señal analógica 4 ~ 20 mA, para el adecuado control de procesos y así mismo, la señal digital para la información que no sea de control.

Tipos de conexiones:

El protocolo de comunicación industrial HART, trabaja en 2 tipos de conexiones: Punto a punto y Multidrop. Tal y como se observa en la figura 21 y 22.

**Figura 21**

*Modo de Operación Punto a Punto*



*Nota.* La figura 21 representa el Modo de operación Punto a Punto. Tomada de (Revista Electro Industria, n.d.)

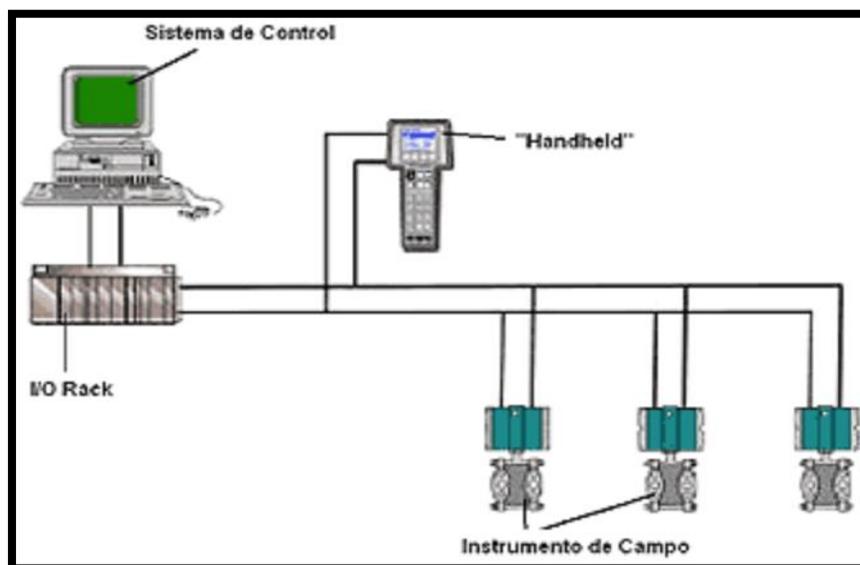
Estas conexiones cambian principalmente la información de la variable proporcional a la corriente CC mantenida en el rango de 4-20 mA. Además, la información adicional se procesa digitalmente a las fluctuaciones de frecuencia mencionadas anteriormente. (Rodríguez P., 2011, p. 46)

La implementación de este tipo de conexión requiere considerar la configuración HART del dispositivo y se le asigna la dirección 0. De lo contrario, el instrumento solo funcionará con señales analógicas, no digitales.

Este tipo de conexión conecta el instrumento a un dispositivo maestro (PC) para que también se pueda conectar un segundo dispositivo maestro, como un lector HART portátil. Esto es muy útil cuando se realiza una lectura remota.

- Multidrop

Básicamente, tiene la capacidad de operar varios instrumentos en el mismo par de líneas en un circuito cerrado. Esta función le permite recibir información en tiempo real desde múltiples dispositivos.

**Figura 22***Modo de Operación Multidrop*

*Nota.* La figura 22 representa el Modo de operación Multidrop.

Tomada de (Revista Electro Industria, n.d.)

En el caso de las conexiones Multidrop, es necesario tener en cuenta que la dirección del dispositivo puede ser diferente de 0 y, por supuesto, no se asigna la misma dirección a varios dispositivos.

Cuando configura estas direcciones en el instrumento, el sistema ajusta automáticamente la corriente del lazo a un valor fijo, generalmente el valor mínimo, es decir, 4 mA. Además, toda la comunicación de las variables de proceso y la información adicional de cada instrumento se transmite en modo digital. Esto se debe a que el equipo está conectado al mismo par de líneas, y si una de ellas produce una corriente más alta que la otra, se producirá un cortocircuito.

Debido a que el sistema admite hasta 15 direcciones de dispositivos, se puede conectar la misma cantidad de dispositivos al mismo par de líneas.

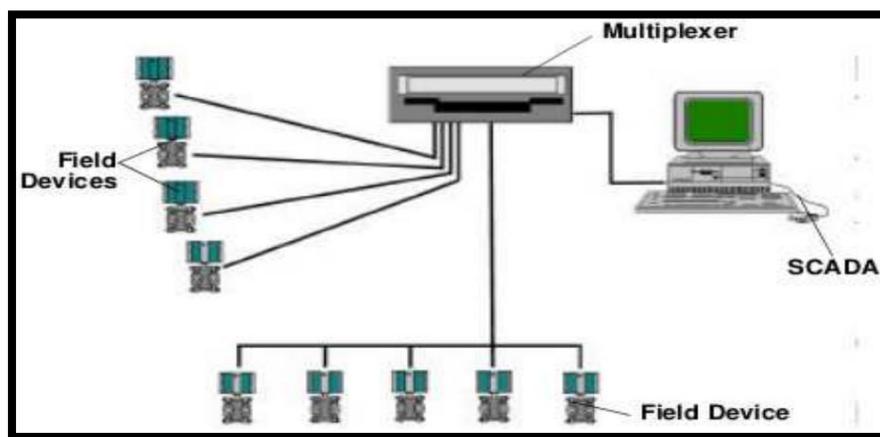
Las conexiones físicas deben realizarse a cada aparato en paralelo en el mismo par de líneas eléctricas. Es decir, cada uno está conectado a cada parte conectada a la misma cantidad de fuente de energía positiva. Es necesario considerar la polaridad para no cometer un error que comprometa la funcionalidad del dispositivo.

- Multiplexores

Un multiplexor es un medio para establecer una conexión con un dispositivo combinado de conexiones punto a punto y multiplexores. La comunicación entre el multiplexor y el dispositivo servidor depende de la función del multiplexor (RS232C, RS485, Modbus o TCP / IP Ethernet). Tal y como se observa en la figura 23.

**Figura 23**

*Multiplexor*



*Nota.* La figura 23 representa el Multiplexor. (Revista Electro Industria, n.d.)

Como puede ver, un multiplexor le permite utilizar varios dispositivos en una conexión punto a punto. En este caso, la variable de proceso está configurada para variar de 4 a 20 mA. De manera similar, una conexión Multidrop puede tener varios dispositivos que adquieren tanto información de proceso como información adicional de forma digital.

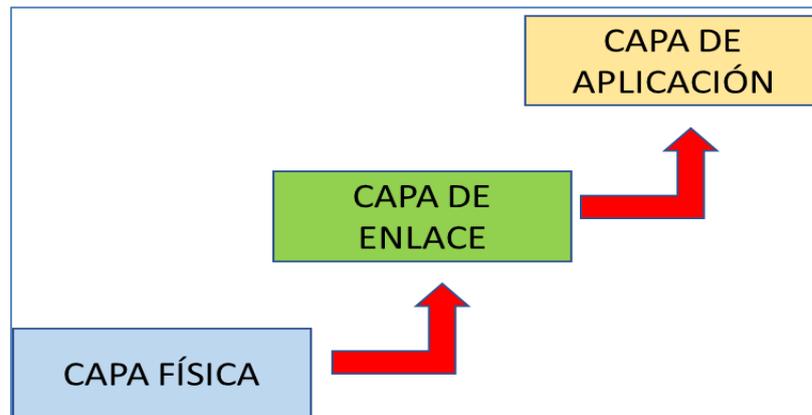
Tramas y comandos del Protocolo HART.

De acuerdo a Macduff y Curreri (1958), el desplazamiento, la velocidad o la aceleración pueden representarse en primer lugar en el dominio del tiempo, esto trae como resultado una onda bastante irregular, en la que ya podríamos ver algunos parámetros que nos permita relacionar esa onda con el estado de la máquina. Tal y como se observa en la figura 24.

Las capas del protocolo HART, son las siguientes:

### Figura 24

*Capas de protocolo HART*



*Nota.* La figura 24 son la escala de capas del protocolo HART.

Trama de la capa de enlace.

A continuación, se define cada concepto que forma parte la trama de la capa de enlace:

**Preámbulo:** Secuencia de puros UNOS; Permitir la sincronización de cuadros.

**Byte de inicio:** Indica el tipo de mensaje: Modo maestro / esclavo, esclavo / maestro "Burst". Puede formatear el campo de dirección: formato corto o formato largo.

**Dirección:** Incluye la dirección maestra y la dirección del esclavo. En la forma abreviada, la dirección del esclavo es de 4 dígitos y la forma larga es de 38 dígitos (incluida la dirección de un dispositivo específico).

**Comandos:** contiene comandos o funciones específicos en un mensaje: comandos generales, comandos generales y comandos específicos del dispositivo.

**Recuento:** contiene el número de bytes en el campo de información del campo de estado.

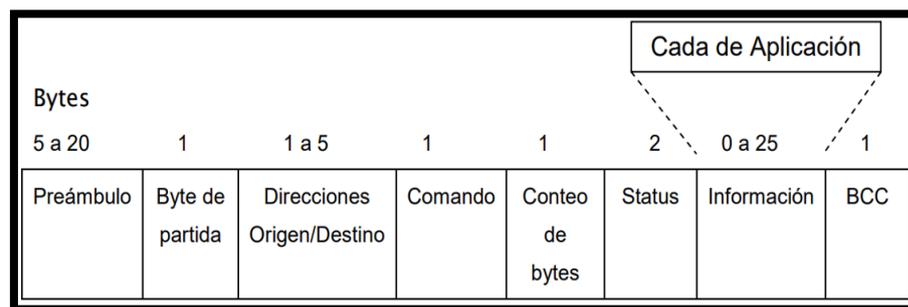
**Estado:** el mensaje de error de comunicación contiene información sobre el estado del comando recibido y el estado del dispositivo en sí.

Información: algunos existen y otros no existen según el mensaje. Tienen una longitud de 0 a 25 bytes.

BCC: Se incluye el resultado de OR exclusivo hasta la información del byte de inicio. Tal y como se observa en la figura 25.

**Figura 25**

*Formato de capa de Enlace*



*Nota.* La figura 25 acerca del Formato de capa de Enlace. Tomada de la (Revista Electro Industria, n.d.)

### Comando HART

El conjunto de comandos HART está organizado en tres grupos y proporciona acceso de lectura / escritura a toda la información disponible en el instrumento de campo inteligente. El conjunto de comandos está organizado en tres categorías:

Comando universal. Proporcionan acceso a información que ayuda en el funcionamiento normal. Por ejemplo, marca del dispositivo, modelo, número de serie, alcance del trabajo, variables físicas, etc.

Comando general. La lectura de la calibración (cero, intervalo) de estas variables proporciona acceso a funciones ejecutables en muchos dispositivos, si no en todos, como el inicio de la autocomprobación, los valores constantes y más.

Comandos específicos del dispositivo. Proporcionan acceso a funciones específicas de dispositivos de campo específicos, como la selección de variables primarias de inicio / parada / prueba, ajuste del enlace de activación del control PID y opciones especiales de calibración.

## **2.12. Definición de términos**

### **2.12.1. Protocolos de comunicación industrial**

El protocolo define el significado que tiene los datos que se envían entre transmisor y receptor, establecido en la semántica, las reglas y convenciones para la interpretación de la data. Los datos recibidos, como por ejemplo una trama de bits, deben ser interpretados para validar si cumple con lo establecido en el protocolo, es por ello que se considera como el idioma con el que ha sido escrito dicha trama de bits. (Muñoz, 2017, pp. 1-4)

### **2.12.2. Conexión Punto a Punto**

Rodríguez (2011) a través de su informe final explica que, todas las redes punto a punto se aplican a un tipo específico de arquitectura de red donde cada canal de datos se usa para comunicar solo dos nodos. (2011, p. 12).

### **2.12.3. Conexión Multipunto o Multidrop**

Rodríguez (2011) a través de su informe final acentúa que, se trata de redes que utilizarán cada canal de datos para comunicarse con los distintos nodos. En una red multipunto, solo hay una línea de comunicación que comparten todos los dispositivos de la red. La información está disponible desde cualquier terminal en la red de flujo bidireccional. (2011, p. 13).

### **2.12.4. Multiplexores**

Rodríguez (2011) a través de su informe final acentúa que, un multiplexor es un circuito combinacional con múltiples entradas y una salida de datos. Proporcionan

una entrada de control para seleccionar una de las entradas de datos y permiten su transferencia desde la entrada seleccionada a la salida. (2011, p. 14).

#### **2.12.5. Trama**

La capa de enlace es una capacidad de área amplia a través de la cual los sistemas pueden comunicarse utilizando protocolos de capa de enlace de datos. (Rodríguez P., 2011, p. 15).

#### **2.12.6. Comando**

Provoca una respuesta con un mensaje definido por el usuario del comando para enviar al sistema. Un comando es en realidad un mando que tiene dentro de sus funciones el de indicar al dispositivo informático qué hacer o como ejecutar, en correspondencia al comando que se envíe. (Rodríguez P., 2011, p. 16).

#### **2.12.7. FSK**

Esta forma de modulación, la portadora sinusoidal toma dos valores de frecuencia, determinados directamente por la señal de datos binaria. Según (Alcala & Ortiz, 2012, pp. 3-4) , el modulador puede realizarse en varios modos, entre los más difundidos se tiene:

- Oscilador controlado por tensión (VCO)
- Un sistema que transmite una de las dos frecuencias, en función de la señal de datos
- Un divisor gobernado por la señal de datos.

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

La investigación es de tipo aplicada, considerando que se tomó en cuenta los planteamientos teóricos como la base para desarrollar la investigación, corroborando dichas formulaciones y a su vez generando nuevos aportes.

Por otro lado, el diseño del estudio es experimental y se ejecuta en momentos de la simulación del sistema de control, ya que se enfoca en el análisis del problema específico que se está tratando de resolver, manipulando las variables de estudio.

Se detalla el proceso de simulación para el para el control PID de nivel y temperatura, diseñando y haciendo la lógica de programación utilizando softwares de ingeniería como los son TIA Portal y Factory IO.

Utilizando la figura de control como referencia, en el proceso de diseño de programación, es posible recuperar datos, identificar la variable y sus parámetros de control, comprender el comportamiento del proceso ante fluctuaciones en los parámetros PID y conocer los últimos controles. dispositivos.

### 3.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación es descriptivo correlacional, dado que se evaluará que tanto el control de nivel, temperatura y la obtención de los parámetros PID, pueden relacionarse e influir sobre las técnicas de aprendizaje y las prácticas de programación del sistema en el laboratorio de control de la Universidad Privada de Tacna. En tal sentido, la variable independiente, puede o no generar variabilidad sobre la variable dependiente, lo cual será medido en el presente estudio.

### **3.3. Unidad de Estudio, población y/o muestra de estudio**

#### **3.3.1. Unidad de Estudio**

La unidad de estudio comprende el laboratorio de Control y Automatización de la carrera de Ingeniería Electrónica, de la Facultad de Ingeniería, Universidad Privada de Tacna. Se encuentra ubicado en el Campus Capanique 3, Pabellón de la Facultad de Ingeniería tercer piso, en ambientes asignados a la carrera de Ingeniería Electrónica.

#### **3.3.2. Población**

Comprende los módulos de automatización que se encuentran instalados en el laboratorio de Control y Automatización de la carrera de ingeniería electrónica.

#### **3.3.3. Muestra**

Comprende el módulo de planta de tanques, que se compone por un total de 01 planta de tanque, 02 bombas alimentadoras, 02 electroválvulas, 01 tablero principal de control y la lógica de programación que formarán el proceso del control de nivel PID y temperatura.

### **3.4. Operacionalización de variables**

Se toma como variable independiente, el modelo o estudio de la implementación de un sistema con periferia descentralizada HART y como variable dependiente, la parte medible que es control de nivel y temperatura.

Para mayor comprensión de las variables y su relación con los objetivos e hipótesis, revisar anexo 1.

Identificación de la variable independiente

- Variable independiente: Sistema con periferia descentralizada HART.

Dimensión 1: Parámetros de sistema: Indicadores, Bytes utilizados por la aplicación, Nivel de la señal de entrada analógica, Número de señales analógicas

Identificación de la variable dependiente

- Variable dependiente: Control de nivel y temperatura

Dimensión 1: Parámetros de control: Indicadores, Nivel de señal eléctrica analógica, Temporización del arranque de la bomba, Nivel del líquido.

Rango de temperatura. Tal y como se observa en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Operacionalización de variables*

Variable	Indicadores
Variable independiente: Sistema con periferia descentralizada HART.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bytes utilizados por la aplicación</li> <li>• Nivel de la señal de entrada analógica</li> <li>• Número de señales analógicas</li> </ul>
Variable dependiente: Control de nivel y temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de señal eléctrica analógica</li> <li>• Temporización del arranque de la bomba</li> <li>• Nivel del líquido</li> <li>• Rango de temperatura</li> </ul>

*Nota.* De la tabla 1 se denota en distintas columnas las variables e indicadores con sus niveles inferiores.

### 3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Técnicas de recolección de los datos.

Se emplearon las siguientes técnicas para la recolección de datos:

Técnica de análisis documental, el cual hace uso de los documentos confiables ya existentes y de fuentes similares de información como las fuentes de datos.

Técnica de observación experimental, el cual se efectuó mediante la simulación del sistema de control PID basado en Protocolo de Comunicación Industrial HART, analizando el comportamiento del sistema cuando se manipula las variables de control como son el nivel y la temperatura. La simulación permitió verificar los parámetros del control PID, de nivel y de temperatura de la planta de tanque.

Instrumentos para la recolección de los datos.

Se utilizaron como fuentes secundarias:

Libros especializados sobre los sistemas de control, las técnicas de control, el modelamiento matemático de los sistemas de control, los principios de funcionamiento de actuadores, los controladores lógicos programables (PLC).

Catálogos sobre especificaciones técnicas de sensores industriales, actuadores, equipos de control, pantallas HMI.

bibliotecas virtuales de artículos especializados referidos a la investigación;

Direcciones web de control PID, control de nivel de tanques, sistemas de control basados en el protocolo de comunicación industrial HART, plataformas de lógica de programación, actuadores y sensores industriales de control de nivel y de temperatura.

Software de simulación de procesos industriales TIA PORTAL, software de supervisión y visualización gráfica Factory IO.

### **3.6. Procesamiento, presentación, análisis e interpretación de los datos**

El procesamiento de datos de la investigación, consistió en la secuencia de actividades planificadas mediante el cual los datos individuales se agrupan y estructuran con el propósito de responder al problema de Investigación, a los objetivos planteados y a las hipótesis por comprobar.

Una vez analizado los resultados de la simulación del sistema de control PID, se explicó los efectos que producen dichos resultados como consecuencia del planteamiento efectuado, luego se realizó la interpretación de los resultados obtenidos.

Las hipótesis planteadas fueron comprobadas con los resultados obtenidos por cada estación automática evaluada en la zona de estudio. Por ser una investigación aplicada, no se requirió la contrastación de las hipótesis por el método estadístico.

Finalmente se presentarán las conclusiones y recomendaciones producto de los resultados obtenidos en la investigación aplicada.

### **3.7. Diseño de la Simulación**

En el sistema de control del proceso de llenado de tanques se visualiza las variables del proceso y controlar en nivel de líquidos de la planta de tanques.

El sistema de supervisión y control, se ha dividido en 2 partes las cuales se detallan a continuación:

#### **3.7.1. Sistema de supervisión**

Se han utilizado herramientas para la correcta supervisión de nivel y la temperatura en el proceso de llenado de tanque de líquidos; el sistema debe ser capaz de mostrar los valores actuales de dichas variables mediante herramientas de visualización en tiempo real.

### **3.7.2. Sistema de Control**

Se han utilizado herramientas del programa (Intouch) para poder insertar los datos de setpoints de las distintas variables que intervienen en el proceso además de los pulsadores y botones que permiten una rápida acción.

La secuencia de arranque y parada del proceso se debe mostrar de manera simplificada y visualmente se debe observar cómo cambian los atributos de los dispositivos para indicar el estado de la secuencia de operación.

### **3.8. Software de programación utilizados en la simulación**

La simulación del proceso de control de nivel y temperatura de un tanque de líquidos, se efectuó mediante la lógica de programación en TIA PORTAL. Para ello, utilizamos el software Factory IO para poder visualizar el funcionamiento en ejecución de nuestro programa.

A través de Factory IO, nos permitirá realizar algunas conexiones para el proyecto y así mismo enlazar con TIA PORTAL, de esta manera vamos a poder visualizar nuestro código mediante una buena simulación.:

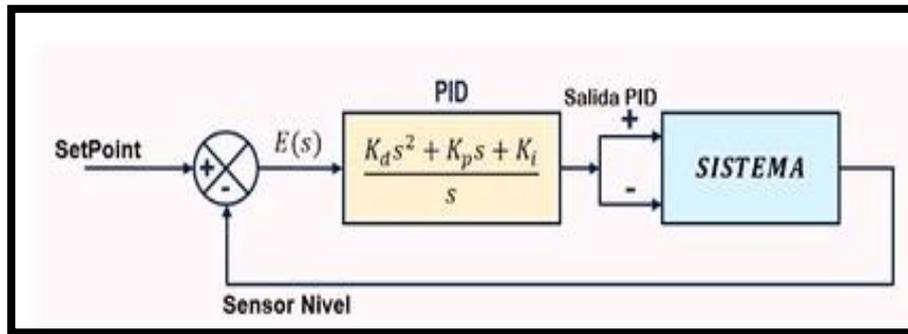
### **3.9. Implementación de la simulación**

#### **3.9.1. Control PID del tanque de líquidos**

La función de transferencia del control de PID del llenado del tanque que se ha desarrollado, es la que se observa en la figura 26.

**Figura 26**

*Función de transferencia del proyecto*

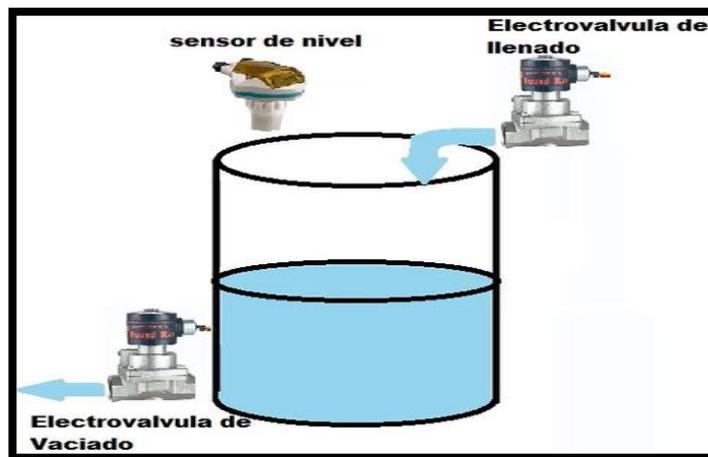


*Nota.* La Figura 26 representa el Proceso y las funciones de transferencia del proyecto.

La figura 27, muestra el diagrama esquemático del sistema de control PID del proyecto.

**Figura 27**

*Diagrama esquemático del sistema de control PID del proyecto*



*Nota.* La Figura 27 representa la simulación del proyecto con sus elementos.

Para simular el control del tanque mediante un control PID, se tienen en el sistema 02 electroválvulas, una de llenado y otra de vaciado. Así mismo irá instalado un sensor de nivel en la parte superior, el cual irá sensando constantemente la altura del nivel del líquido.

Bajo esa premisa, se instalará un potenciómetro, el cual cumplirá la función de nuestro setpoint.

Como ya ha sido mencionado anteriormente, se inicia con la entrada del setpoint, el cual será el nivel del líquido deseado. Así mismo, el sensor de nivel será el lazo de retroalimentación.

La diferencia de lectura del setpoint con el sensor de nivel, dará una señal de error que ingresará al control PID, este último dará una salida PID ya sea positiva o negativa dependiendo si el nivel del líquido está sobre el nivel de setpoint o sobre el nivel inferior. Posteriormente ingresa al sistema que está representado por nuestro tanque.

Tablero de control principal.

En este tablero de control principal, podemos observar en la parte superior, 01 botón START, 01 botón STOP, y un indicador de RUNNING o arranque del sistema.

En la parte central, cuenta con un potenciómetro el cual cumple la función de setpoint. A través de este, se podrá regular la altura del nivel del líquido deseado.

En el lateral izquierdo se tiene el primer display el cual marca la lectura del sensor de nivel.

En el lateral derecho se tiene segundo display el cual marca la lectura del valor que recibe del setpoint, en este caso, del primer potenciómetro.

En la parte inferior central, se tiene un segundo potenciómetro el cual simulará el nivel el nivel de temperatura en grados centígrados °C.

Por último, en la parte lateral derecha, se tiene un tercer display el cual marca la lectura del nivel de temperatura.

Tal y como se observa en la figura 28.

**Figura 28***Tablero principal de control*

*Nota.* La Figura 28 representa el Tablero principal de control junto a sus distintivos.

### 3.9.2. Implementación de módulo con sistema de periferia descentralizada HART

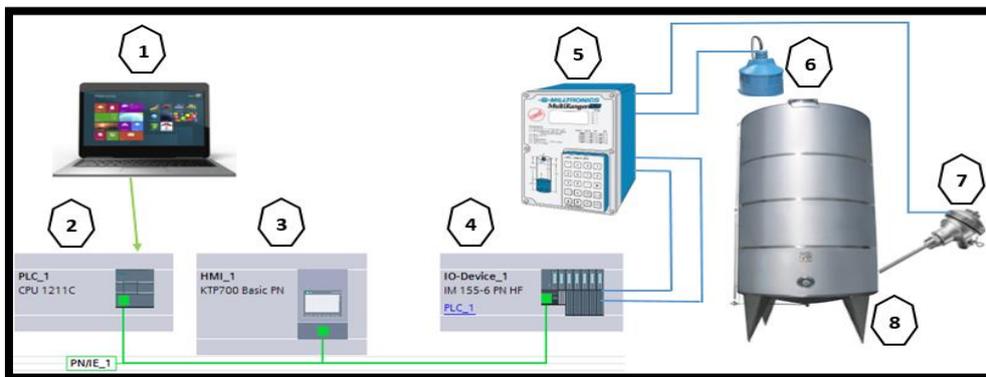
El módulo con sistema de periferia descentralizada fue simulado con el protocolo de red industrial HART. Está compuesto por los siguientes elementos:

1. Sistema de control.
2. PLC.
3. HMI - Basic Panel KTP700.
4. ET200SP I/O RACK.
5. Transmisor Milltronics MultiRanger Plus. Sistema Multifunción de Control.
6. Sensor de Nivel Tipo Ultrasónico echomax xps-10.
7. Sensor de temperatura PT100.
8. Tanque.

La figura 29 muestra el diagrama esquemático del módulo con sistema de periferia descentralizada HART a ser simulado.

**Figura 29**

*Diagrama esquemático del sistema de periferia descentralizada HART*



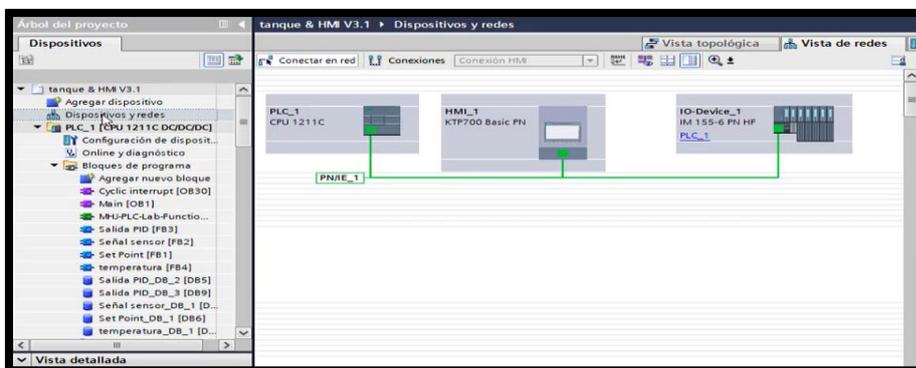
*Nota.* La Figura 29 representa la Implementación de módulo con sistema de periferia descentralizada HART del proyecto.

Para la implementación del módulo HART, realizamos los siguientes pasos:

En la simulación del proyecto escogimos el CPU 1211C DC/DC/DC. Tal y como se observa en la figura 30.

**Figura 30**

*Selección del CPU*



*Nota.* La Figura 30 representa el CPU 1211C DC/DC/DC que se escogió para proyecto, HMI KTP700 Basic Panel y el Módulo ET200SP.

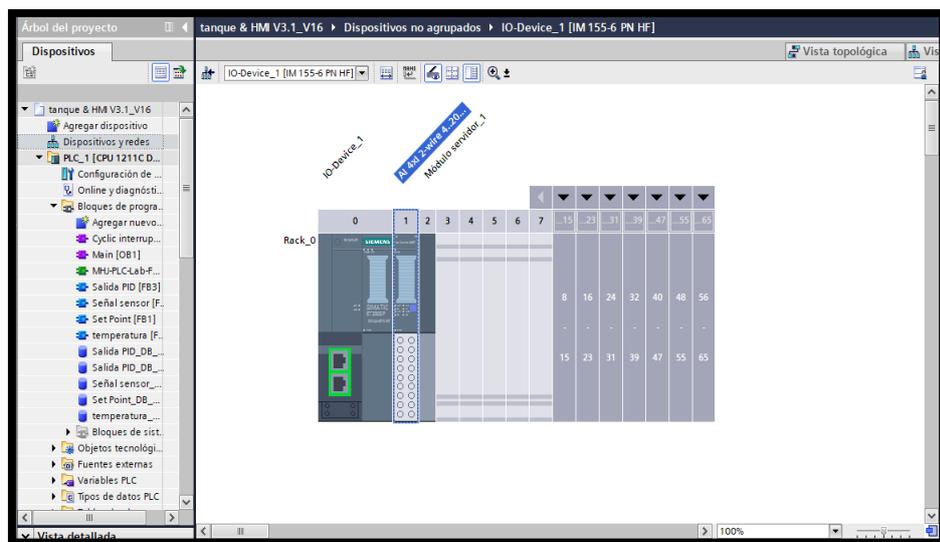
En la ventana de catálogos, desplegamos, seleccionamos y arrastramos HMI KTP700 Basic PN. En la misma ventana desplegamos Distribución I/O, seleccionamos ET200SP, escogemos módulos de interface, seleccionamos Profinet, escogemos IM 155-6 PN HF, seleccionamos el dispositivo 6ES7 155-6AU00-0CN0 y lo arrastramos al proyecto y procedemos a conectar el PLC, HMI y el ET200SP con la Interfaz.

Se toma la entrada del PLC, HMI y el ET200SP y se conecta con la interfaz. Una vez aceptada la conexión, verificamos la dirección ethernet de cada uno de los dispositivos.

Luego se ingresa al módulo HART Tal y como se observa en la figura 31.

**Figura 31**

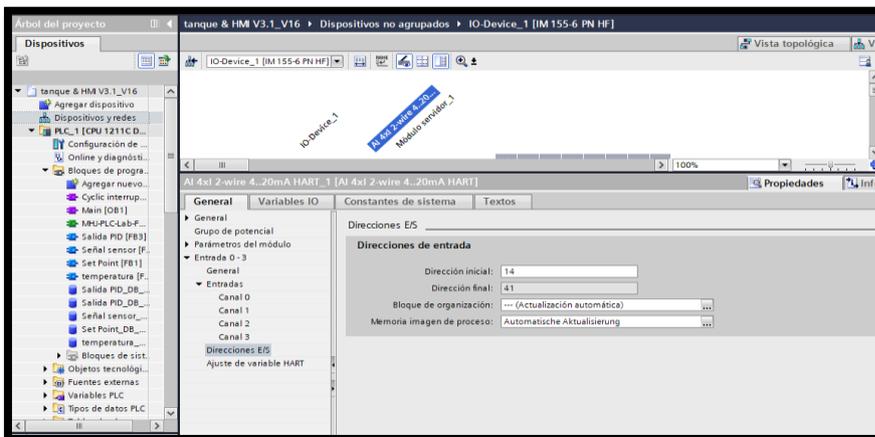
*Selección del módulo de entrada analógica*



*Nota.* La Figura 31 representa el módulo de entradas analógicas AI 4Xi 2wire 4...20mA HART.

Al ingresar al módulo, se pueden apreciar sus entradas analógicas de 4 a 20 mA. Desde el canal 0 hasta el canal 3. Tal y como se observa en la figura 32. Y 33.

**Figura 32**  
Configuración inicial de AI HART

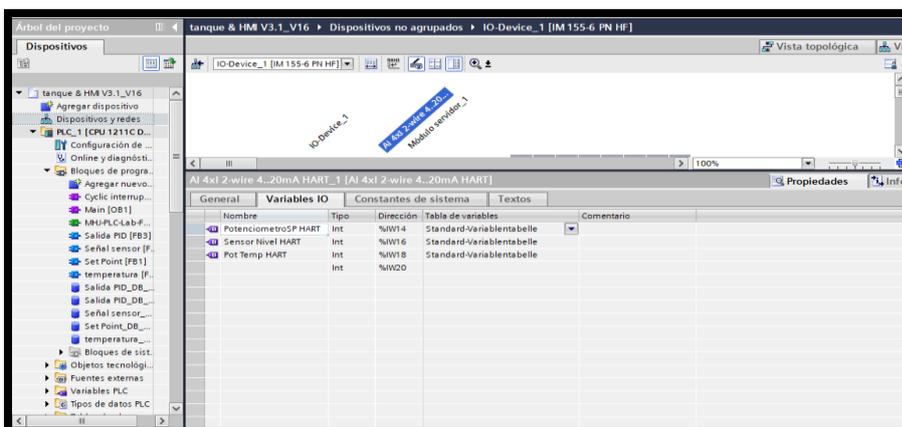


*Nota.* La Figura 32 representa la configuración inicial de AI HART.

Se ha iniciado desde la IW14 para poder realizar la simulación en FACTORY I/O ya que de lo contrario surgiría algún tipo de conflicto si cogiéramos las primeras direcciones.

En el FACTORY I/O también se tiene la configuración de iniciar desde la entrada 14 y 6 en adelante, es decir, 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

**Figura 33**  
Creación de variable en el módulo HART



*Nota.* La Figura 33 representa la creación de variables en el módulo HART.

Posteriormente se crean las variables. El módulo permite tener 4 entradas analógicas, por lo que se procede a crear las variables.

El primero es el potenciómetro del SetPoint HART, de tipo entero con la dirección IW14.

El segundo es el Sensor de Nivel HART, de tipo entero con la dirección IW16.

El tercero es un Potenciómetro para regular la temperatura HART, de tipo entero con la dirección IW18.

Visualización de Variables. Tal y como se observa en la figura 34.

**Figura 34**

*Creación de variable del Proyecto*

Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comer...
1	Indicador	Standard-Variab...	Bool	%Q0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Tag_2	Standard-Variablen...	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Tag_3	Standard-Variablen...	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Start	Standard-Variablen...	Bool	%I10.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Stop	Standard-Variablen...	Bool	%I10.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Potencimetro	Standard-Variablen...	Int	%IW30		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	SP(mm)	Standard-Variablen...	Real	%MD10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	SP(%)	Standard-Variablen...	Real	%MD14		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	displaySetPoint	Standard-Variablen...	Int	%QW34		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Sensor Nivel	Standard-Variablen...	Int	%IW32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	PV (mm)	Standard-Variablen...	Real	%MD18		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	PV (%)	Standard-Variablen...	Real	%MD22		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	displayVariableProceso	Standard-Variablen...	Int	%QW36		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	VariableControlada	Standard-Variablen...	Real	%MD26		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	valvulaLlenado	Standard-Variablen...	Int	%QW30		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	valvulaDesague	Standard-Variablen...	Int	%QW32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Temp Pot	Standard-Variablen...	Temp Pot	%IW34		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Out1	Standard-Variablen...	Real	%MD30		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Temp °C	Standard-Variablen...	Int	%QW38		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	StartHMI	Standard-Variablen...	Bool	%M50.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	StopHMI	Standard-Variablen...	Bool	%M50.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	PotencimetroSP HART	Standard-Variablen...	Int	%IW14		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	Sensor Nivel HART	Standard-Variablen...	Int	%IW16		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	Pot Temp HART	Standard-Variablen...	Int	%IW18		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	<Agregar>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

*Nota.* La Figura 34 representa la creación de variables del proyecto.

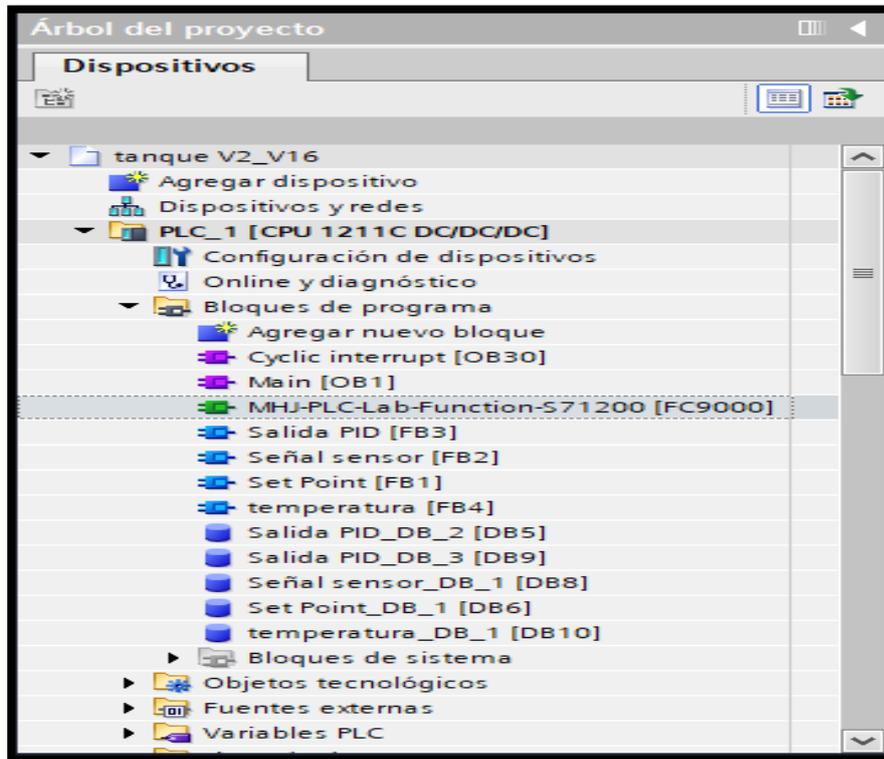
Las variables que se están utilizando en el módulo ET200SP HART, son las siguientes:

- Potenciómetro SP HART      %IW14
- Sensor Nivel HART          %IW16
- Pot Temp HART              %IW18

Visualización de bloques de programa. Tal y como se observa en la figura 35.

**Figura 35**

*Bloques de Programación*

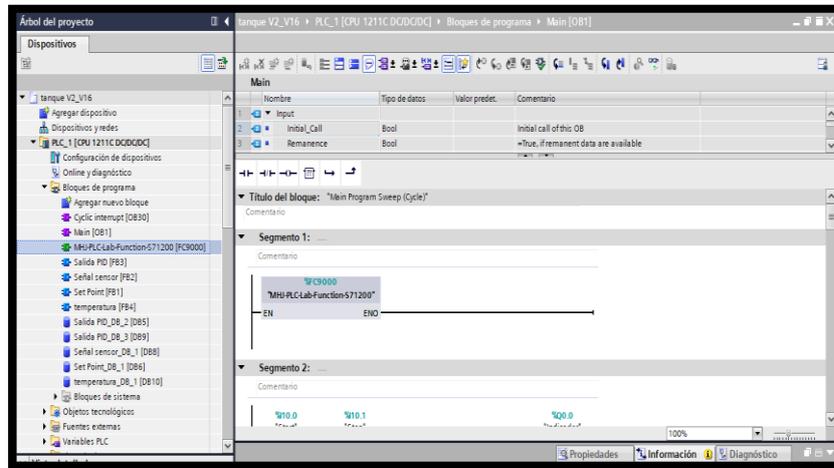


*Nota.* La Figura 35 representa la secuencia de bloques de programación.

Y realizamos la explicación del código de acuerdo a como está organizado nuestro bloque principal o MAIN.

Primeramente, para poder establecer comunicación de TIA Portal con Factory IO sin un PLC S7-1200 físico, se requiere utilizar una plantilla configurada de acuerdo al PLC que vayamos a utilizar. Dicha plantilla se puede descargar de la página oficial de TIA Portal o Factory IO, desde la versión 13 hasta la versión actual.

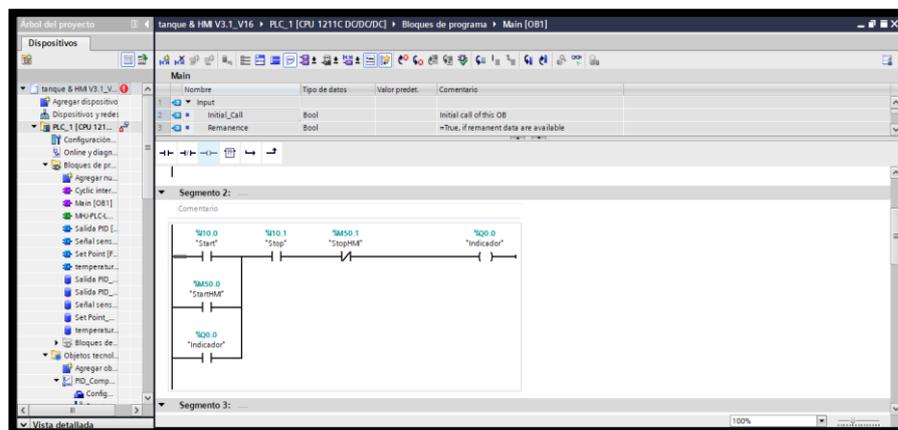
Visualización de plantilla de comunicación. Tal y como se observa en la figura 36

**Figura 36***Plantilla para comunicación*

*Nota.* La Figura 36 representa la plantilla para comunicación.

Esta plantilla debe ser llamada al bloque principal como primer segmento antes de iniciar la lógica de programación.

En el segmento 2, iniciamos con el clásico sistema de START / STOP, el cual dará inicio o parada a nuestro control PID con una variable indicador para el START con su respectivo enclavamiento. Tal y como se observa en la figura 37.

**Figura 37***Sistema start/stop. Inicio y parada del proceso desde el HMI y/o FACTORI I/O*

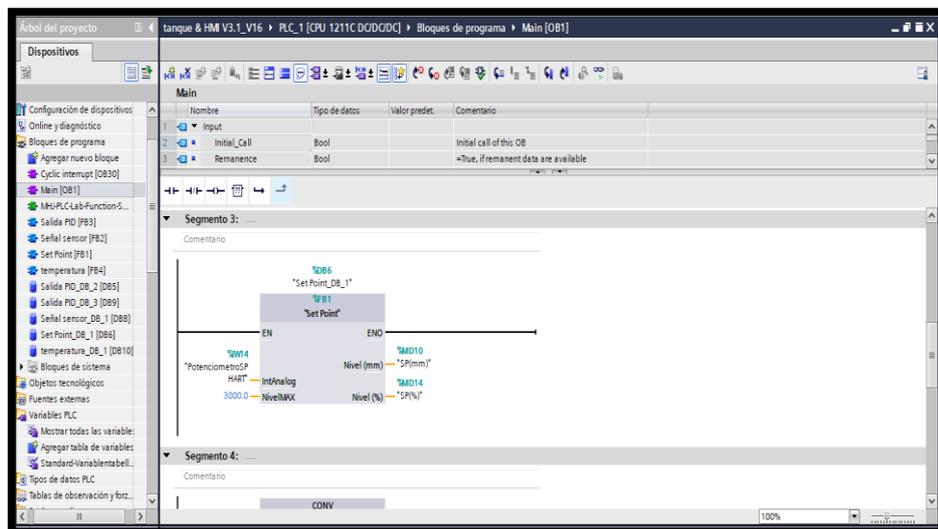
*Nota.* La Figura 37 representa el Sistema start/stop.

En el segmento 3 con el bloque de setpoint, consta de 02 entradas. La primera es nuestra entrada analógica del potenciómetro, esta entrada será ajustada por el usuario de acuerdo al nivel que se desea que esté el nivel del líquido. Así mismo, se establece como segunda entrada el nivel máximo, 3000 mm. Debido a que en Factory IO nuestro tanque tiene como nivel máximo 300 cm.

Posteriormente vamos a tener 02 salidas, la primera dará como resultado el nivel en milímetros y la segunda salida dará como resultado un valor porcentual para poder trabajar con PID. Tal y como se observa en la figura 38.

**Figura 38**

*Bloque setpoint*



*Nota.* La Figura 38 representa la secuencia del bloque setpoint.

Al ingresar al bloque de SetPoint, podemos observar una estructura en la contiene lo siguiente.

Una entrada que se va almacenar en una variable creada #IntAnalog. El siguiente paso es normalizar. Se normaliza la entrada analógica que va ser entregada por el potenciómetro, con un valor mínimo de 5530 a máximo de 27648, ya que estos son los valores analógicos que nos pueden entregar de acuerdo a la hoja de datos del PLC. Seguidamente la salida será almacenada en una variable creada auxiliar #Aux del valor normalizado en la entrada. (Ver imagen 39).

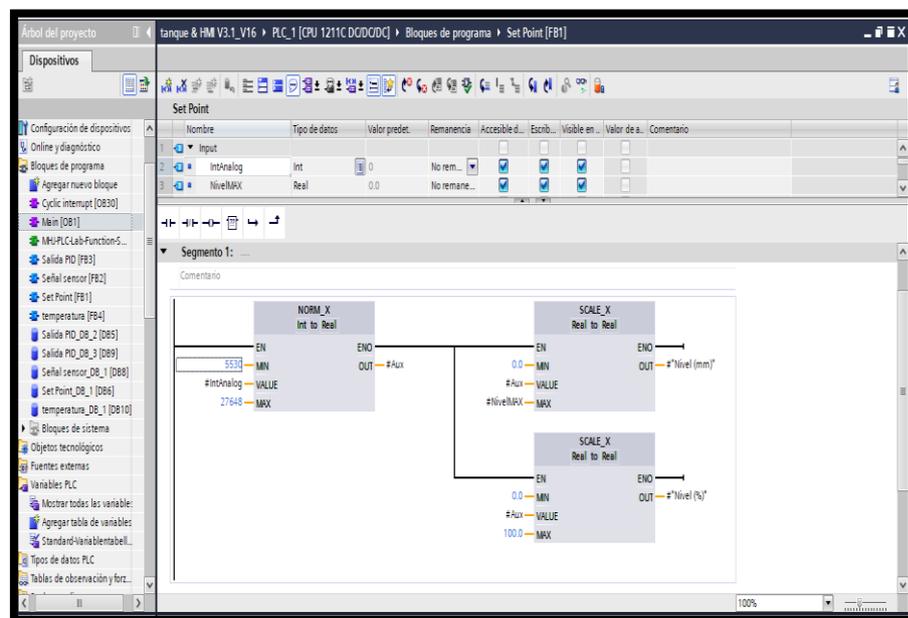
Posteriormente se realiza un escalamiento en milímetros y otro en nivel porcentual.

Entonces, nuestra salida que está almacenada en la variable auxiliar #Aux, se la escala desde el valor 0 hasta un nivel máximo #Nivel MAX que se traduce de lo anteriormente explicado, los 3000 mm del tanque. En la salida #”Nivel (mm)” vamos a tener una lectura en milímetros.

Para tener una lectura a nivel porcentual para nuestra variable auxiliar #Aux, lo que se hace es establecer desde un valor mínimo de 0% hasta un valor máximo 100%. Tal y como se observa en la figura 42.

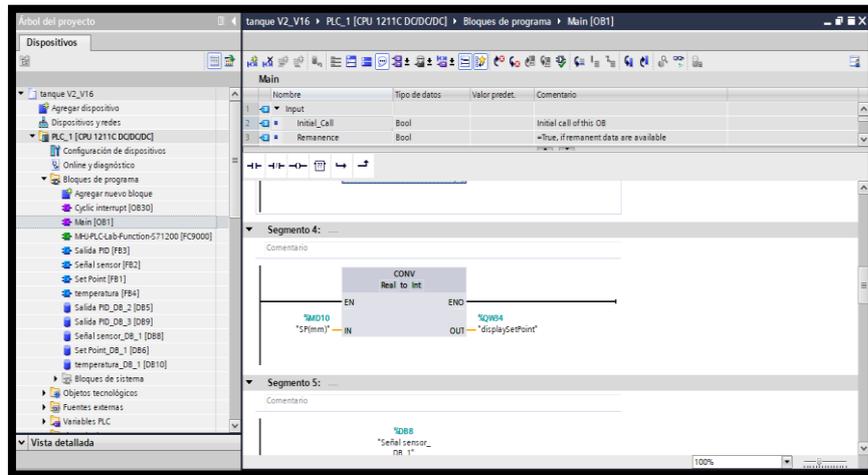
**Figura 42**

*Bloque de normalización y escalamiento*



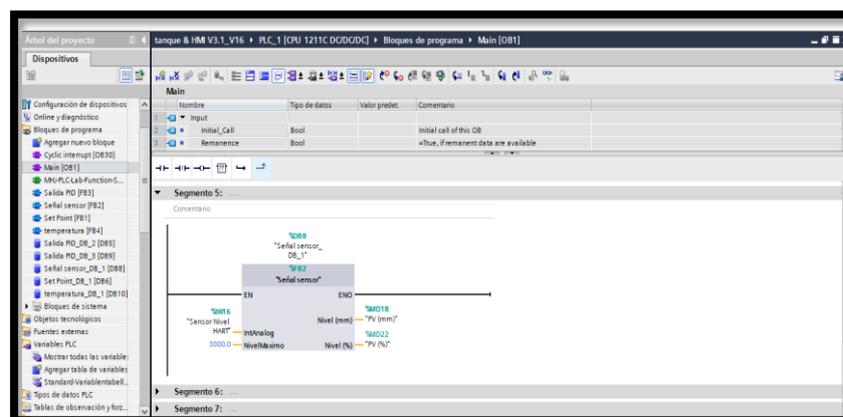
*Nota.* La Figura 42 representa la secuencia del bloque de normalización y escalamiento.

En el segmento 4, para nuestra entrada se hace una conversión de valor real a entero, para poder visualizarla en nuestra salida que será un display. Tal y como se observa en la figura 40.

**Figura 40***Bloque de conversión real a entero*

*Nota.* La Figura 40 representa la secuencia del bloque de conversión real a entero.

En el segmento 5 se realiza una lógica muy similar a la del setpoint. Se tiene una entrada analógica que lleva por nombre “Sensor Nivel” la cual estará sensando constantemente e ingresando sus valores. A este sensor se le establece su nivel máximo de 3000 mm. Como salida se tendrá la variable de proceso. Tal y como se observa en la figura 41.

**Figura 41***Bloque de señal del sensor*

*Nota.* La Figura 41 representa la secuencia del bloque de señal del sensor.

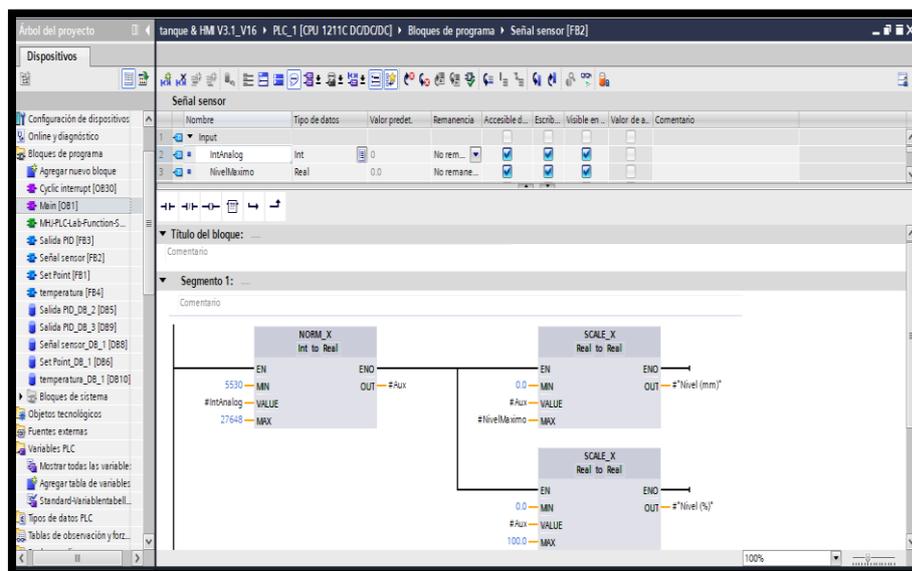
Al ingresar al bloque de “Sensor Nivel HART”, observaremos como es que está constituido de manera muy similar al bloque anterior (SetPoint).

Entonces, establecemos una variable de entrada #IntAnalog en la que se va almacenar el valor que está ingresando el sensor, luego se va a normalizar con un valor mínimo de 0 a máximo de 27648, ya que estos son los valores analógicos que nos pueden entregar de acuerdo a la hoja de datos del PLC. Seguidamente la salida será asignada a una variable auxiliar #Aux.

Posteriormente se realiza un escalamiento en milímetros y otro en nivel porcentual. Tal y como se observa en la figura 42.

**Figura 42**

*Bloque de normalización y escalamiento*

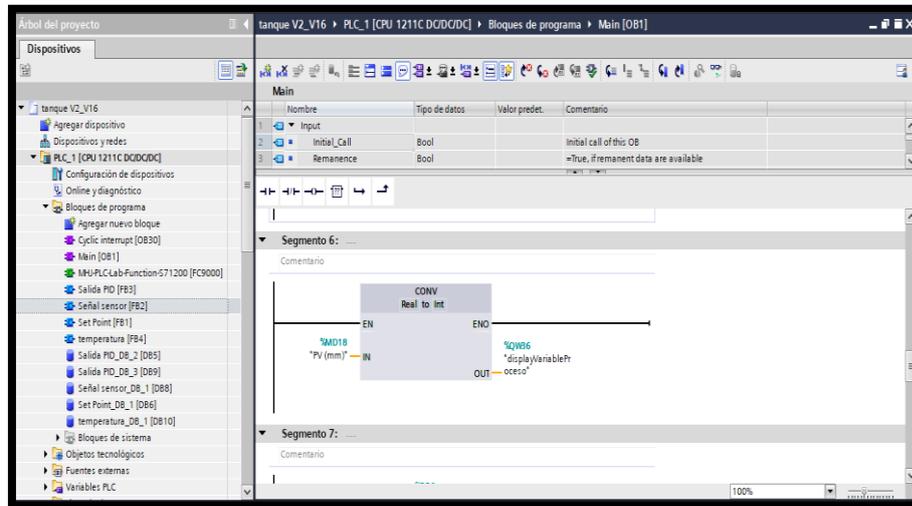


*Nota.* La Figura 42 representa la secuencia del bloque de normalización y escalamiento.

En el segmento 6 se realiza una conversión de real a entero, para poder visualizar la salida en milímetros, en un display. Tal y como se observa en la figura 43.

**Figura 43**

*Bloque de conversión real a entero*

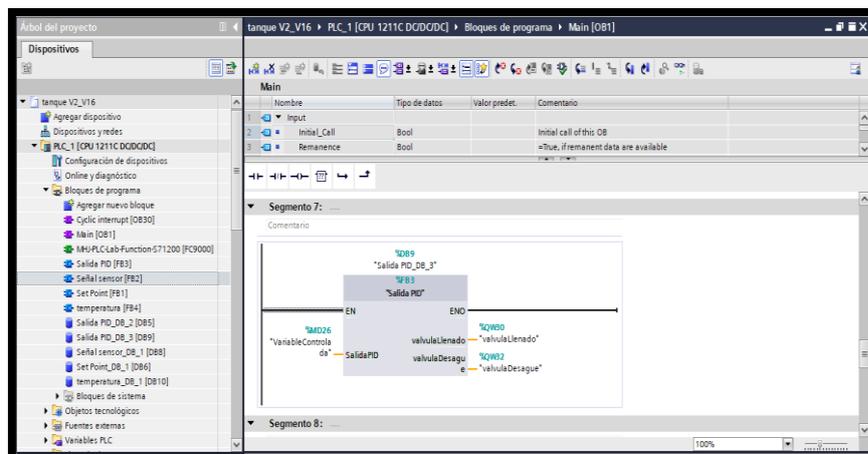


*Nota.* La Figura 43 representa la secuencia del bloque de conversión real a entero.

En el segmento 7 tenemos el bloque Salida PID, en donde se tiene como entrada, la “Variable Controlada”. como salidas se tendrán “válvulaLlenado” y “válvulaDesague”. Tal y como se observa en la figura 44.

**Figura 44**

*Bloque de salida PID*

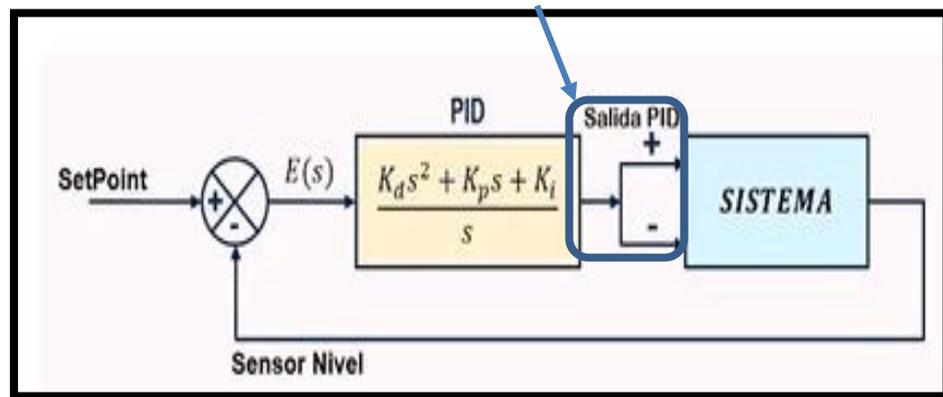


*Nota.* La Figura 44 representa la secuencia del bloque de salida PID.

Al ingresar al bloque Salida PID, en la primera línea se puede apreciar que se tiene como entrada, la #SalidaPID. Tal y como se observa en la figura 45.

**Figura 45**

*Salida PID*



*Nota.* La Figura 45 representa el proceso de salida PID.

Esta salida entregará ya sea un número positivo o negativo el cual va ingresar a nuestro sistema. Y como se desea trabajar con números positivos, lo que se realiza es sacarle su valor absoluto. Es por ello que utilizamos el bloque ABS y almacenamos la salida en una variable auxiliar #SalidaPID\_Aux.

En la siguiente línea, lo que realizamos es normalizar. Como se trabaja en valor porcentual, establecemos el valor mínimo 0 y valor máximo 100. Almacenamos el valor que entrega, en la salida, variable que tiene por nombre #Aux.

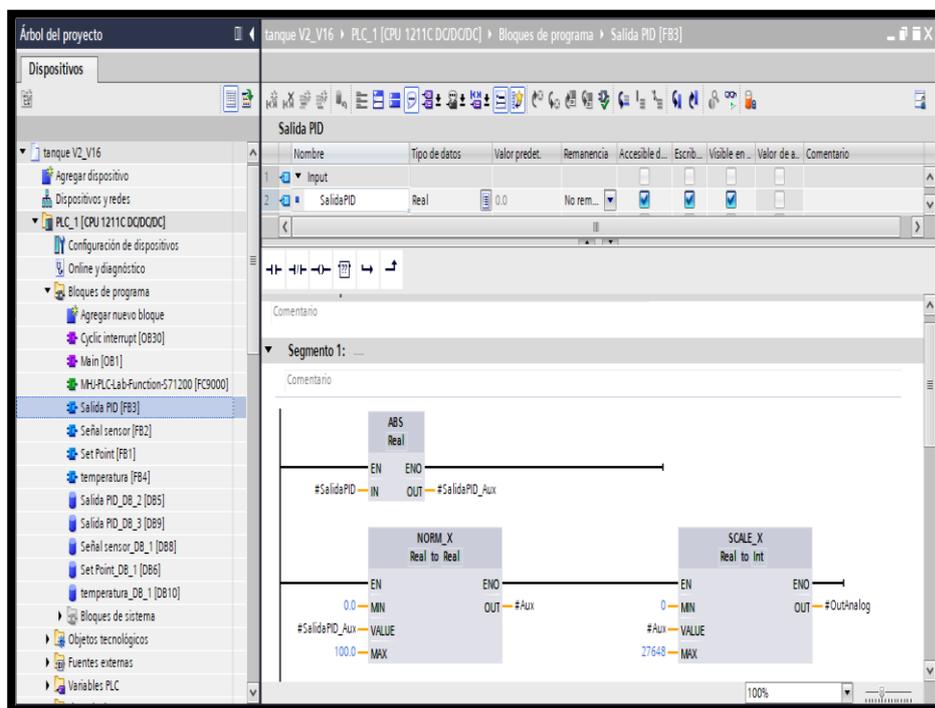
Así mismo, escalamos la salida #Aux con un valor mínimo de 0 a máximo de 27648.

Está inverso a los casos anteriores debido a que el bloque de escalamiento será una salida que es entregada por el PLC. Entonces una salida analógica mínima del PLC es 0 y una salida máxima del PLC es 27648. Por este motivo, si pusiéramos como valores 0 y 100, no va ser el valor máximo que nos puede entregar una salida analógica.

Una vez que se escala el valor, lo almacenamos como salida en la variable #OutAnalog. Tal y como se observa en la figura 46.

Figura 46

*Bloque de normalización y escalamiento*



*Nota.* La Figura 46 representa la secuencia del bloque de normalización y escalamiento.

Seguidamente, como se tienen 02 válvulas, establecemos unas condiciones sobre en qué casos se va a activar la válvula de llenado o de descarga.

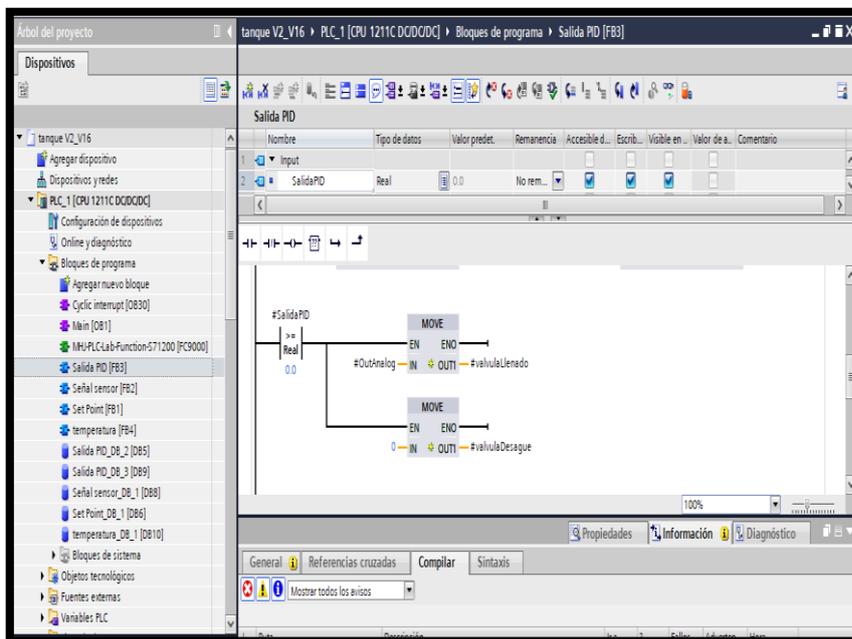
Para esto planteamos dos casos.

Si nuestra variable #SalidaPID es positiva, entonces nuestra entrada, variable #OutAnalog (la cual ha sido almacenada anteriormente), se le va asignar a la salida #válvulaLlenado.

Y a la #válvulaDesague, se le asigna un número mínimo 0, entonces indica que va estar cerrado. Tal y como se observa en la figura 47.

Figura 47

Bloque de condición con salida PID positiva

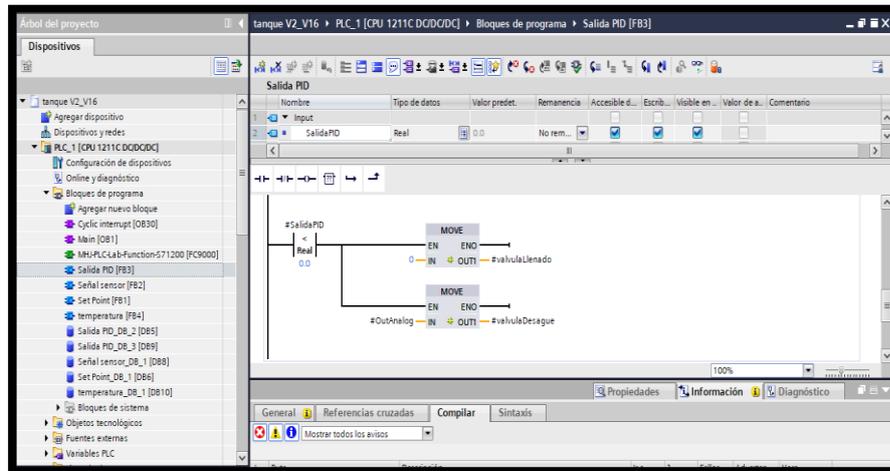


Nota. La Figura 47 representa la secuencia del bloque de condición.

De una manera similar, cuando nuestra variable `#SalidaPID` sea un número negativo, se le asigna un número mínimo 0, a la `#válvulaLlenado`. Lo cual indica que estará cerrada.

Debido a que dicho nivel está sobrepasando nuestro setpoint, tenemos que descargar nuestro tanque, es por ello que a nuestra variable `#OutAnalog` se le va asignar a nuestra `#válvulaDesague`. Tal y como se observa en la figura 51.

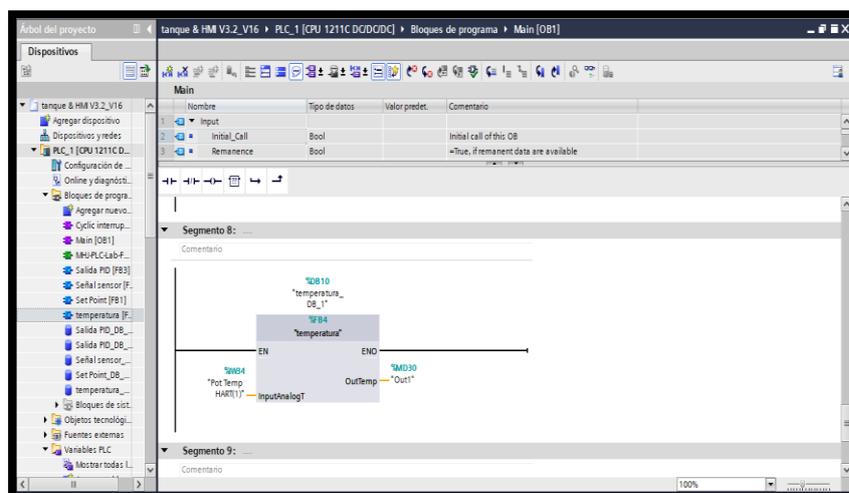
`#OutAnalog` irá variando según el setpoint, por lo que de la misma manera irá variando la apertura de la válvula desde 0 hasta 27648.

**Figura 48***Bloque de condición con salida PID negativa*

*Nota.* La Figura 48 representa la secuencia del bloque de condición.

En el segmento 8 tenemos el bloque de Temperatura, en el que se la ha asignado como entrada, la variable “Temp Pot” (a un potenciómetro), y posteriormente vamos a tener una salida de temperatura en grados centígrados.

Trabajamos la temperatura con un potenciómetro, debido a que, en Factory IO, no cuenta con un sensor de temperatura, es por esta razón que simulamos la temperatura con un potenciómetro. Tal y como se observa en la figura 49.

**Figura 49***Bloque de temperatura*

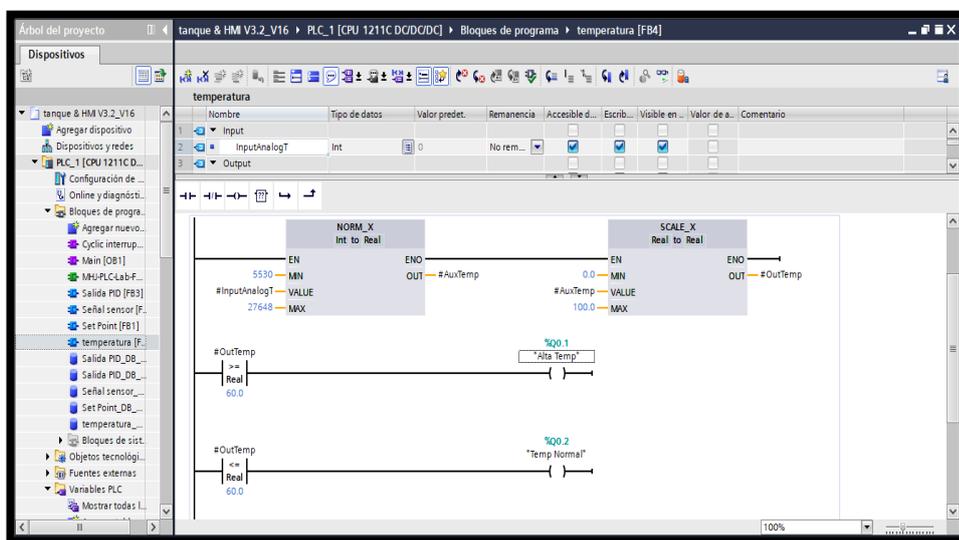
*Nota.* La Figura 49 representa la secuencia del bloque de temperatura.

Al ingresar al bloque de temperatura, se normaliza la entrada #InputAnalogT desde 0 hasta 27648, posteriormente se le asigna el valor de la entrada normalizada, a una variable auxiliar #AuxTemp, como salida.

Después de normalizar la variable #AuxTemp, se realiza un escalamiento de 0 a 100, considerando que ese rango dará como resultado en grados centígrados y después de escalar se va almacenar en la variable de salida #OutTemp. Tal y como se observa en la figura 50.

**Figura 50**

*Bloque de normalización y escalamiento*

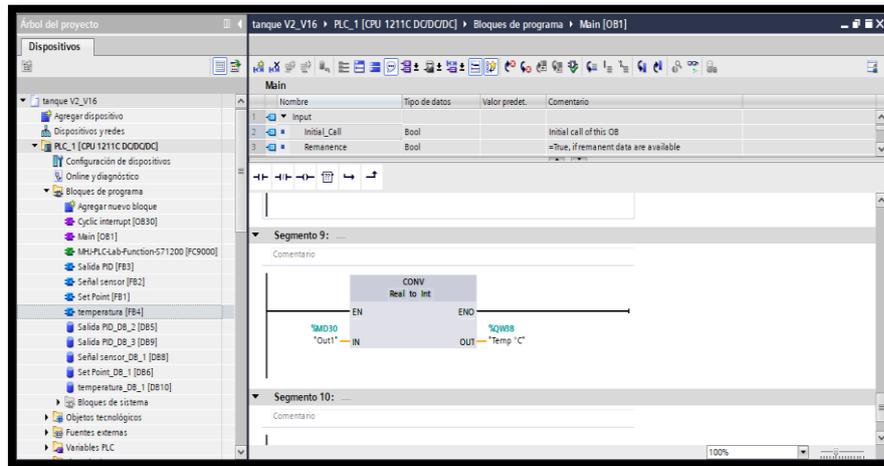


*Nota.* La Figura 50 representa la secuencia del bloque de normalización y escalamiento.

En esta oportunidad no se está trabajando con valores porcentuales debido a que no se le está asignando trabajar con PID al valor de temperatura, pues en un potenciómetro no existe mucha perturbación u oscilación, como si lo hay en el tanque.

A temperaturas menores de 60 °C tendremos un indicador de alarma verde de temperatura normal y a mayor de 60 °C un indicador de alarma roja de alta temperatura.

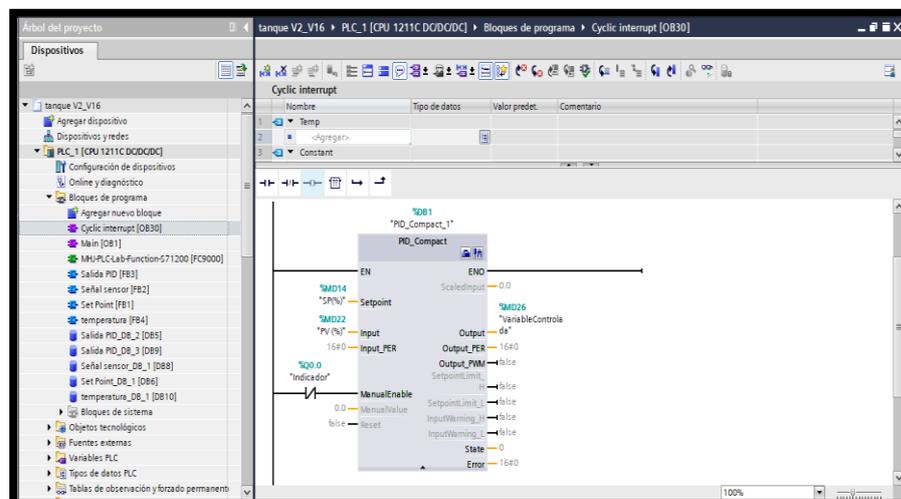
En el segmento 9 vamos a convertir el valor real a un valor entero para poder visualizar en nuestro display, el nivel de temperatura en grados centígrados. Tal y como se observa en la figura 51.

**Figura 51***Bloque de conversión real a entero*

*Nota.* La Figura 51 representa la secuencia del bloque de conversión real a entero.

En el bloque del controlador PID se le asigna 02 entradas las cuales serán Setpoint “SP (%)” y nuestra variable de proceso Input “PV (%)”.

Vamos a tener una señal de Enable el cual será nuestro “indicador” start/stop y como salida tendremos nuestra variable controlada. Tal y como se observa en la figura 52.

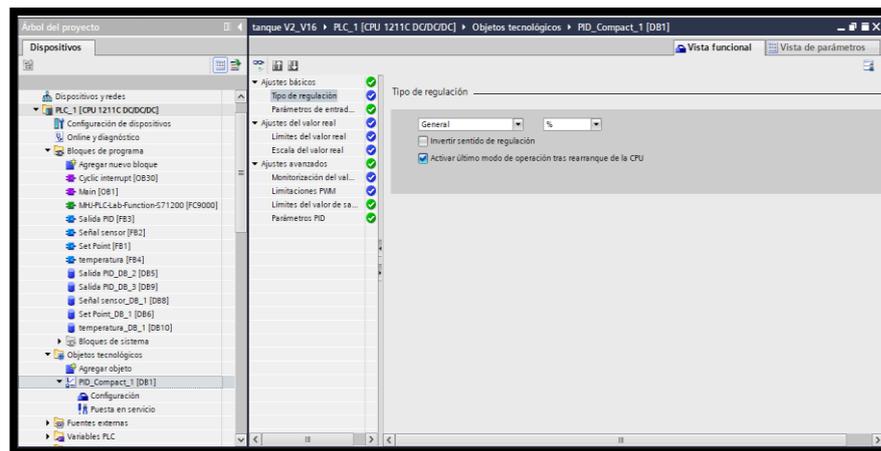
**Figura 52***Bloque de controlador PID*

*Nota.* La Figura 52 representa la secuencia del bloque de controlador PID.

Para poder establecer los parámetros, hacemos doble clic en la ventana de configuración. Donde el tipo de regulación debe ser general y porcentual. Tal y como se observa en la figura 53.

**Figura 53**

### *Tipo de Regulación*

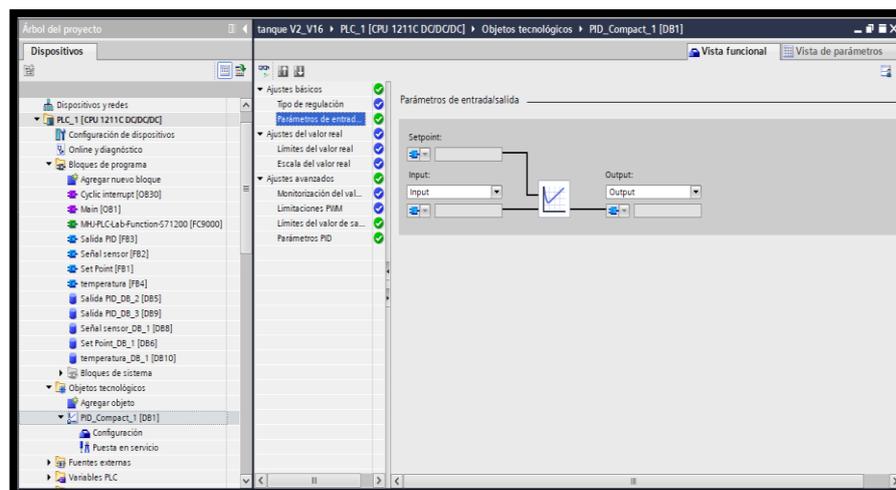


*Nota.* La Figura 53 representa el tipo de regulación.

En parámetros de entrada, colocamos input y output. Tal y como se observa en la figura 57.

**Figura 54**

### *Parámetros de entrada*

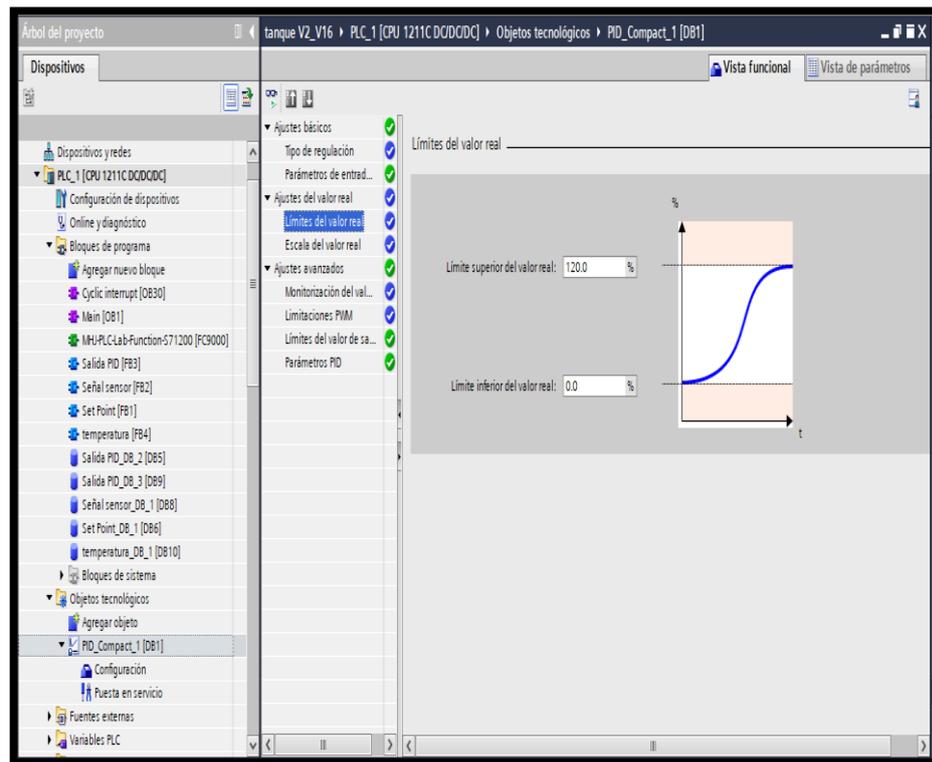


*Nota.* La Figura 54 representa los parámetros de entrada en determinados bloques.

En límites de valor real, lo dejamos por defecto. 0 y 120. Tal y como se observa en la figura 55.

**Figura 55**

*Límites de valor real*

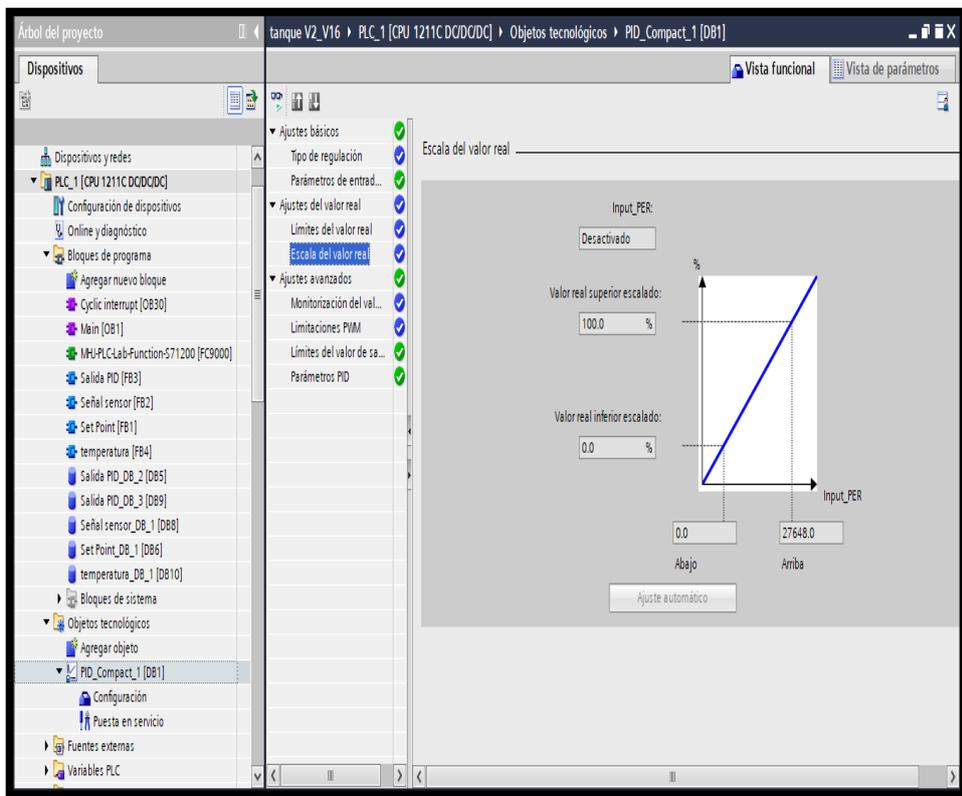


*Nota.* La Figura 55 representa las estadísticas de límites de valor real.

En escala de valor real, dejamos por defecto. 0 y 100. Valor con el que se va a trabajar abajo. Tal y como se observa en la figura 56.

**Figura 56**

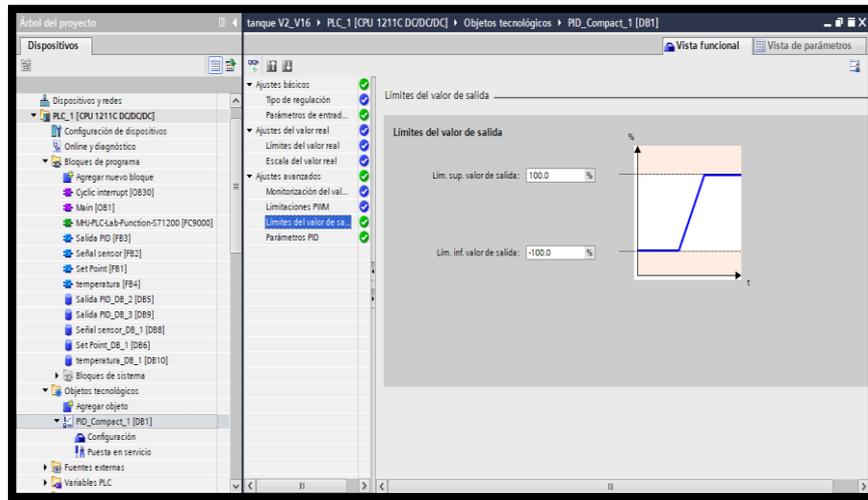
*Escala de valor real*



*Nota.* La Figura 56 representa la estadística de la escala de valor real.

En ajustes avanzados, tocamos límites del valor de salida como ya habíamos mencionado anteriormente que vamos a tener una salida positiva y negativa del PID, Establecemos de 100 a -100%. Tal y como se observa en la figura 57.

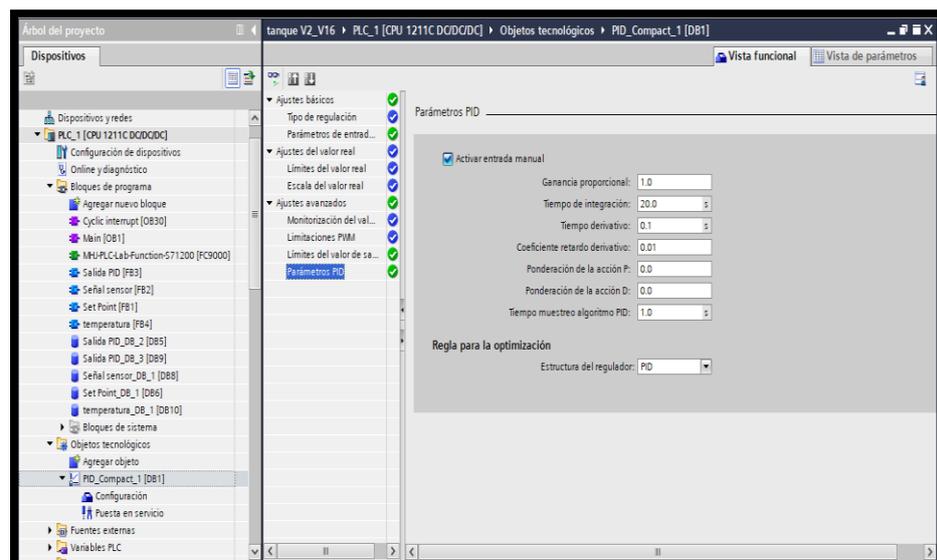
**Figura 57**  
*Ajustes avanzados*



*Nota.* La Figura 57 representa las variables de ajustes avanzados.

En parámetros PID, los valores con los que se está trabajando se muestran a continuación. Tal y como se observa en la figura 58.

**Figura 58**  
*Parámetros PID*

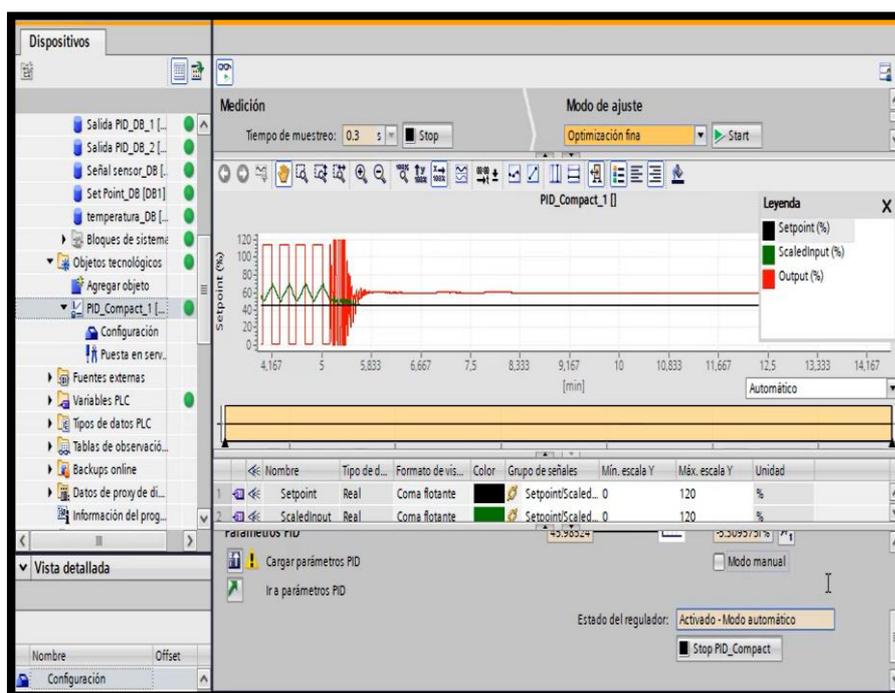


*Nota.* La Figura 58 establece aquellos Parámetros PID.

Estos valores se obtienen a partir de la regulación de la puesta en servicio. En modo de ajuste escogemos Optimización fina y presionamos donde dice Start. Luego de esta acción se empiezan a calcular los valores automáticamente. Tal y como se observa en la figura 59.

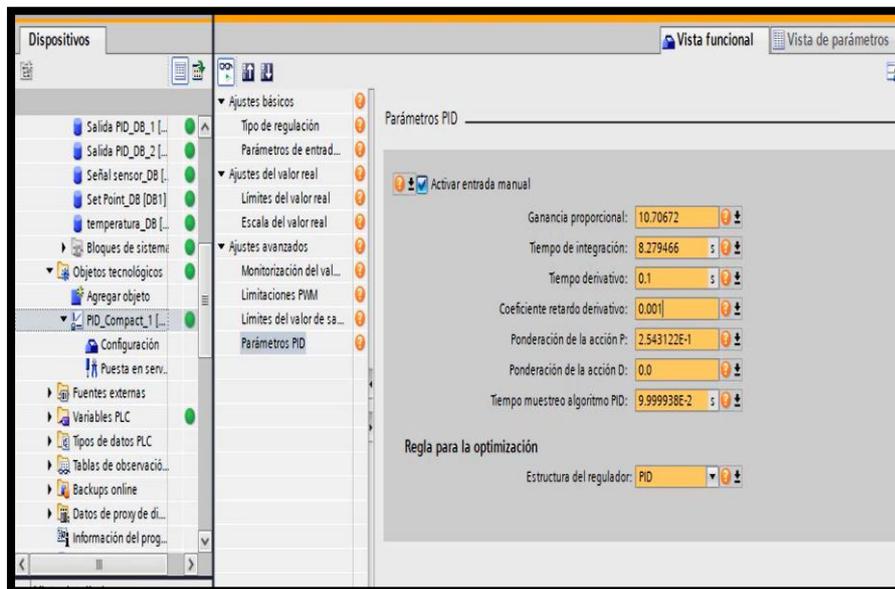
**Figura 59**

*Modo de ajuste*



*Nota.* La Figura 59 establece el modo de ajuste.

Seguidamente, nos dirigimos a parámetros PID, donde nos muestran los valores. Por lo general, en Tiempo Derivativo, nos muestran un valor mayor que 1, suele ser 2 o 1,7, por lo que tenemos que ajustarlo manualmente a 0,1 y el coeficiente retardo derivativo a 0,001. Con este ajuste manual, vamos a tener un control PID fino. Tal y como se observa en la figura 60.

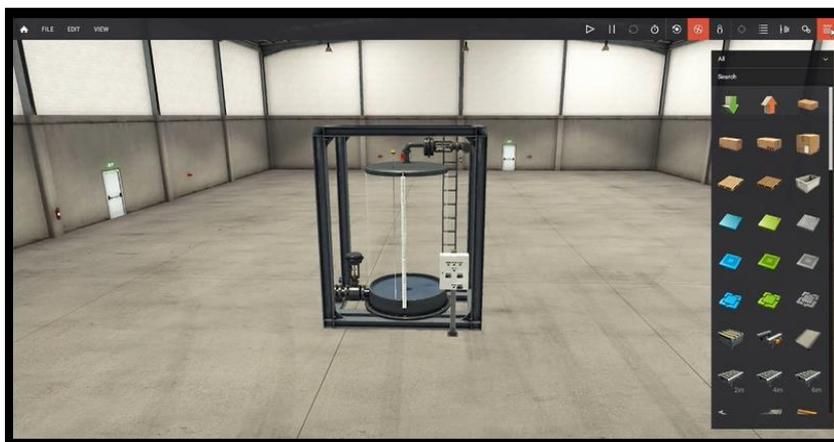
**Figura 60***Ajuste manual*

*Nota.* La Figura 60 establece el ajuste manual según las determinadas variables.

Compilamos y cargamos el programa, luego abrimos Factory IO y establecemos comunicación para poder iniciar la simulación.

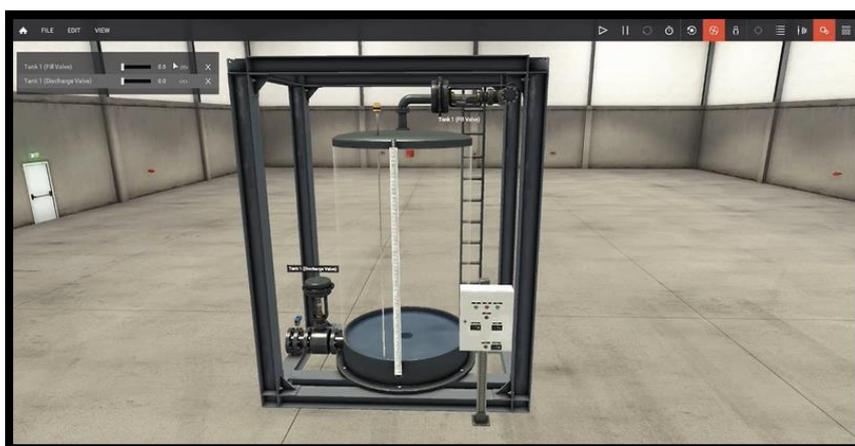
Factory IO nos permite visualizar en tiempo real y realizar ciertas conexiones para enlazar con TIA Portal. Esta es una manera profesional de poder visualizar nuestros códigos de programación.

En la parte superior derecha, encontramos una paleta donde se encuentran componentes, equipos e instrumentos con los que se pueden trabajar de acuerdo a la aplicación que realicemos. (Indicadores, potenciómetros, fajas, cajas, entre otros). Tal y como se observa en la figura 61.

**Figura 61***Paleta de accesorios*

*Nota.* La Figura 61 establece la Paleta de accesorios.

Una vez que tenemos el entorno de una nave con el diseño de nuestro tanque con un sensor, actuadores y tablero de control principal, si activamos los engranajes, aparecen las etiquetas de los actuadores (Válvula de descarga y de llenado). Al seleccionar la etiqueta, nos permite visualizar un pequeño tablero en la parte superior izquierda visualizando en la simulación y comportamiento de cómo va cambiando. Tal y como se observa en la figura 62.

**Figura 62***Activación de etiquetas de actuadores*

*Nota.* La Figura 62 establece la activación de etiquetas de actuadores.

En caso que no se desee simular, o tener una entrada que no sea enviada por el PLC, podemos forzar de forma manual. En la siguiente imagen se puede observar la señal forzada en forma manual de la apertura de la válvula de llenado. Tal y como se observa en la figura 63.

**Figura 63**

*Señal de actuador*



Nota: La Figura 63 establece la señal de actuador forzada.

En el caso del sensor, se activa Sensor tags para visualizar la etiqueta de nuestro sensor montado en la parte superior del tanque. Tal y como se observa en la figura 64.

**Figura 64**

*Activación de etiqueta del sensor*



Nota. La Figura 64 establece la Activación de etiqueta del sensor.

Si seleccionamos la etiqueta del sensor de nivel, de la misma forma, nos permite visualizar un pequeño tablero en la parte superior izquierda, la simulación y comportamiento de cómo va cambiando su valor. Esta entrega una señal analógica y en caso que no se desee simular, o tener una entrada que no sea enviada por el PLC, podemos forzar de forma manual. Tal y como se observa en la figura 65.

### Figura 65

*Señal de sensor forzada*

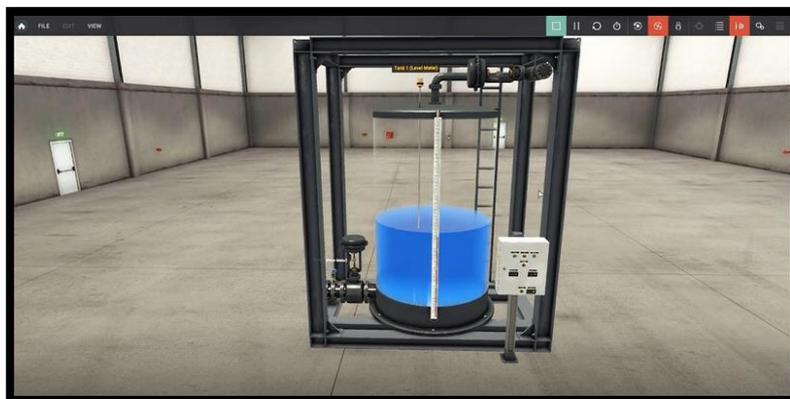


*Nota.* La Figura 65 representa aquella señal de sensor forzada.

Los siguientes 3 botones, permiten el movimiento de distintas perspectivas, hacia adelante, atrás izquierda y derecha. La siguiente opción permite el desplazamiento hacia adelante, atrás, izquierda y derecha y en altura. Tal y como se observa en la figura 66.

### Figura 66

*Movimiento de cámara*



*Nota.* La Figura 66 representa el movimiento de cámara.

Para realizar configuraciones en Factory IO, nos ubicamos en file, drivers y lo primero es seleccionar el PLC con el que vamos a trabajar. En nuestro caso seleccionamos PLC S7-1200 ya que en TIA Portal tenemos la plantilla establecida para poder establecer comunicación con dicho PLC sin tenerlo físicamente. Tal y como se observa en la figura 67.

**Figura 67**

*Configuración Factory IO*



*Nota.* La Figura 67 plasma la configuración Factory IO.

Una vez seleccionado el PLC, nos vamos a Configuración y seleccionamos nuevamente el PLC con el que vamos a trabajar, luego seleccionamos el tipo de datos WORD y I/O Points, en entradas booleanas, ya que se trata de una simulación iniciamos a partir de 10,0 en adelante, no se trabaja con la entrada desde el 0,0 o 0,1 debido a que esas ya están predefinidas en los PLC's físicos. Entonces, para evitar un conflicto de datos con las entradas, iniciamos con un bloque más adelante a partir de 10,0.

En el lado derecho Count, establecemos cuantas entradas queremos que nos aparezca en nuestro PLC, en este caso 5.

Para las salidas booleanas no hay ningún conflicto por lo que podemos iniciar en 0.0. y la derecha con cuantas salidas queremos trabajar, en este caso 5.

Para la entrada WORD, se habilita e inicia desde la entrada 14 y se tienen disponibles en cuenta, 6 en adelante, es decir, las entradas 15, 16, 17, 18, 19 y 20

En WORD I/O de acuerdo a cada criterio, se puede iniciar en 30, 40 u otro y a lado derecho se habilitan la cantidad de puertos que se van a trabaja, en este caso 4, 5. Tal y como se observa en la figura 68.

**Figura 68**

*Configuración de puertos*

The screenshot shows the 'CONFIGURACIÓN' screen. On the left, a sidebar lists various device models: Advantech USB 4704 & USB 4750, Allen-Bradley Logix5000, Allen-Bradley Micro800, Allen-Bradley MicroLogix, Allen-Bradley SLC 5/05, Automgen Server, Control I/O, MHJ, Modbus TCP/IP Client, Modbus TCP/IP Server, OPC Client DA/UA, Siemens LOGO!, Siemens S7-200/300/400, and Siemens S7-1200/1500. The main configuration area is titled 'Autómata' and includes an 'Autoconexión' checkbox, a 'Modelo' dropdown menu set to 'S7-1200', and an 'I/O Configuración' section with a 'Tipo de dato numérico' dropdown set to 'WORD'. Below this is the 'I/O Terminales' section, which contains a table for configuring inputs and outputs.

	Offset	Cuenta
Entradas Bool	10	5
Salidas Bool	0	5
Entradas WORD	14	6
Salidas WORD	30	5

At the bottom of the main configuration area, there is a button labeled 'POR DEFECTO'.

*Nota.* La Figura 68 plasma la configuración de puertos.

Una vez realizada la configuración, ya no aparece un bloque reducido para conectar solo los puertos que necesitamos. Si lo dejaríamos por defecto, tendríamos un bloque más grande, por ende, tedioso al momento de estar buscando las entradas, salidas, y en ocasiones puede causar error.

Posteriormente realizamos el conexionado de los sensores y actuadores con los que vayamos a trabajar. Seleccionamos la etiqueta y arrastramos hacia el bloque configurado en Factory IO para nuestras entradas y salidas.

Una vez terminado de asignar las entradas y salidas, damos clic en CONECT. Tal y como se observa en la figura 69.

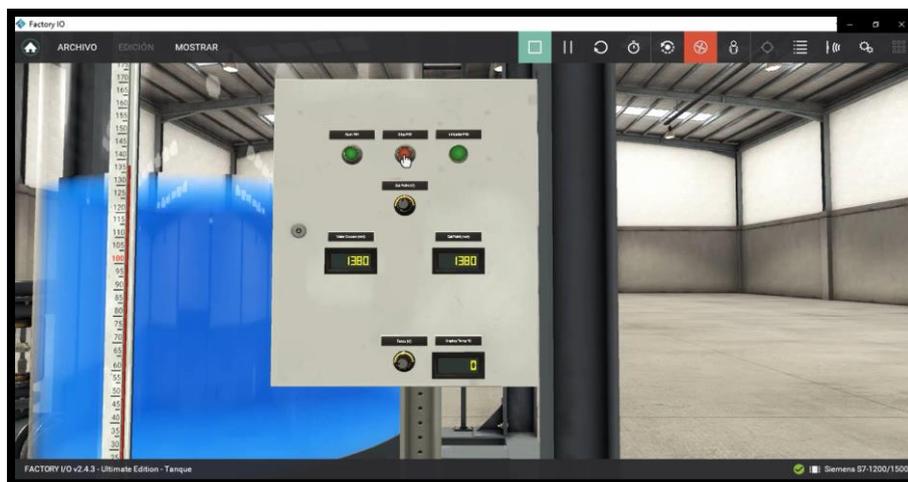
**Figura 69**  
*Conexión con TIA Portal*



*Nota.* La Figura 69 plasma la conexión que se tiene con el TIA PORTAL.

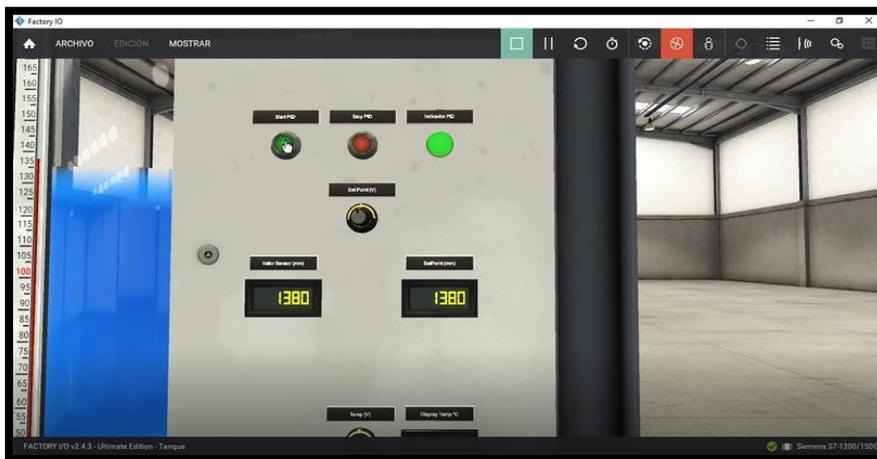
Una vez establecida la comunicación de TIA Portal con Factory IO, podemos apreciar el botón de Start y Stop e iniciamos. Tal y como se observa en la figura 70.

**Figura 70**  
*Botoneras start, stop del programa*



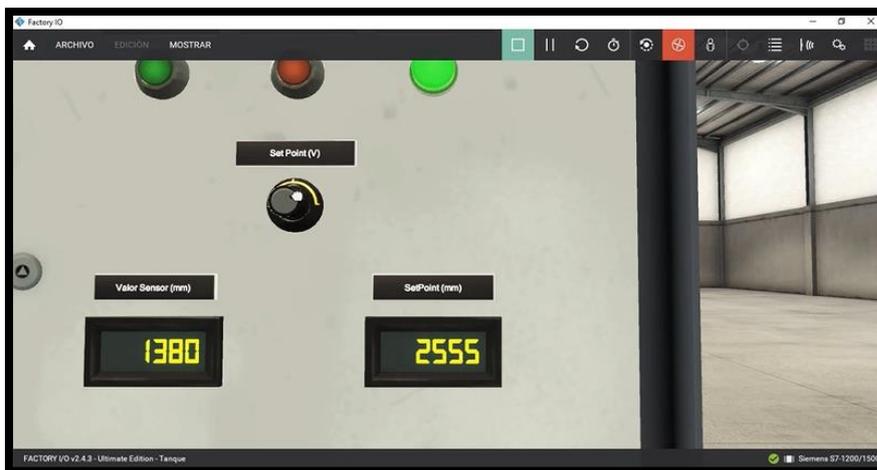
*Nota.* La Figura 70, representa las Botoneras start, stop del programa a emplear.

Presionamos Start y enciende nuestro Indicador PID el cual confirma la inicialización del sistema. Tal y como se observa en la figura 71.

**Figura 71***Inicio del programa*

*Nota.* La Figura 71 representa el Inicio del programa a emplear.

Tenemos el potenciómetro Setpoint, con el vamos a variar su valor y se puede visualizar en el Display Setpoint (mm). Tal y como se observa en la figura 72.

**Figura 72***Potenciómetro Setpoint*

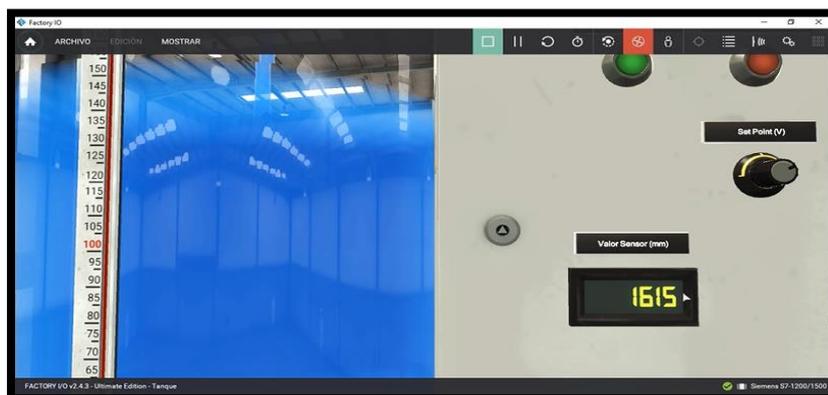
*Nota.* La Figura 72 representa el Potenciómetro Setpoint que se empleará.

Al variar el valor del Setpoint, automáticamente, el valor del sensor empieza a variar. Y el llenado del tanque se realiza de una manera fina, no es tan brusca.

Esto hace referencia a una buena regulación de la ganancia proporcional, integral y derivativa. Así mismo el trabajo que realiza Factory IO con la simulación, responde en tiempo real, siendo la mejor plataforma para visualizar el sistema. Tal y como se observa en la figura 73 y 74.

### Fuente 73

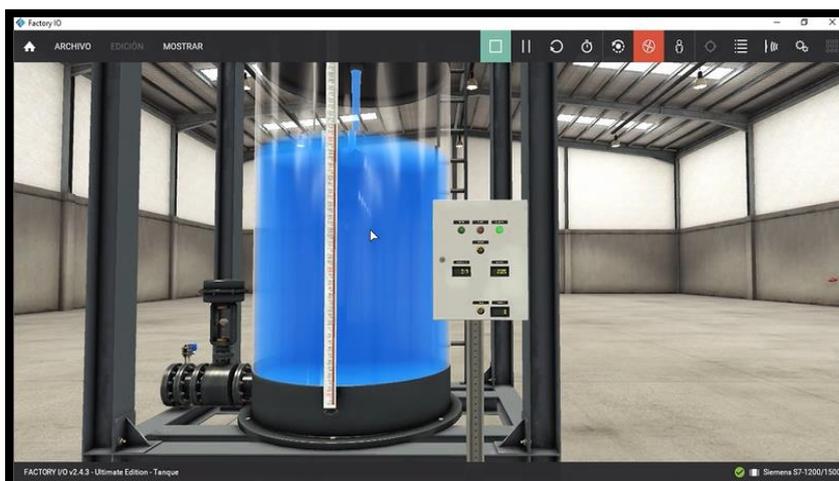
#### *Regulación fina de parámetros 1*



*Nota.* La Figura 73 representa la regulación fina de parámetros 1 señalando el valor del sensor.

### Figura 74

#### *Regulación fina de parámetros 2*

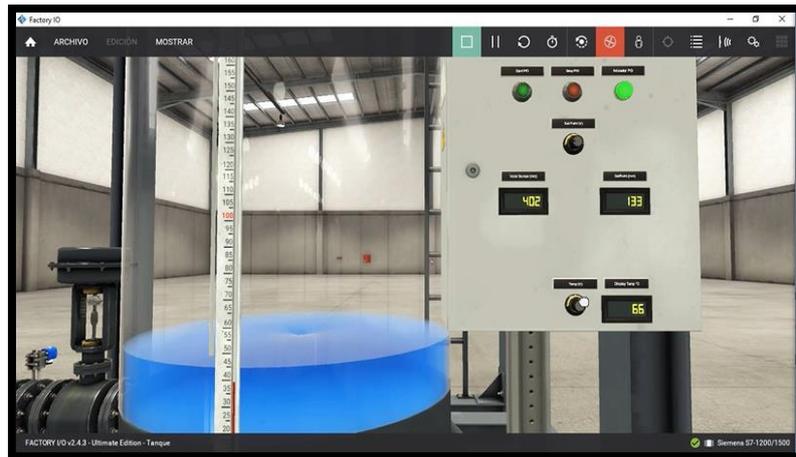


*Nota.* La Figura 74 representa la Regulación fina de parámetros 2 señalando el valor del sensor.

Así mismo, se puede apreciar el potenciómetro de temperatura, el cual arroja la data de 0 a 100 grados centígrados °C de acuerdo a lo programado. Tal y como se observa en la figura 75.

**Figura 75**

*Potenciómetro de temperatura*

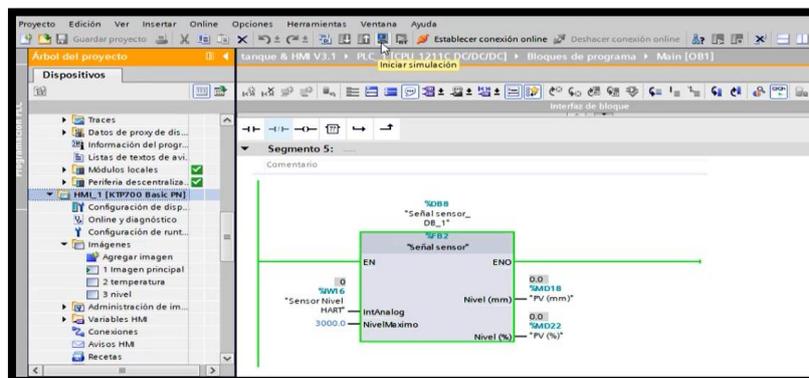


*Nota.* La Figura 75 representa la Potenciómetro de temperatura con valores que se determinan.

Para visualizar las señales del proceso en el HMI, Seleccionamos HMI\_1 [KTP700 Basic PN] e iniciamos simulación. Tal y como se observa en la figura 76 y 77.

**Figura 76**

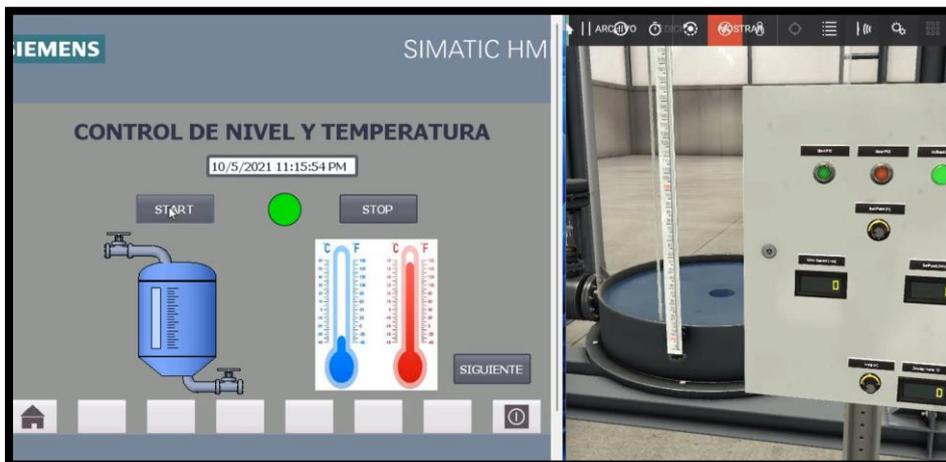
*Inicio de simulación del HMI*



*Nota.* La Figura 76 representa el inicio de la simulación del HMI.

**Figura 77**

*Inicio del sistema desde el HMI*



*Nota.* La Figura 77 representa el inicio del sistema desde el HMI.

Al dar inicio al sistema, ya sea desde el tablero o desde HMI, se activa el indicador verde en ambos. Y si se desea parar el sistema, se da clic en STOP ya sea desde el tablero o desde HMI y el indicador automáticamente cambiará su color a rojo. Tal y como se observa en la figura 78.

**Figura 78**

*Pantalla de temperatura en HMI*

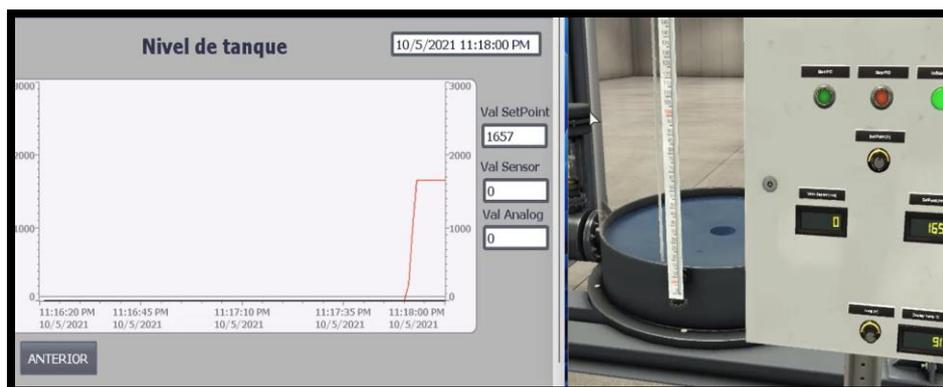


*Nota.* La Figura 78 representa la pantalla de temperatura en el HMI.

Refleja en el tablero el valor de 31 °C y en la pantalla del HMI muestra a través de una gráfica en el tiempo, el valor de la temperatura y el valor analógico el cual está ingresando de la dirección %IW18. Tal y como se observa en la figura 79.

**Figura 79**

*Pantalla de Nivel en HMI*

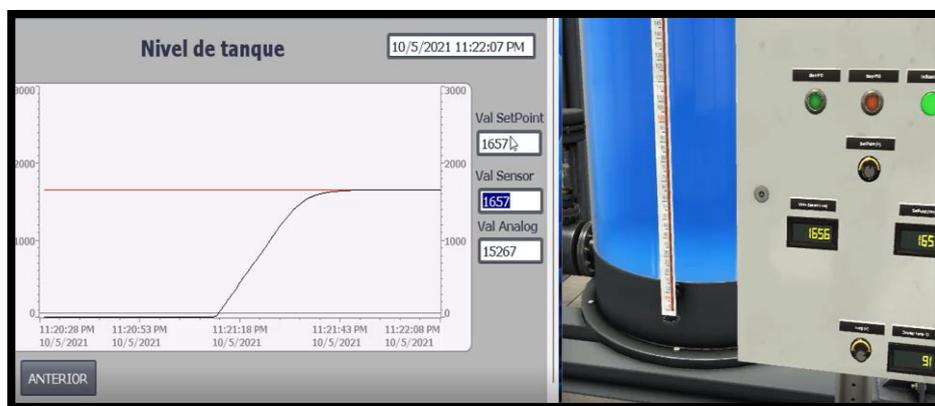


*Nota.* La Figura 79 representa la pantalla de nivel en el HMI.

Refleja en el tablero el valor del setpoint que es 1657 en la pantalla del HMI y en el display del tablero. También muestra el valor del sensor y el valor analógico que ingresa de la dirección %IW16. Tal y como se observa en la figura 80.

**Figura 80**

*Pantalla del valor del nivel del setpoint y el valor de nivel del sensor*



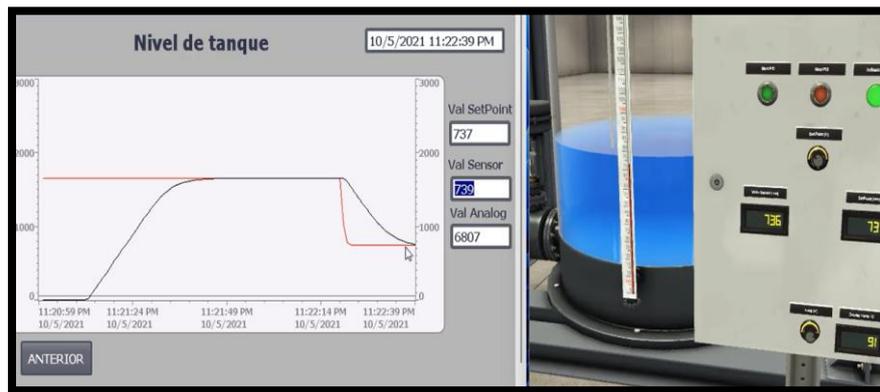
*Nota.* La Figura 80 representa la pantalla del valor del nivel del setpoint y el valor de nivel del sensor.

En la gráfica se puede verificar el valor del setpoint, así mismo el valor del sensor, a través del tiempo.

El valor del sensor se acerca lo más posible al valor del setpoint hasta estabilizarse. Tal y como se observa en la figura 81.

**Figura 81**

*Disminución del nivel del setpoint y del valor del sensor*



*Nota.* La Figura 81 representa la disminución del nivel del setpoint y del valor del sensor.

En la imagen 84 se puede apreciar la disminución del setpoint, así mismo disminuye el nivel del líquido en el tanque y el valor del sensor.

El valor del setpoint que es de 737, representa en la gráfica la línea de color rojo y el valor del sensor representa en la gráfica la línea de color negro, esta se acerca lo mayor posible al valor del setpoint hasta estabilizarse.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### Objetivo general

- Implementar un módulo con Sistema de periferia descentralizada HART, para el control de nivel y de la temperatura de la planta de tanques del laboratorio de Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

### Objetivos específicos

- Seleccionar los sensores para la medición de temperatura y de nivel para el óptimo funcionamiento del control PID
- Simular el módulo con sistema de periferia descentralizada HART para control PID de nivel y temperatura en la planta de tanques, utilizando la lógica de programación del software TIA PORTAL.
- Emplear el software Factory IO para la supervisión del funcionamiento del módulo de periferia descentralizada de protocolo HART

### Análisis de Resultados.

De acuerdo al objetivo general, se obtienen los valores del bloque de control PID que se describen en los objetivos específicos.

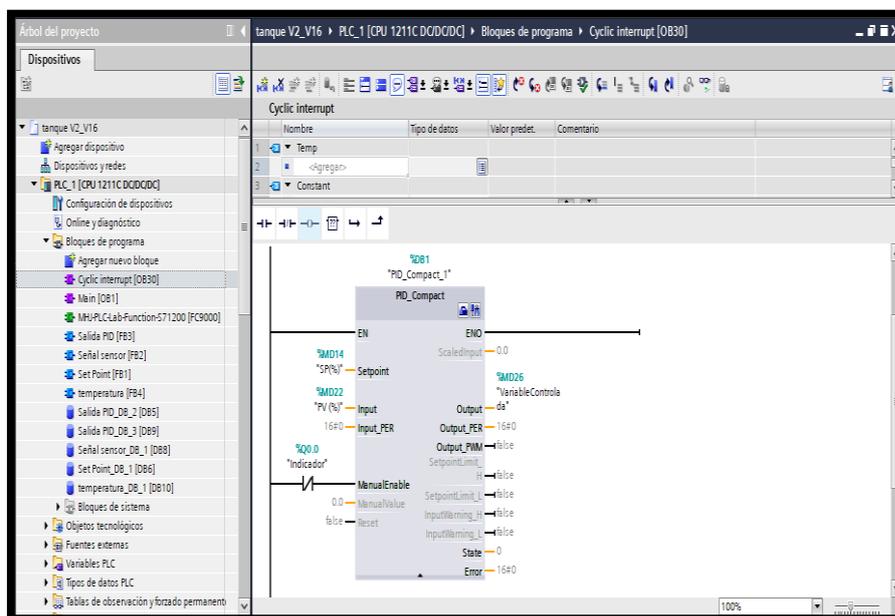
En el árbol del proyecto en TIA PORTAL, desplegamos objetos tecnológicos, clic en PID\_Compact\_1 (figura 85), clic en configuración y se abrirá la vista funcional de control.

Valores entregados por ajuste automático del Bloque de controlador PID

Visualización de controlador PID. Tal y como se observa en la figura 82.

**Figura 82**

*Bloque de controlador PID*



*Nota.* La Figura 82 representa la secuencia del bloque de controlador PID.

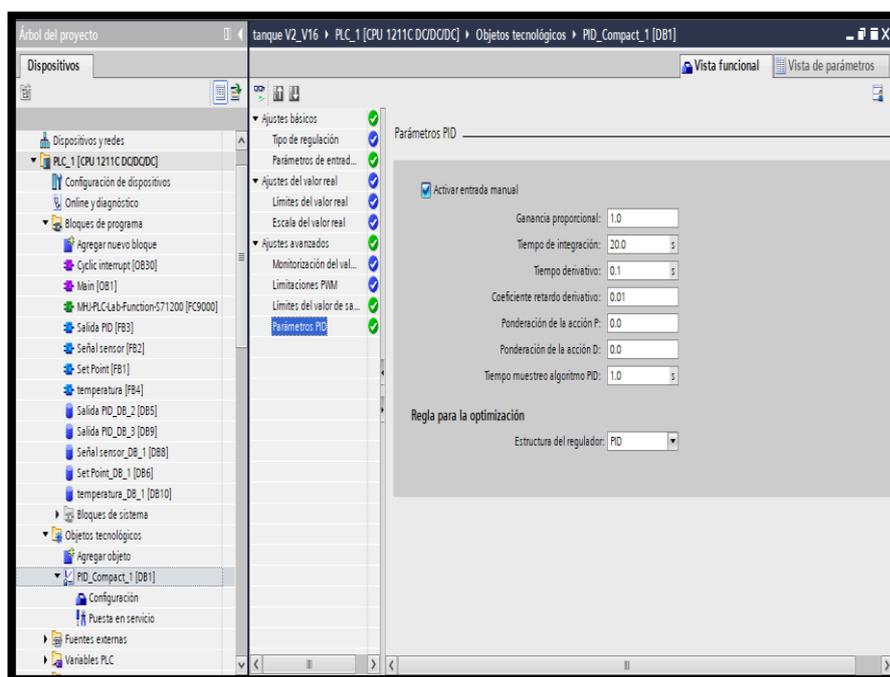
Mediante el bloque del controlador PID, se establecen los ajustes de parámetros mediante la ventana de configuración.

En parámetros PID, se obtiene los valores que entrega por defecto el bloque de control los cuales no son tan aceptables. Tal y como se observa en la figura 86.

Ganancia proporcional:	1,0
Tiempo de integración:	20,0
Tiempo derivativo:	0,1
Coeficiente retardado derivativo:	0,01
Ponderación de acción P:	0,0
Ponderación de la acción:	0,0
Tiempo muestreo algoritmo PID:	1,0

Figura 83

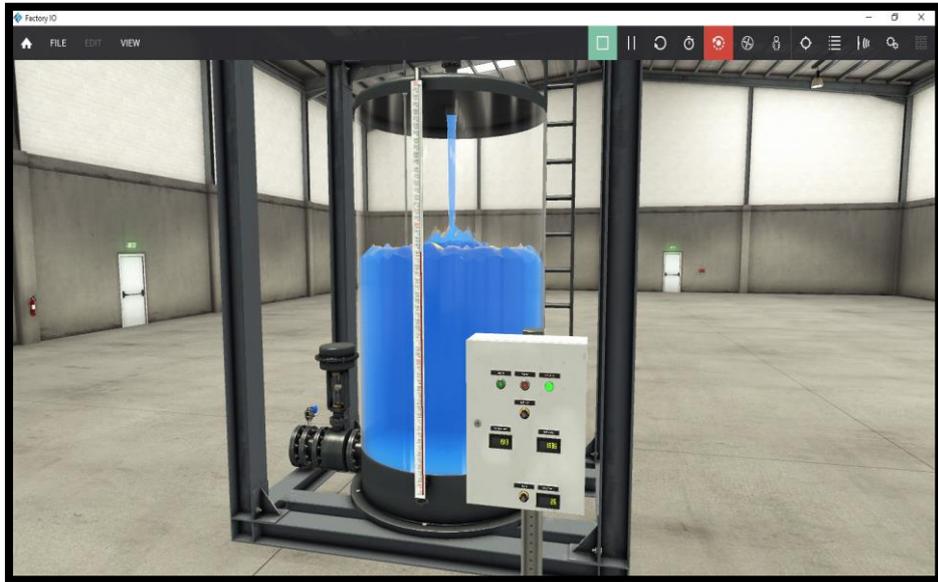
## Parámetros PID



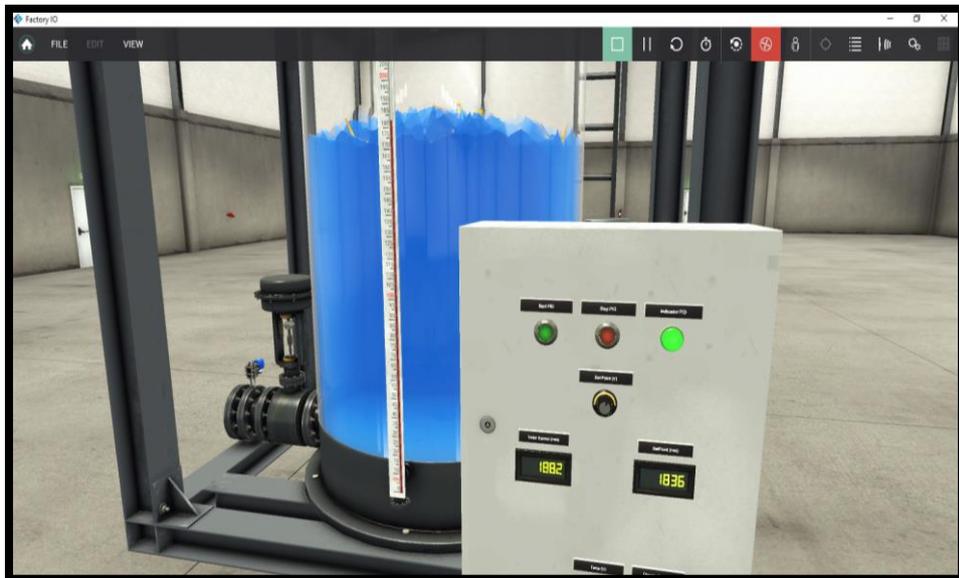
*Nota.* La Figura 83 establece aquellos Parámetros PID.

Estos valores se obtienen a partir de la regulación de la puesta en servicio. En modo de ajuste escogemos Optimización fina y presionamos botón Start. Luego de esta acción se empiezan a calcular los valores automáticamente.

El ajuste automático impacta de forma considerable, ya que presenta perturbaciones importantes en la apertura y cierre de las electroválvulas solenoides sin poder definir por completo el nivel del líquido indicado por el SetPoint. Tal y como se observa en la figura 84 y 85.

**Figura 84***Perturbación del nivel del líquido 1*

*Nota.* La Figura 84 Perturbación del nivel del líquido 1.

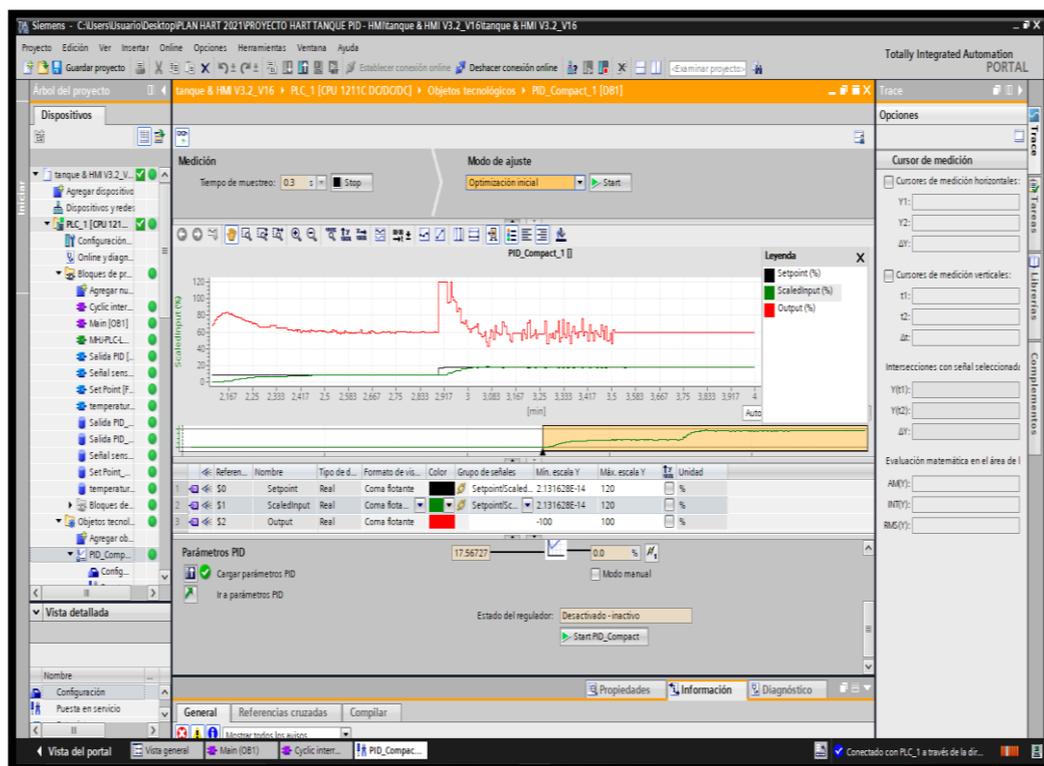
**Figura 85***Perturbación del nivel del líquido 2*

*Nota.* La Figura 85 Perturbación del nivel del líquido 2.

En la figura 87 y 88, Perturbación del nivel del líquido 1 y 2, se puede observar el nivel del líquido no definido por completo, debido a que el ajuste automático, entregado por defecto del bloque de control PID, no cumple con los valores necesarios para obedecer al SetPoint. Tal y como se observa en la figura 86 y 87.

**Figura 86**

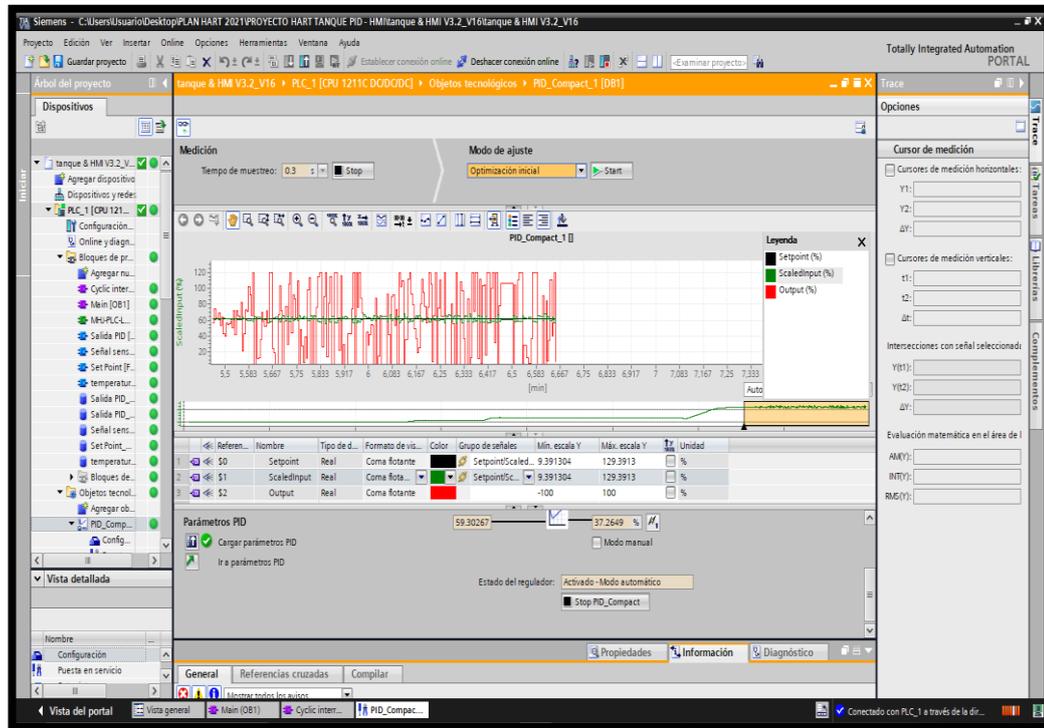
*Gráfica de señal perturbada 1*



*Nota.* La Figura 86 Gráfica de señal perturbada 1.

Figura 87

Gráfica de señal perturbada 2

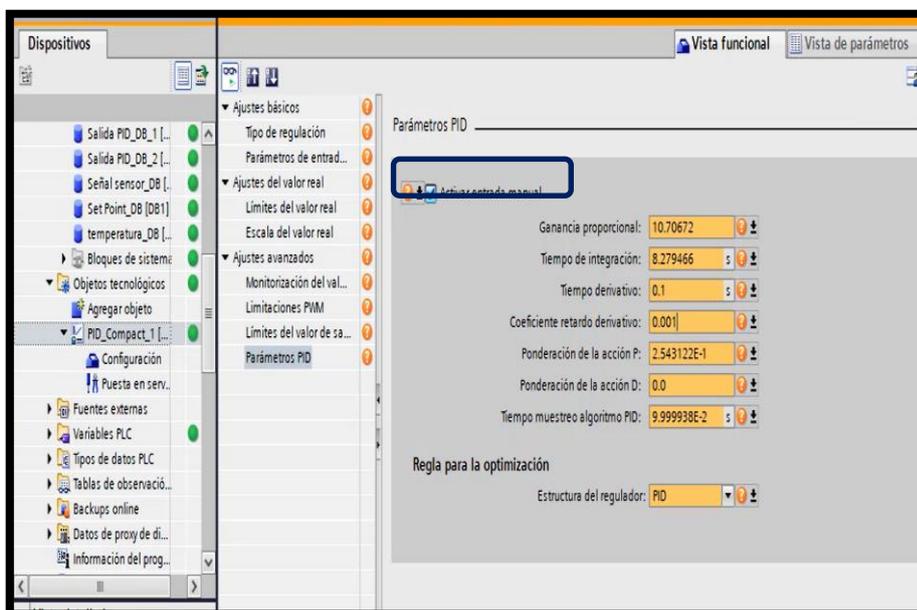


Nota. La Figura 87 Gráfica de señal perturbada 1.

En la figura 86 y 87, Gráfica de señal perturbada 1 y 2, se puede observar que una vez realizado el ajuste de la línea negra del SetPoint (Línea Negra), la entrada escalada (Línea Verde) de nuestra variable de proceso, toma las ganancias PID y obtiene como salida una señal regulada muy perturbada debido que los valores no son proporcionales al ajuste del SetPoint.

Valores entregados por ajuste manual del Bloque de controlador PID.

Tal y como se observa en la figura 88.

**Figura 88***Ajuste manual*

*Nota.* La Figura 88 establece el ajuste manual según las determinadas variables.

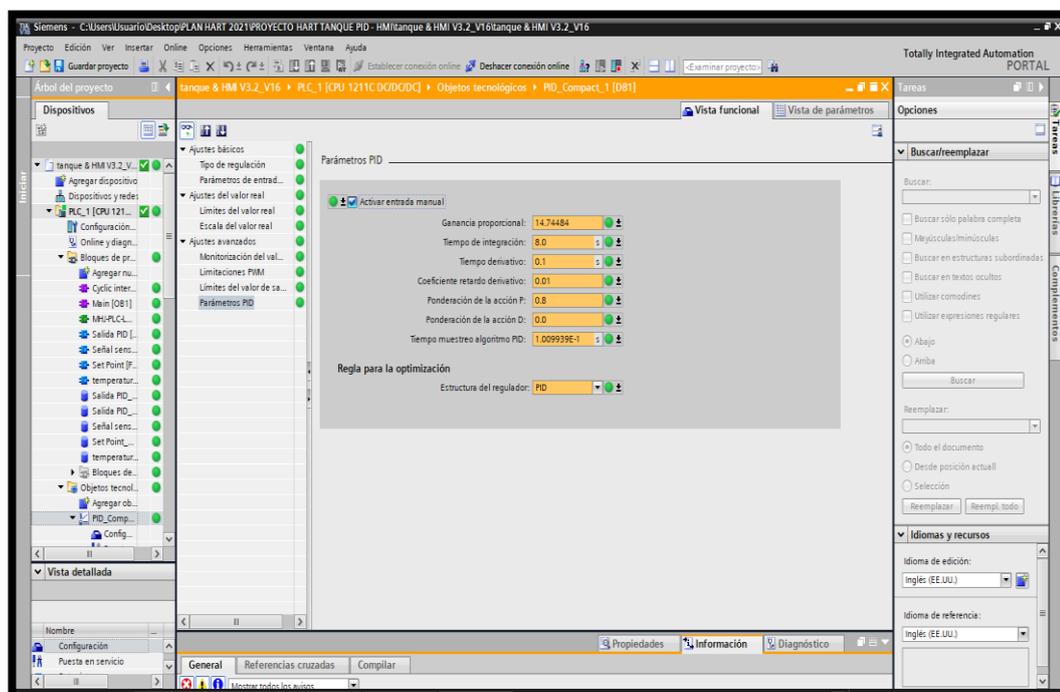
Como se puede apreciar en la figura 88, los parámetros PID se regulan a partir de la activación de la ventana de entrada manual, y se colocan los valores experimentales probados en cada etapa de control del proceso. Cabe resaltar que durante la experimentación se validaba mediante prueba y error hasta llegar a un ajuste fino en la regulación de las variables.

A continuación, se detallan los valores experimentales para el ajuste fino de parámetros de control PID en la Figura 89 los cuales son bastante aceptables y se recomienda utilizar en cada etapa de control. Visualización de Optimización del sistema en figura 90 y 91.

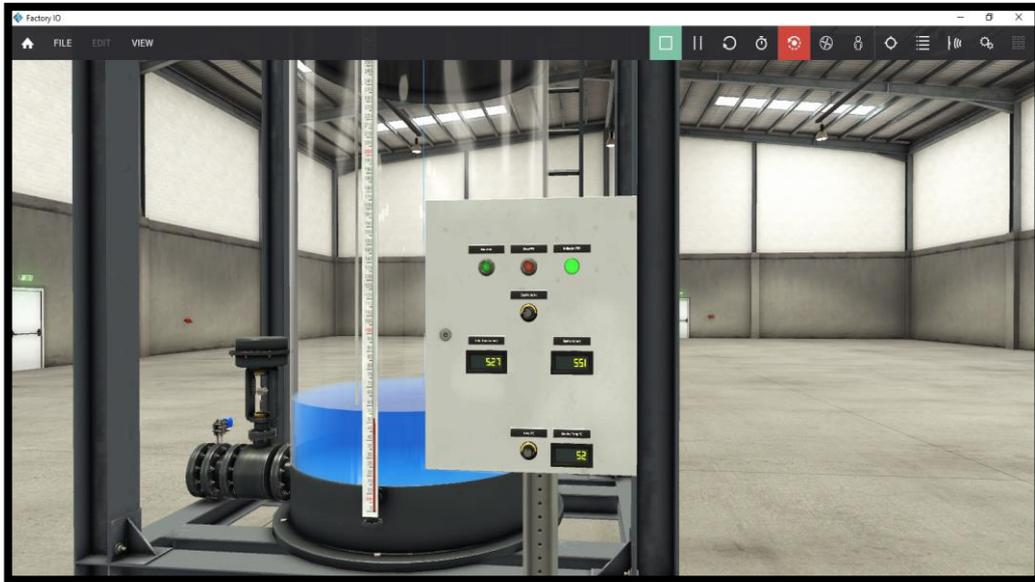
Ganancia proporcional:	14,74484		8,738037
Tiempo de integración:	8,0		10,24087
Tiempo derivativo:	0,1		
Coefficiente retardado derivativo:	0,01		
Ponderación de acción P:	0,8		2,556895E-1
Ponderación de la acción:	0,0		
Tiempo muestreo algoritmo PID:	1,009939E-1		1,998381E-1

**Figura 89**

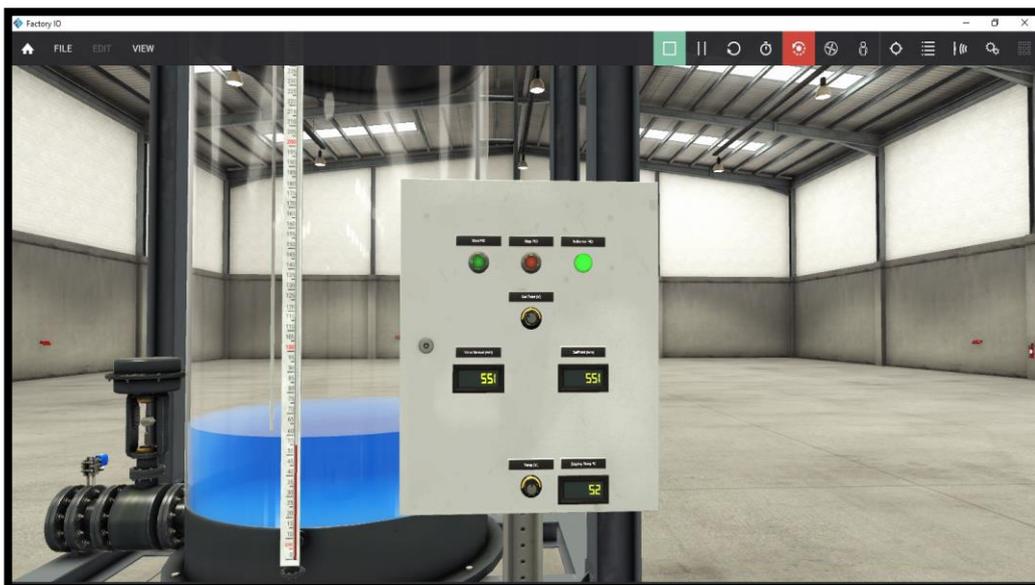
*Parámetros experimentales*



*Nota.* La Figura 89 Parámetros experimentales.

**Figura 90***Optimización del nivel del líquido 1*

*Nota.* La Figura 90 Optimización del nivel del líquido 1.

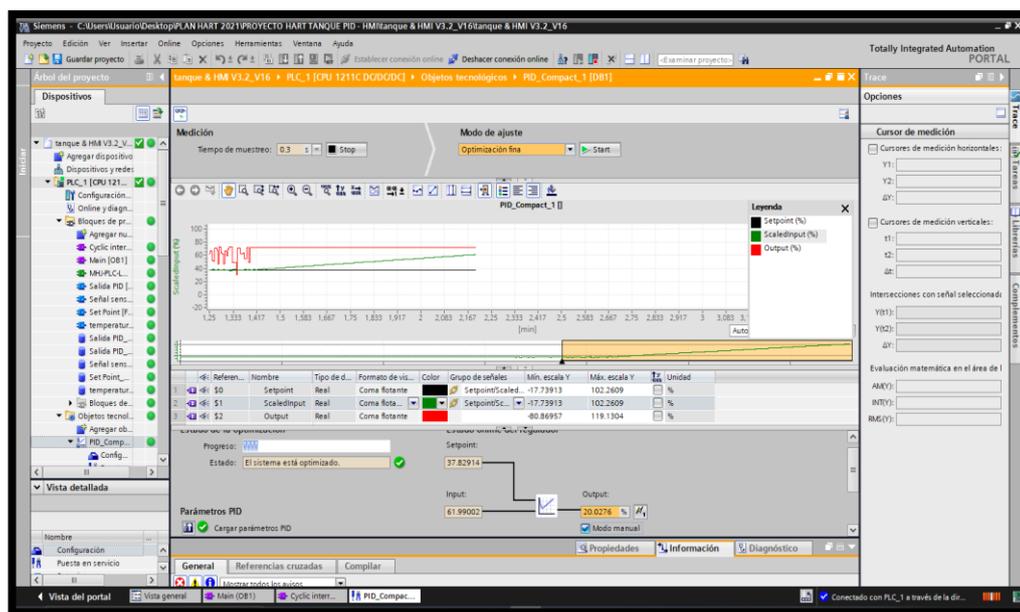
**Figura 91***Optimización del nivel del líquido 2*

*Nota.* La Figura 91 Optimización del nivel del líquido 2.

La figura 93 y 94, Optimización del nivel del líquido 1 y 2, se puede observar el nivel del líquido bien definido por completo, debido a que el ajuste manual (con ajustes experimentados), entregado por el bloque de control PID, tiene condiciones y cumple con los valores necesarios para obedecer al SetPoint. Gráfica de optimización fina en figura 92.

**Figura 92**

*Optimización fina, ajuste manual*



*Nota.* La Figura 95 Optimización fina, ajuste manual.

En la figura 92, Optimización fina, ajuste manual, se puede observar que una vez realizado el ajuste del SetPoint (Línea Negra), la entrada escalada (Línea Verde) de nuestra variable de proceso, toma las ganancias PID y obtiene como salida (Línea Roja) una señal regulada muy óptima debido a que los valores son proporcionales al ajuste del SetPoint.

De esta manera, se determina un ajuste fino proporcional aceptable y sin perturbaciones, de acuerdo a los valores ingresados mediante el SetPoint de la puesta en servicio.

## CONCLUSIONES

En la implementación de la simulación del sistema de periferia descentralizada basada en el protocolo HART para el control de nivel y temperatura de la planta de tanques, se verificó que el control automático versus el manual, este último presentó mejoras en los resultados (con una buena aproximación), lo que lo hace un sistema robusto y flexible para el control de los parámetros del sistema.

Los sensores industriales de nivel y temperatura permiten adaptación con facilidad a sistemas de control de almacenamiento de líquidos, no obstante, siempre se debe hacer un estudio previo a la adquisición de los sensores donde se analice el tipo de conexión a proceso, las señales de salida y sus características estáticas como (rango, sensibilidad, repetibilidad, exactitud, tiempo de respuesta, etc.)

Los parámetros del control PID (Proporcional, Integral y Derivativo) obtenidos mediante el método de auto-sintonización con optimización inicial en el software TIA PORTAL y el método de la caja negra conocida como la identificación de señales entrada versus salida fueron empleados para obtener el modelo de la planta y obtener un sistema de control robusto y eficiente.

Emplear el software Factory IO en la simulación del proceso de control PID de la planta de tanques de líquidos, nos permitió supervisar y controlar el comportamiento del sistema de periferia descentralizada, regulando las variables de control, como son el nivel y la temperatura de la planta de tanques.

## RECOMENDACIONES

En la implementación de un sistema de control de nivel y temperatura hay que tener muy claro cómo funciona el controlador PID para que el sistema responda como se desea, hay que tener muy en cuenta la calibración de los sensores, ya que si los sensores no están bien calibrados pueden dar muchos problemas en la afinación; además la transformación de la señal de control a la potencia del actuador debe ser manejada mediante los dispositivos adecuados para que el sistema pueda responder rápida y eficazmente a las exigencias del controlador.

En un control PID, siempre existe un margen de error en la regulación de las variables de proceso por lo que se recomienda utilizar sensores y actuadores proporcionales para estabilizar el sistema.

Se recomienda también el desarrollo de prácticas de laboratorio en el Área de Automatización, para distintas aplicaciones que se pueden implementar con el software de visualización gráfica Factory IO en conexión con el software de programación lógica TIA PORTAL, ya que son las mejores plataformas de ingeniería para la preparación académica en control de procesos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arian Control e Instrumentación. *Sensor de temperatura Pt100, su operación, instalación y tablas*. Recuperado en Agosto de 2021, desde: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
- Bastidas, Z. (2017). *Análisis y diseño de un sistema de control utilizando PLC para el proceso de fluido y nivel de llenado de tanques*. [Tesis de titulación], Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4055/1/UPSE-TET-2017-0006.pdf>
- Benjumea, J. (2009). *Plan de mantenimiento de la planta de tratamiento Villasantana S.A. ESP*. [Tesis de titulación], Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1811>
- Bohórquez, K., Fonseca, D. y Gutiérrez, S. (2017). *Sistema didáctico para el control de nivel con tanques acoplados*. [Tesis de titulación], Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15297/1/Documento%20Tanques%20Acoplados%2012-12-2017%20Versi%C3%B3n%20Final.pdf>
- Calero, C. y Salas, F. (2021). *Control de nivel de un sistema de tanques acoplados mediante un autómata programable y una pantalla HMI*. [Tesis de Grado en Ingeniería de las tecnologías industriales], Universidad de Sevilla, España. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/126752/TFG-3636-CALERO%20GOZALVEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De la Cruz, A. y Menéndez J. (2014). *Diseño e implementación de un banco de pruebas de sensores de presión, nivel y temperatura con tecnología WirelessHart para la compañía EuroInstruments*. [Tesis de título], Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21534/1/TESIS.pdf>

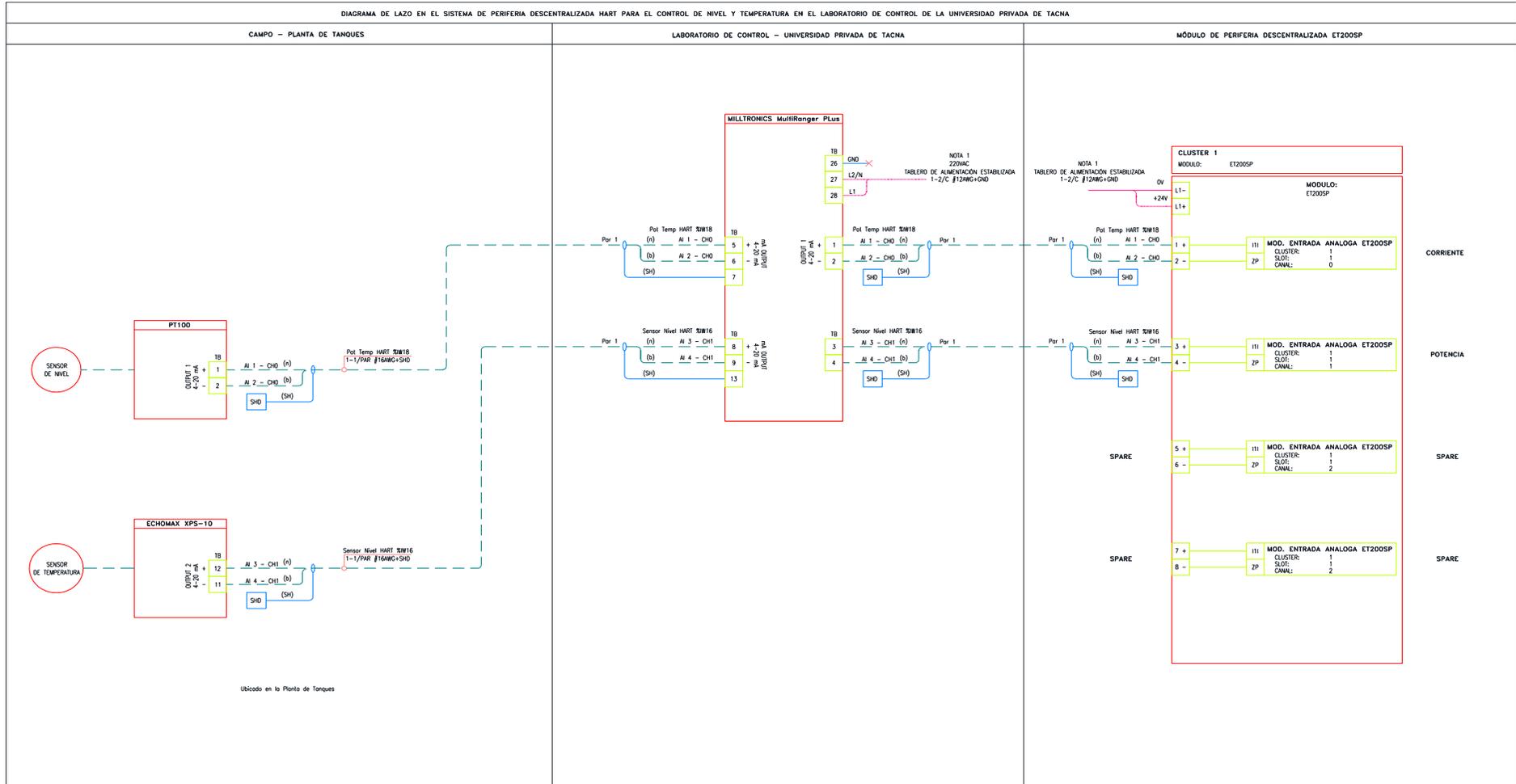
- Gandhi, M. (2020). *Autycom: ¿Qué es un sistema de control?* Disponible en: <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>
- García, R. (2018). *Implementación del sistema de control proporcional integral derivativo para controlar el nivel de agua en un depósito usando tarjeta de adquisición de datos USB-6008*. [Tesis de titulación], Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Disponible en: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/13738/1/garcia\\_pr.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/13738/1/garcia_pr.pdf)
- Muñoz, K. (2017). Protocolo de Comunicación HART. Artículo de Ingeniería. Redes y Sistemas Computarizados de Control., pp.1-4, Octubre 2017. Disponible en: . <https://es.scribd.com/document/394700700/Protocolo-HART>
- Padilla, C. y Toro, G. (2018). *Diseño e implementación de un sistema SCADA con PLC siemens S7-200 para el control PID de la planta de nivel de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, utilizando software libre*. [Tesis de titulación], Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, La Libertad, Perú. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/2807>
- Rivera, M. (2014). *Control PID Aplicado A Un Sistema De Tanques En Cascada, Como Alternativa De Solución Para El Control De Nivel De Llenado, En Una Empresa De Tintes*. [Trabajo de suficiencia profesional], Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Villa El Salvador Lima, Perú. Disponible en: <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/510>
- Rodríguez, D. (2011). Protocolo HART, prácticas de laboratorio. [Tesis de titulación], Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia. Disponible en: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062409.pdf>
- Seclen García, R. F. (2019). *Sistemas de conexión FSK y la conectividad de instrumentos de campo con tecnología HART con la finalidad de incrementar el conocimiento de los protocolos industriales – período 2018*. [Tesis de título], Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1891/CIE-SEC-GAR-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Távora, J. y Rojas, D. (2015). *Diseño de un sistema de control con periferia descentralizada para optimizar las condiciones de temperatura y presión del vapor que ingresa a fábrica en la empresa Agroindustrial Tumán S.A.A.* [Tesis de titulación], Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, La Libertad, Perú. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/890>
- Tejada, J. (2016). *Diseño e implementación de prototipo de control de flujo y temperatura para sistema "HVAC" aplicando control multivariable cascada.* [Tesis de título], Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú. Disponible en:  
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/5321/74.0141.IE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Toledo, S. (2007). *Diseño de controladores PID en tiempo discreto y análisis respuesta utilizando herramientas computacionales.* [Tesis de título], Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. Disponible en:  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0202\\_EO.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0202_EO.pdf)
- Vega, J. y Meza, F. (2016). *Diseño e implementación de un sistema SCADA para el control de enfriamiento del tanque de agua fría de la planta de procesos análogos (PPA).* [Tesis de titulación], Universidad Distrital Antonio José de Caldas, Bogotá, Colombia. Disponible en:  
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23598/VegaCorreaJoseLeonardo2016.pdf?sequence=1>

## ANEXO 1

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</b> Cómo influye en el control de nivel y de la temperatura de la planta de tanques del laboratorio de Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica la Implementación de un módulo con Sistema de periferia descentralizada HART.</p> <p><b>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS</b> ¿Cómo influye en el funcionamiento óptimo del control PID, la selección de los sensores empleados para la medición de la temperatura y del nivel de la planta de tanques?</p> <p>¿Cómo influye la utilización de la lógica de programación del software TIA PORTAL en la simulación del módulo con sistema de periferia descentralizada HART para control PID de nivel y temperatura en la planta de tanques?</p> <p>¿Cómo influye el empleo del software Factory IO en la supervisión del funcionamiento del módulo de periferia descentralizada de protocolo HART?</p>	<p><b>1. OBJETIVO GENERAL</b> Implementar un módulo con Sistema de periferia descentralizada HART, para el control de nivel y de la temperatura de la planta de tanques del laboratorio de Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.</p> <p><b>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> Seleccionar los sensores para la medición de temperatura y de nivel para el óptimo funcionamiento del control PID</p> <p>Simular el módulo con sistema de periferia descentralizada HART para control PID de nivel y temperatura en la planta de tanques, utilizando la lógica de programación del software TIA PORTAL</p> <p>Emplear el software Factory IO para la supervisión del funcionamiento del módulo de periferia descentralizada de protocolo HART.</p>	<p><b>1. HIPÓTESIS GENERAL</b> La implementación virtual de un Módulo con Sistema de Periferia Descentralizada HART para el control de Nivel y Temperatura utilizando el software TIA PORTAL, permite controlar la planta de tanques del laboratorio de Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de modo eficiente</p> <p><b>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b> □ La selección de los sensores para la medición de temperatura y de nivel que trabajen con el protocolo de red industrial HART, permite que el control PID del sistema opere de manera óptima.</p> <p>La simulación del módulo con el sistema de periferia descentralizada HART para control PID de nivel y temperatura en la planta de tanques, se facilita al utilizar la lógica de programación del software TIA PORTAL</p> <p>Mediante el empleo del software Factory IO para la supervisión del módulo de periferia descentralizada de protocolo HART, se visualiza los parámetros que regulan el funcionamiento del sistema de control.</p>	<p><b><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></b></p> <p>Sistema con periferia descentralizada HART</p> <p><b><u>DIMENSIÓN 1:</u></b> Parámetros del sistema</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Bytes utilizados por la aplicación</li> <li>Nivel de la señal de entrada analógica</li> <li>Número de señales analógicas</li> </ol> <p><b><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></b></p> <p><b>Control de nivel y temperatura.</b></p> <p><b><u>DIMENSIÓN 1:</u></b> Parámetros de control</p> <p><b>Indicadores</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Temporización del arranque de la bomba.</li> <li>Nivel del líquido.</li> <li>Rango de temperatura</li> </ol>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> Aplicada, nivel es descriptivo correlacional</p> <p><b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> Experimental</p> <p><b>ÁMBITO DE ESTUDIO</b> El laboratorio de Control y Automatización de la carrera de Ingeniería Electrónica, de la Facultad de Ingeniería, Universidad Privada de Tacna.</p> <p><b>POBLACIÓN</b> Comprende los módulos de automatización que se encuentran instalados en el laboratorio de Control y Automatización de la carrera de ingeniería electrónica.</p> <p><b>MUESTRA</b> Comprende el módulo de planta de tanques, que se compone por un total de 01 planta de tanque, 02 bombas alimentadoras, 02 electroválvulas, 01 tablero principal de control.</p> <p><b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> Técnica de análisis documental Técnica de observación experimental:</p> <p><b>INSTRUMENTOS</b> <b>Fuentes secundarias:</b> Libros especializados sobre sistemas de control, los principios de funcionamiento de actuadores, los controladores lógicos programables (PLC); Catálogos sobre especificaciones técnicas de sensores, actuadores, equipos de control, pantallas HMI; Bibliotecas virtuales de artículos especializados referidos a la investigación; Direcciones web de control PID, control de nivel de tanques, sistemas de control basados en el protocolo HART, plataformas de programación lógica, actuadores y sensores de control de nivel y de temperatura; Software de simulación de procesos industriales TIA PORTAL, software de supervisión y visualización gráfica Factory IO.</p>

DIAGRAMA DE LAZO EN EL SISTEMA DE PERIFERIA DESCENTRALIZADA HART PARA EL CONTROL DE NIVEL Y TEMPERATURA EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA



Nota 1: Los equipos electrónicos deben tener tensión estabilizada para su alimentación y su sistema de aterramiento aislado.