

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**



TESIS

**“DISEÑO Y SINTONÍA DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO
PARA EL CONTROL DE NIVEL DE UN PROCESO”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. IVAN SERGIO AROCUTIPA ALVARO

Bach. AARON ALEXANDER COTRADO TICONA

TACNA – PERÚ

2024

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

TESIS

**“DISEÑO Y SINTONÍA DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO
PARA EL CONTROL DE NIVEL DE UN PROCESO”**

Tesis sustentada y aprobada el 15 de noviembre de 2024; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : Mag. MARCO ANTONIO SEBASTIÁN COLOMA
YUNGANINA**

SECRETARIO : Mag. ALEX JUAN YANQUI CONSTANCIO

VOCAL : Mag. HUGO JAVIER RIVERA HERRERA

ASESOR : Mag. MARKO JESUS POLO CAMACHO

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Ivan Sergio Arocutipa Alvaro, Aaron Alexander Cotrado Ticona, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 74731309 y 77674877 respectivamente, así como Marko Jesus Polo Camacho con DNI 70445009; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos autores de la tesis titulado: *Diseño y sintonía de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Electrónico*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objetivo de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 21 de marzo del 2023



Ivan Sergio Arocutipa Alvaro
DNI: 74731309



Aaron Alexander Cotrado Ticona
DNI: 77674877



Marko Jesus Polo Camacho
DNI: 74731309

DEDICATORIA

A mis padres, quienes serán mi mayor inspiración.

A mi padre, por enseñarme con su ejemplo la importancia del esfuerzo, la disciplina y la integridad. Por tus palabras de aliento en los momentos difíciles y por recordarme siempre que los sueños se alcanzan con determinación y este logro hoy te lo dedico con todo mi corazón.

A mi madre, quien desde el cielo ilumina mi camino. Gracias por tu amor eterno, por cada sonrisa que me dejaste y por ser la razón de mi perseverancia. Aunque no estés físicamente, tu presencia vive en cada paso que doy y en este logro que hoy te dedico con todo mi corazón.

A mi familia, por estar siempre a mi lado, brindándome su amor, comprensión y apoyo incondicional. Cada palabra de aliento, cada gesto de cariño y cada sacrificio han sido el motor que me impulsa a seguir adelante. Este logro es también de ustedes, porque sin su presencia, este sueño no habría sido posible.

A mis amigos, gracias por las risas y los consejos. Su amistad ha sido un regalo invaluable que me ha acompañado a lo largo de este camino.

Ivan Sergio Arocutipá Alvaro

DEDICATORIA

A mi familia, que siempre me apoya en los proyectos que me planteo.

A mis docentes universitarios que me enseñaron todo lo necesario para desenvolverme profesionalmente.

Aaron Alexander Cotrado Ticona

AGRADECIMIENTO

Con gratitud y emoción, queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible este logro, cada una de ellas dejando una huella especial en este importante camino.

A nuestro asesor y docentes, por compartir su conocimiento, dedicación y sabiduría. Sus orientaciones fueron cruciales para concretar este proyecto, y sus enseñanzas quedarán siempre con nosotros como un faro para el futuro.

Ivan Sergio Arocutipa Alvaro y Aaron Alexander Cotrado Ticona

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Específicos.....	2
1.3. Justificación e Importancia	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Hipótesis.....	4
1.5.1. Hipótesis general	4
1.5.2. Hipótesis específicas	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de Estudio.....	5
2.2. Bases Teóricas.....	6
2.2.1. Diagrama de Bloques.....	6
2.2.2. Sistema de Control.....	7

2.2.2.1.	Componentes Básicos de un Sistema de Control.....	7
2.2.2.2.	Sistema de Control Lazo Abierto	8
2.2.2.3.	Sistema de Control Lazo Cerrado.....	8
2.2.3.	Concepto de Sintonización.....	9
2.2.4.	Métodos de Control.....	10
2.2.4.1.	Control Proporcional (P)	10
2.2.4.2.	Control proporcional, integral y derivativa (PID)	11
2.2.5.	Tipos de sensores.....	14
2.2.5.1.	Sensor de presión	15
2.2.5.2.	Sensor de Flujo	16
2.2.5.3.	Sensor de Temperatura.....	17
2.2.5.4.	Sensor de Nivel	19
2.2.6.	Controlador Lógico Programable (PLC)	23
2.3.	Definición de términos	24
2.3.1.	Sintonizador PID	24
2.3.2.	Control proporcional.....	24
2.3.3.	Control Integral	24
2.3.4.	Control derivativo	24
2.3.5.	Control de procesos	25
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		26
3.1.	Diseño de la investigación	26
3.1.1.	Requerimientos del proceso.....	26
3.1.2.	Diseño conceptual.....	26
3.1.2.1.	Medidor de nivel ultrasónico de cuatro hilos	26
3.1.2.1.	Válvula proporcional	32
3.1.2.2.	<i>Bomba de Agua</i>	34
3.1.2.4.	Módulo de entradas y salidas analógicas SM 1234 AI4/AQ2	35
3.1.3.	Diseño de Detalle.....	36
3.1.3.1.	Módulo de Control de Nivel	36

3.2.	Acciones y actividades	38
3.3.	Materiales y/o instrumentos	39
3.4.	Operacionalización de variables	39
3.4.1.	Variable Dependiente.....	39
3.4.2.	Variable Independiente	39
3.5.	Procesamiento y análisis de datos	40
4.1.	Analizamos los resultados	48
4.1.2.	Implementación de la simulación del proceso.	48
4.1.2.1.	Programación en software TIA PORTAL	49
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		59
CONCLUSIONES		60
RECOMENDACIONES.....		61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		62
ANEXOS.....		64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de las constantes para el control PID método Reacción de la Curva	13
Tabla 2. Características del sensor de nivel por presión.....	22
Tabla 3. Ventajas de los PLC's	23
Tabla 4. Descripción de panel de cableado	30
Tabla 5. Datasheet de válvula proporcional	33
Tabla 6. Tabla de operacionalización de variable	40
Tabla 7. Apertura de la válvula VS nivel del líquido	42
Tabla 8. Parámetros del controlador – Curva de reacción	45
Tabla 9. Parámetros del controlador – Ganancia limite	46
Tabla 10. Tabla comparativa de parámetros obtenidos por diferentes métodos de sintonización	47
Tabla 11. Tabla de variables creadas en el PLC.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques de un sistema.....	7
Figura 2. Control básico de un sistema.....	7
Figura 3. Sistema de control lazo abierto.....	8
Figura 4. Sistema de control de lazo cerrado.....	8
Figura 5. Descripción de parámetros PID	9
Figura 6. Proceso de control de temperatura de un liquido.....	10
Figura 7. Análisis del sistema con un escalón unitario	12
Figura 8. Sensor de presión analógica.....	15
Figura 9. Manómetro digital	15
Figura 10. Sensor de flujo tipo turbina.	17
Figura 11. Sensor de flujo tipo ultrasónico	17
Figura 12. Sensor de Temperatura tipo RTD	18
Figura 13. Sensor de temperatura tipo termistor.....	18
Figura 14. Sensor de temperatura tipo infrarrojo.....	19
Figura 15. Sensor de nivel tipo flotador.....	19
Figura 16. Sensor de nivel tipo burbujeo.....	20
Figura 17. Sensor de nivel tipo de presión diferencial.....	20
Figura 18. Sensor de nivel tipo ultrasónico	21
Figura 19. Sensor de nivel por presión	22
Figura 20. Pantalla de medición del sensor	26
Figura 21. Pantalla de contraseña	27
Figura 22. Dimensiones del instrumento (altura).....	29
Figura 23. Panel de cableado integrado del sensor	30
Figura 24. Botones del sensor para desplazarnos por el menú del sensor	31
Figura 25. Sensor ultrasónico físico	32
Figura 26. DataSheet de la válvula proporcional.....	32
Figura 27. Válvula proporcional 4-20mA.....	34
Figura 28. Bomba de agua	34
Figura 29. PLC SIEMENS S7 1200 – CPU 1214 DC/DC/DC	35
Figura 30. Módulo de entradas y salidas analógicas	35
Figura 31. Sensor ultrasónico configurado a 0.73m.....	36
Figura 32. Válvula proporcional 4-20mA.....	37
Figura 33. Módulo de control de nivel PID	37
Figura 34. Sistema de nivel de primer orden	40

Figura 35. Gráfica del comportamiento del sistema	43
Figura 36. Gráfica del proceso estable	43
Figura 37. Gráfica de apertura de la válvula al 50% - 65%	44
Figura 38. Comportamiento del método de ganancia límite	45
Figura 39. Grafica obtenida del PID – Ganancia límite	46
Figura 40. Comportamiento de la grafica cuando hay una perturbación	47
Figura 41. Módulos usados en TIA-Portal y ajuste de dispositivos	49
Figura 42. Características de los módulos usados.....	50
Figura 43. Canal de entrada IW100	51
Figura 44. Canal de salida QW96	51
Figura 45. Variables del PLC	52
Figura 46. Configuración manual de válvula	53
Figura 47. Pruebas de estabilidad de proceso con valores forzados	54
Figura 48. Bloques de normalización y escalado	54
Figura 49. Bloque de función y PID	55
Figura 50. Bloque PID.....	55
Figura 51. Bloque de función y PID	55
Figura 52. Ajustes básicos PID	56
Figura 53. Ajustes valor real PID	57
Figura 54. Tabla de variables.....	57
Figura 55. Elaboración de proceso gráfico en pantalla HMI	57
Figura 56. Gráfico final en pantalla HMI.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	65
Anexo 2. Esquema de conexión de válvula proporcional (vp) para el control de flujo o presión.....	67
Anexo 3. Hoja de datos referencial de válvula proporcional.....	68
Anexo 4. Manual de usuario de sensor ultrasónico.....	69

RESUMEN

“Diseño y sintonía de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso”, la presente tesis tiene el objetivo de sintonizar un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso. En el cual se está utilizando el autómata Siemens S7 1200 con su respectiva TIA Portal V15 con la programación en Ladder. Se están usando como actuador una válvula proporcional que recibe una señal de 4mA a 20mA. Como transductor un sensor ultrasónico de 4mA a 20mA para la medición de nivel y así como este sería la realimentación nuestro proceso para lograr la sintonía. Esta investigación es del tipo aplicada. La metodología utilizada consistió en el diseño de un sistema de control de nivel utilizando el control PID, teniendo en cuenta las variables involucradas y sintonizando el proceso mediante el software TIA Portal V15. En la sección de resultados se presenta la implementación de la simulación del proceso y se analizan los resultados obtenidos. Se ha diseñado con éxito un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso, utilizando el PLC Siemens S7 1200 y el bloque PID a través del software TIA Portal. Se han identificado y establecido parámetros y elementos fundamentales del sistema de control. Considerando la naturaleza de un módulo de entrenamiento, se han dejado parámetros básicos flexibles para ajustarse a las necesidades del usuario. La determinación de los parámetros de sintonización se llevó a cabo mediante los métodos de CURVA DE REACCION Y GANANCIA LIMITE donde el método de la curva de reacción nos da parámetros más estables del proceso frente a perturbaciones externas. Aprovechando la manipulación de la válvula proporcional y teniendo una retroalimentación del sensor de presión para lograr parámetros más precisos y estables.

Palabras clave: control de procesos; sintonización de un proceso; controlador PID.

ABSTRACT

“Design and tuning of a training module for the level control of a process”, this thesis aims to tune a training module for process level control using the Siemens S7 1200 PLC with its respective TIA Portal V15 and Ladder programming. A proportional valve, receiving a 4 to 20 mA signal, is employed as an actuator, and a 4 to 20 mA ultrasonic sensor serves as a transducer for level measurement, acting as feedback in the process for tuning. This research falls under applied methodology. The approach involves designing a level control system using PID control, considering the involved variables and tuning the process using the TIA Portal V15 software. The results section presents the simulation implementation of the process, and the obtained results are analyzed. Successfully, a training module for process level control has been designed, utilizing the Siemens S7 1200 PLC and the PID block through the TIA Portal software. Fundamental parameters and elements of the control system have been identified and established. Considering the nature of a training module, basic parameters have been left flexible to adapt to user needs. The determination of tuning parameters was carried out using methods such as AUTO TUNING, GUESSWORK, CURVE RESPONSE, and GAIN LIMIT where the latter two PID tuning methods resulted in better system response, stabilizing the system within 46 seconds. Leveraging proportional valve manipulation and utilizing pressure sensor feedback to achieve more precise and stable parameters.

Keywords: process control; process tuning; PID controller.

INTRODUCCIÓN

Estamos viviendo en una época donde la tecnología avanza de manera rápida donde los cambios tecnológicos son grandes. El campo de control de procesos se implementó gracias a la aparición de los PLCs en la década 1960. Pero hoy en día ya es común ver estos autómatas programables en cualquier industria.

Las mejoras que brinda la tecnología es una herramienta para todo ingeniero y significa que nos da la posibilidad de resolver problemas de gran desafío que se presenten en la industria, por ello se busca realizar un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un tanque mediante sintonización.

La investigación sigue un enfoque aplicado, centrándose en el diseño de un sistema de control de nivel de agua que emplea el método de la sintonización PID. Este estudio aborda la identificación y establecimiento de parámetros fundamentales del sistema de control, con la flexibilidad necesaria para adaptarse a las necesidades específicas del usuario.

La tesis aborda el diseño y sintonía de un sistema de control de nivel de agua utilizando el control PID como etapa principal, teniendo en cuenta las variables involucradas y sintonizando el proceso mediante el software TIA Portal V15. Para lo cual se siguió una serie de pasos para poder realizar este proyecto empezando por la descripción del problema que se aborda en la tesis, se formula el problema general y los problemas específicos, se justifica la importancia del estudio y se presentan los objetivos y la hipótesis. En el Capítulo II, se presenta la revisión bibliográfica y los antecedentes de estudio relacionados con el control de tanques acoplados, el control de nivel y el control PID donde se obtuvo información relevante y conocimientos necesarios brindando un mayor entendimiento de este proyecto. En el Capítulo III, se describe la metodología utilizada para el diseño y sintonía del sistema de control de nivel, incluyendo la selección de los componentes, la programación del controlador y la simulación del proceso. En el Capítulo IV, se presenta la implementación de la simulación del proceso y se analizan los resultados obtenidos. En el Capítulo V, se discuten los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del Problema

Actualmente la Universidad Privada de Tacna cuenta con laboratorios de Electrónica parte del área de Control de Procesos y Automatización. Estos laboratorios se hicieron con la finalidad de hacer una clase dinámica e interactiva. Los estudiantes realizan sus laboratorios con las diferentes gamas de equipos disponibles de control. El laboratorio cuenta con cierta cantidad de módulos como son los módulos PLC, módulos Festo, donde los estudiantes practican la base teórica de control de procesos y automatización. Permitiendo la simulación de diversas aplicaciones usando los controladores lógicos. También cuenta con diferentes tipos de sensores que se usan para la práctica que van de la mano con los controladores para ampliar la dificultad de la aplicación a simular.

Como se expresa la Escuela de Ingeniería Electrónica cuenta con equipos para sus laboratorios para pasar de teoría a práctica, pero no todas las teorías son realizadas dejando por motivo de tiempo conceptos teóricos que no son llevados a la práctica. Por ello, el presente estudio busca implementar un módulo sintonizador, donde se quiere estudiar la sintonización de un proceso de nivel usando un controlador lógico programable.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Se podrá diseñar y sintonizar un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso con el PLC S7-1200?

1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿Qué equipos necesitamos para lograr el diseño de sintonización de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso?
- b. ¿Qué software necesitamos para lograr el diseño de sintonización de un de entrenamiento para el control de nivel de un proceso?
- c. ¿Qué variables se deben controlar/tomar para el diseño de sintonización de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso?

1.3. Justificación e Importancia

Como se expresó en la descripción del problema, la implementación de un módulo de entrenamiento en el Laboratorio de Control de Procesos y Automatización es una ventaja de campo para todo estudiante de ingeniería. La Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica continuamente tiene que mejorar sus equipos y módulos de entrenamiento porque la tecnología avanza y así a la vez la infinidad de aplicaciones que se da en el ámbito laboral. Los conocimientos prácticos de los dispositivos e instrumentos de control es un requisito necesario hoy en día en el mundo laboral.

El laboratorio cuenta con una gama de controladores lógicos programables, uno de ellos es la marca SIEMENS S7-1200 un controlador robusto completo que permite tareas complejas. Además, se tiene el software TIA-Portal que permite la programación del PLC S7-1200, agregando características técnicas del controlador para su configuración.

Teniendo estas herramientas, se puede implementar dicho módulo de entrenamiento para el estudio de la sintonización de un control de nivel en un proceso.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y sintonizar un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Definir dispositivos/equipos adecuados que permitan lograr un diseño de sintonización de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso.
- b. Definir el programa con el lenguaje de programación necesario que permita diseñar la lógica del diseño de sintonización de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso.
- c. Determinar los parámetros de sintonización para lograr el control de nivel de agua de un diseño de sintonización de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La implementación de un módulo de entrenamiento bien diseñado y correctamente sintonizado puede mejorar significativamente la eficacia y precisión en el control del nivel de agua en procesos industriales.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. La selección de dispositivos y equipos adecuados permitirá lograr una configuración óptima que mejore la eficacia y precisión del módulo de entrenamiento para el control de nivel en procesos industriales.
- b. El desarrollo de un programa utilizando el lenguaje de programación apropiado facilitará una lógica de control eficiente y adaptable, que será crucial para el desempeño exitoso del módulo de entrenamiento en el control de nivel de procesos.
- c. La correcta determinación de los parámetros de sintonización del módulo de entrenamiento resultará en un control más estable y preciso del nivel de agua, reduciendo las variaciones y mejorando la consistencia del proceso.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio

Pérez (2011) describe en la tesis “Control de tanques acoplados” desarrollada en la escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, de España; un método de control y supervisión de un tanque con una válvula de drenaje constante. Con las modificaciones de las acciones derivativas e integrales se consigue una buena respuesta en el control, teniendo en cuenta la variación constante del caudal, se podría mejorar aún más el proceso. En este proyecto se buscará controlar y supervisar el nivel de líquido en uno de los tanques de la maqueta de tanques acoplados CE105, que está disponible en el laboratorio de automática de su Universidad. Este tanque específico está equipado con una válvula de drenaje, y se utilizará el lenguaje de programación LabVIEW con el objetivo de explorar en detalle los aspectos asociados al control del nivel en un sistema de tanques. Como conclusión, se evidencia una significativa reducción en el tiempo dedicado a tareas específicas. Se destaca la mayor comprensión y destreza en el manejo de herramientas como LabVIEW y Matlab, así como una mayor eficiencia en la resolución de problemas técnicos, especialmente relacionados con el hardware utilizado. Además, se señala la posibilidad de mejorar aspectos específicos del sistema, como la velocidad de respuesta del algoritmo de control y la implementación de nuevas tecnologías, lo que sugeriría un enfoque más ágil y eficaz en proyectos futuros similares. Una forma de mejorar la investigación y el estudio realizado es el cambio de la bomba usada en el módulo implementado, ya que se observa que el caudal de la bomba no es constante y afecta negativamente a la estabilidad del proceso. En el proceso de simulación se observa que se usan válvulas manuales al inferior del tanque ajustadas en una posición exacta para obtener la recta del proceso, y que con cualquier variación cambia la recta por lo tanto los valores de sintonía, por lo que se podría usar válvulas eléctricas para un valor exacto en el proceso de hallar la curva de reacción. La válvula nos da la posibilidad de ser controlada manualmente por el usuario usando una consiga 0 – 5 (completamente cerrada – completamente abierta) aumentando o implementando el algoritmo.

Richmond (2009), describe en el proyecto de tesis “Diseño y construcción de una interfaz de control de nivel, temperatura y flujo de agua en un tanque para uso en prácticas de laboratorio” desarrollada en la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica, Costa Rica; el diseño y construcción de una interfaz para controlar el nivel, temperatura y flujo de un tanque de 12 litros, para complementar la teoría del curso “Control e instrumentación de procesos” dictado en su centro de

estudios. La metodología incluye la utilización del tanque con una bomba centrífuga para recirculación y control de temperatura. Se implementan sensores de flujo, presión y temperatura. El control automático se realiza mediante un computador personal con el sistema operativo Windows XP. La comunicación se establece a través de un conjunto transmisor y acondicionadores de señales. Richmond concluye que se logró la implementación de la interfaz para el control de procesos de nivel, temperatura y flujo, para uso académico, se logró un funcionamiento aceptable de cada componente del equipo, excepto por las trabas en las válvulas proporcionales de solenoide, especialmente durante cambios rápidos en la salida del controlador. Las vibraciones en el soporte generan ruido en el sensor de nivel, afectando la estabilidad del sistema. La aplicación de un filtro digital y un intervalo de control mayor mejora significativamente los resultados.

Solorzano y Aranibar (2017), desarrollan en la tesis “Diseño e implementación de un módulo de control de temperatura, empleando el controlador lógico programable Allen Bradley Compactlogix 1769-I23e-qbfc1b, para estudio de control proporcional integral y derivativo (PID)” de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna, Perú; el diseño e implementación de un módulo de control de temperatura utilizando el PLC Allen Bradley CompactLogix utilizando el control proporcional, integral y derivativo (PID), donde además del control del proceso, integran una plataforma de supervisión usando el software de fabricante, que facilita la implementación y toma de datos, además que brinda una opción favorable al operador para manipular las variables durante el proceso. Como conclusiones, se logró verificar la operatividad del módulo de control de temperatura y monitorear los parámetros del sistema a través de la plataforma RSView 32. La plataforma permitió también la simulación del proceso, la integración exitosa de la plataforma de control CompactLogix con la red EtherNet/IP y la plataforma de supervisión RSView 32 facilitó la implementación del módulo de control de temperatura. Durante la operativización del sistema de control, se confirmó el correcto funcionamiento del controlador en un entorno amigable para el operador.

2.2. Bases Teóricas

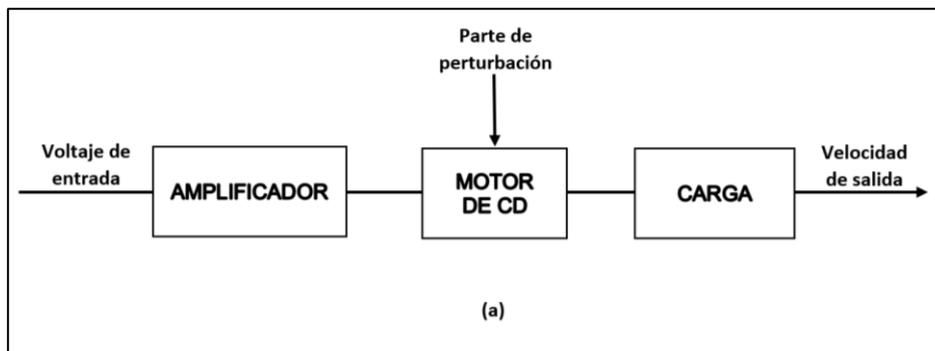
2.2.1. Diagrama de Bloques

Los diagramas de bloques son utilizados para representar (modelar) sistemas de control. Con los diagramas de bloques se puede explicar la composición de un sistema.

Por ejemplo, en la Figura 1 se observa como un diagrama de bloques modela un sistema de control de velocidad de un motor.

Figura 1

Diagrama de bloques de un sistema



Nota. Diagrama de bloques de un sistema de control de un motor CD. Tomado de (Kuo, 1996).

Esta imagen representa como se conectan los componentes del sistema, sin poner detalles matemáticos.

2.2.2. Sistema de Control

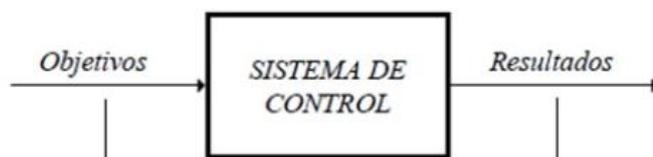
2.2.2.1. Componentes Básicos de un Sistema de Control

Un sistema de control básico tiene objetivos identificados como “entradas” (señales actuantes), “salidas” (variables controladas). Para lo general un sistema de control es para controlar salidas por medio de entradas a través del bloque del sistema de control (Kuo, 1996).

La Figura 2 representa un sistema básico de control.

Figura 2

Control básico de un sistema



Nota. Componentes básicos de un sistema de control. Tomado de (Kuo, 1996).

2.2.2.2. Sistema de Control Lazo Abierto

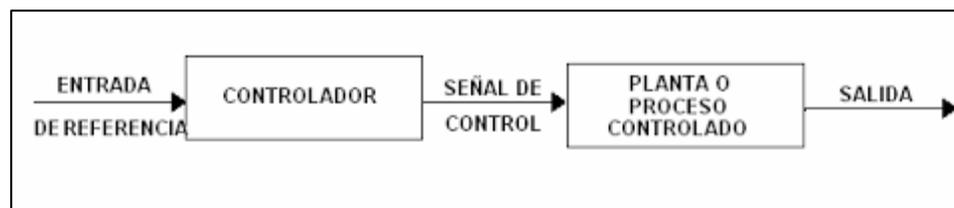
Elementos de control de un sistema de lazo abierto o también denominada sistema no realimentado se caracteriza por tener dos partes: el “controlador” y el “proceso controlado”. Se entiende que una señal de entrada ingresa al controlador y la salida es una señal controlada por el proceso controlado (Kuo, 1996).

De esta manera la señal controlada es determinada por los parámetros establecidos de acuerdo con la necesidad de la aplicación. En palabras sencillas; el sistema no va a comparar la salida con la señal de entrada, solo actúa ante un valor entrada controlado (Kuo, 1996).

En la Figura 3 se demuestra un sistema de lazo abierto.

Figura 3

Sistema de control lazo abierto



Nota. Elementos de un sistema de control en lazo abierto. Tomado de (Kuo, 1996).

2.2.2.3. Sistema de Control Lazo Cerrado

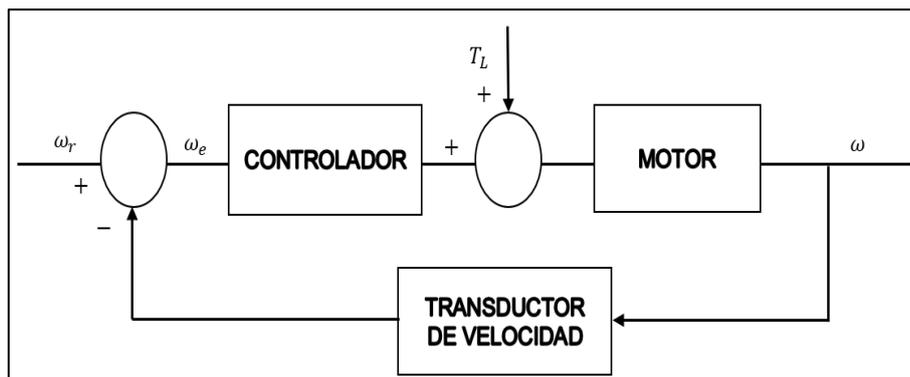
Los sistemas de lazo abierto no son precisos en un sistema de control, por lo que se necesita una realimentación que de la señal de salida a la de entrada del sistema. Por ello la señal de realimentada es comparada con la señal de entrada de referencia. Por eso el error del sistema es corregido con una señal actuante proporcional a la diferencia de la entrada y salida (Kuo, 1996).

En palabras sencillas el sistema de lazo cerrado continuamente compara el error dado por protuberancias exteriores y es comparado con la señal de entrada o SetPoint.

La Figura 4 muestra un sistema de control de lazo cerrado.

Figura 4

Sistema de control de lazo cerrado



Nota. Diagrama de bloques de un sistema de control de velocidad en lazo cerrado. Tomado de (Kuo, 1996).

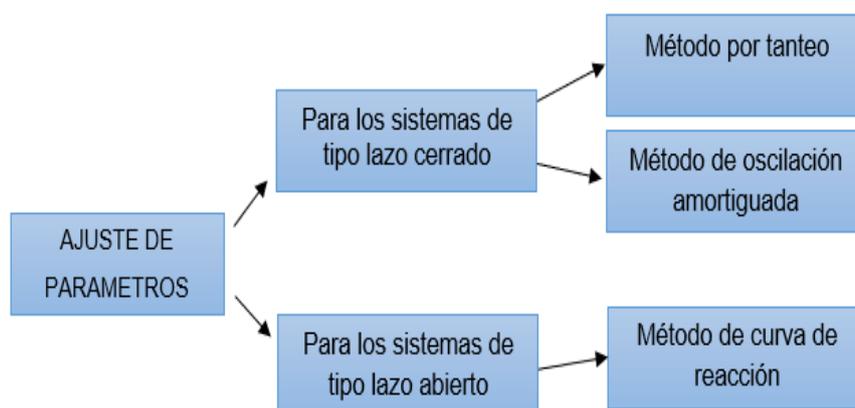
2.2.3. Concepto de Sintonización

Se debe tener en cuenta que la sintonización de controladores de cualquier tipo de proceso industrial es la estabilidad del sistema ante perturbaciones, la característica es la estabilidad del control donde la variable a controlar tiene que regresar al valor deseado.

Existen diferentes métodos de sintonización de controladores como las mencionadas en la Figura 5.

Figura 5

Descripción de parámetros PID



Nota. Cuadro conceptual de parámetros PID. Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que para sintonizar un controlador se debe hacer estudios experimentales y se hacen de acuerdo con la respuesta obtenida de diferentes tipos de sistemas.

2.2.4. Métodos de Control

2.2.4.1. Control Proporcional (P)

El control proporcional a pesar de ser un sistema de lazo cerrado no hace una corrección final. Se basa en tomar la posición de todo o nada. Sin embargo, tiene un rango de posibles valores que son proporcionales a la salida ósea al error. En pocas palabras la entrada va a ser proporcional a la salida (Maloney, T.,2006).

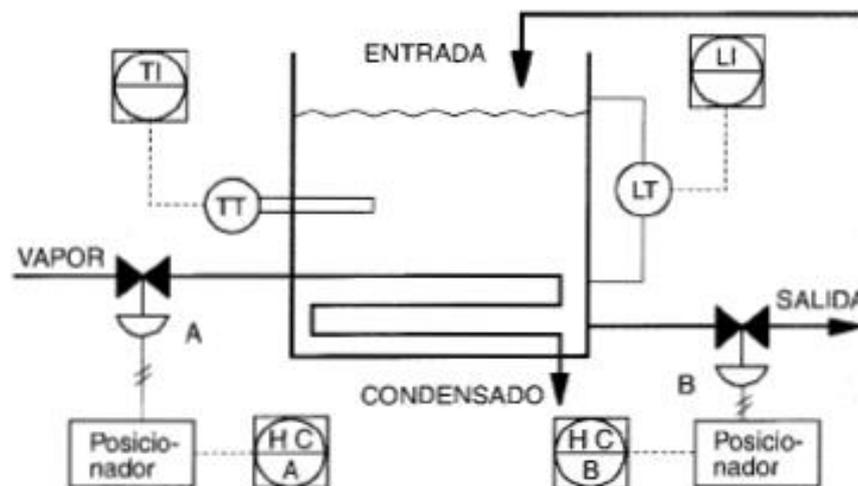
$$M(t) = Kc * e(t) + B \quad (1)$$

- M salida del controlador
- Kc ganancia del modo proporcional
- e error (la diferencia entre el valor medido y deseado)
- B factor de valor de ajuste

Para entender un ejemplo de control proporcional; supongamos la existencia del proceso donde el tanque tiene un caudal de entrada como variable de líquido. Se tiene que calentar ese líquido hasta la temperatura ideal deseada. El calentado del líquido se dispone de vapor de agua que circula por la parte inferior del depósito de agua como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Proceso de control de temperatura de un líquido



Nota. Diagrama esquemático para el control de temperatura de un líquido. Tomado de (Acedo, 2003).

Viendo el proceso que la energía entra y sale como un balance, se da a entender que se tiene un control de proceso amortiguado para mantener el caudal (variable) lo más estable. Se supone que el balance de la entrada de caudal de vapor sea igual a la salida de caudal de vapor, donde la cantidad ideal de vapor mantiene la temperatura del líquido en 100C° (Acedo, 2003).

Para conseguir un estado estacionario se tiene que fijar un caudal de vapor estable que tienda a mantener la temperatura en setpoint (100C°). Teniendo un caudal medio de vapor establecido solo se tiene que aumentar o disminuir el error que viene a ser el caudal de vapor. El concepto de control proporcional establece que se tiene una proporción con la variable y setpoint del proceso por medio de las acciones correctivas de la válvula (Acedo, 2003).

De manera matemática para determinar la ganancia proporcional del control descrito se expresaría de esta manera:

$$V = Kp * E + M \quad (2)$$

Sabiendo:

- Kp = ganancia proporcional
- M = posición de válvula cuando el error es cero

2.2.4.2. Control proporcional, integral y derivativa (PID)

Si combinamos el control proporcional, integral y derivativa para tener una mejor sintonía del proceso. Esto se debe gracias a la combinación de las ventajas de cada método de control y despreciar las desventajas que presentan de manera individual (Acedo, 2003).

$$M = Kce + Ki \int edt + Kd \frac{de}{dt} \quad (3)$$

Con la ecuación anterior es aplicada cuando queremos hacer cambios rápidos a valor de entrada, es decir el SetPoint.

a. Método de Ziegler-Nichols

El método de Ziegler-Nichols es una técnica clásica para sintonizar controladores proporcionales e integrales (PI) y proporcionales, integrales y derivativos (PID) en

sistemas de control. Este método utiliza la respuesta al escalón unitario de un sistema para determinar los parámetros óptimos del controlador (Martinez et al., 2017).

Donde la ecuación a trabajar se define como:

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad (4)$$

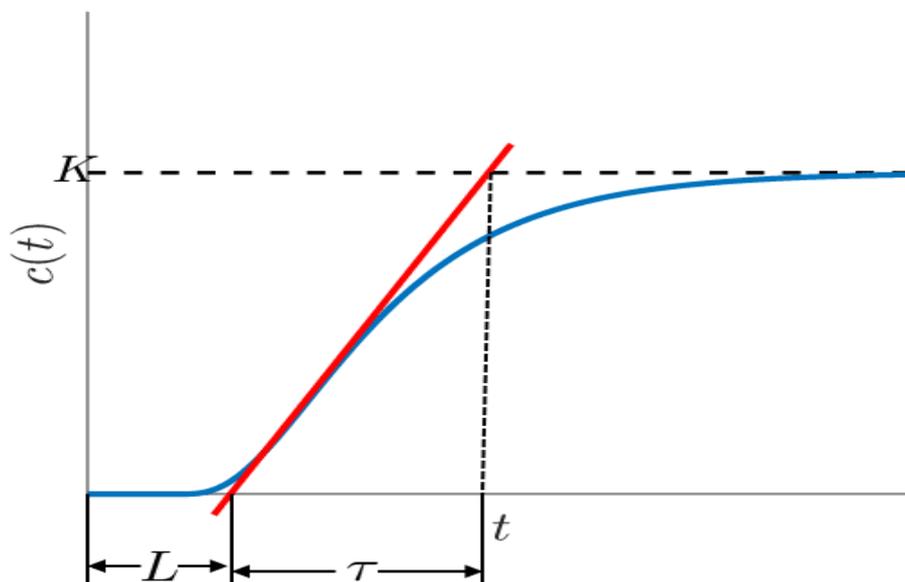
Donde:

- K: Ganancia
- τ : Constante de tiempo
- L: Retardo de tiempo

Que para hallar estos valores se somete el sistema como ya se explicó, a un escalón unitario, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Análisis del sistema con un escalón unitario



Nota. Gráfico de un sistema aproximado a uno de primer orden, respuesta a escalón unitario. Tomado de (Castaño, 2019).

Donde se evalúa la ganancia, el tiempo perdido que es la distancia a la tangente en el punto de inflexión, y por último la constante de tiempo que es la intersección de la ganancia del sistema con la línea tangente (Castaño, 2019).

Cuando se tienen estos valores se pueden calcular los controladores PID, donde solo se reemplazaría los valores ya definidos para poder hallar las constantes proporcional, derivativa e integrativa (Castaño, 2019).

Tabla 1

*Valores de las constantes para el control PID
método Reacción de la Curva*

Control	K_p	τ_i	τ_d
P	$\frac{\tau}{KL}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{\tau}{KL}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{\tau}{KL}$	2L	0,5L

Nota. Parámetros de control PID. Tomado de (Castaño, 2019).

En el caso de usar PID solo se despeja las tres fórmulas:

Control proporcional:

$$K_p = \frac{\tau}{KL} \quad (5)$$

Control Integrativo:

$$\tau_i = 2L \quad (6)$$

Control derivativo:

$$\tau_d = 0.5L \quad (7)$$

Donde:

- K_p : Control proporcional
- τ : Constante de tiempo
- τ_i : Control integrativo
- τ_d : Control derivativo
- K : Ganancia
- L : Retardo de tiempo

Con los parámetros calculados, se conecta el controlador proporcional, integral y derivativo y se realiza ajustes según sea necesario. Este método proporciona una

sintonización inicial que suele necesitar ajustes adicionales para adaptarse a las características específicas del sistema y los requisitos de rendimiento (Castaño, 2019).

El método de Ziegler-Nichols resulta ser muy agresivo muchas veces al aplicarse en la práctica, por ello los valores que este genera sirven como un punto de partida donde se modificarán hasta obtener el valor deseado teniendo en cuenta los valores hallados. Muchas veces para mejorar la respuesta del sistema, deberemos disminuir la ganancia del controlador, una práctica común es dividir $K_p/2$, para obtener una respuesta más suave (Castaño, 2019).

2.2.5. Tipos de sensores

Los sensores son dispositivos que detectan y señalan una condición de cambio. De manera de detección discreta puede ser la presencia o ausencia de un material. De manera analógica se pueden medir distancia, calor, nivel entre otros. Los sensores son los medios de comunicación entre la parte física y los sistemas de control (Gutiérrez & Iturrrable, 2017).

Se tiene que considerar las siguientes características en los sensores:

SN o Distancia de máxima conmutación: Para designar un sensor en una aplicación se debe definir la distancia nominal y la distancia efectiva (Gutiérrez & Iturrrable, 2017).

Distancia nominal de detección: La distancia nominal se refiere a los parámetros de operación ya calculados por el usuario, estos parámetros se basan de acuerdo con las estandarizaciones o condiciones de la aplicación a usar (Gutiérrez & Iturrrable, 2017).

Distancia efectiva de detección: Por defecto los sensores ya tienen establecido sus parámetros de detección de fábrica para sus determinadas aplicaciones de uso. Estas distancias son valores acercado a los valores nominales. También se debe considerar otros tipos de términos al momento de seleccionar un sensor, estos parámetros nominales son: Repetibilidad, frecuencia de conmutación e histéresis (Gutiérrez & Iturrrable, 2017).

Histéresis: también denominado el desplazamiento diferencial del sensor, son los valores máximos indicados por el instrumento. Ejemplo un sensor de nivel ultrasónico tiene por defecto de una medición de 3 metros de distancia máxima hacia el líquido a medir y 0,5 metros es la mínima, donde tenemos una zona muerta que va

desde 0 a 0,5 metros. Y los valores medidos en dicha zona son de manera aleatorio o simplemente no medirá nada (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

Repetibilidad: se trata de la capacidad del instrumento o sensor de detectar el mismo medio físico u objeto a la misma distancia nominal. Basado voltaje eléctrico o amperaje (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

Frecuencia de conmutación/respuesta: es la frecuencia en el cual un sensor se demora medir la magnitud física, es la velocidad en el cual esta demora en convertir una magnitud física a señales eléctricas (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

2.2.5.1. *Sensor de presión*

Este tipo de sensor o transductores de presión, la magnitud física de presión que miden los convierte en magnitudes o señales eléctricas, que estos serán entradas analógicas en los equipos de automatización (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

Para los rangos de medida se tiene una precisión y protección, tiene una variedad de transductores de presión que utilizan diferentes tecnologías, que permite la adaptación a las necesidades del proceso (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

La Figura 8 muestra un sensor de presión analógica y la Figura 9 muestra un sensor de presión digital.

Figura 8

Sensor de presión analógica



Nota. Cómo seleccionar el mejor sensor de presión para su aplicación. Tomado de (Jalloul, 2024).

Figura 9

Manómetro digital



Nota. Sensor o transmisor digital tipo conector. Tomado de (Dectronic, 2023)

2.2.5.2. Sensor de Flujo

Estos sensores de flujo están diseñados para la función de medir la velocidad de fluidos. Este tipo de sensor van implementados en la canalización de tuberías para determinar si hay circulación de gas o un fluido, en otras palabras, no miden el caudal si no que indican la presencia de materiales en circulación o no. Hay una variedad de aplicaciones donde las más típicas son la de detectar flujo de aceite en sistemas hidráulicos, calefacción entre otros (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

La instalación de sensores de flujo de procesos y operaciones para medir flujo medios líquidos. Las aplicaciones industriales por lo general necesitan un sensor con una sensibilidad de medición exacta (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

La figura 10 muestra un sensor de flujo tipo turbina y la Figura 11 muestra un sensor de flujo tipo ultrasónico.

Figura 10

Sensor de flujo tipo turbina.



Nota. Sensor de flujo basado en el uso de piezas rotantes Turbina con dpi de 20. Tomado de (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

Figura 11

Sensor de flujo tipo ultrasónico



Nota. Sensor de flujo basado en la propagación de ondas. Tomado de (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

2.2.5.3. Sensor de Temperatura

La temperatura es una magnitud que puede ser medida con un termómetro. La temperatura en física es definida como una magnitud escalar por la relación de energía cinética interna que produce un sistema termodinámico. La energía es el movimiento de las partículas del sistema (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

La Figura 12 muestra un sensor de temperatura tipo RTD, la Figura 13 un sensor de temperatura tipo termistor y la Figura 14 un sensor de temperatura tipo infrarrojo.

Figura 12

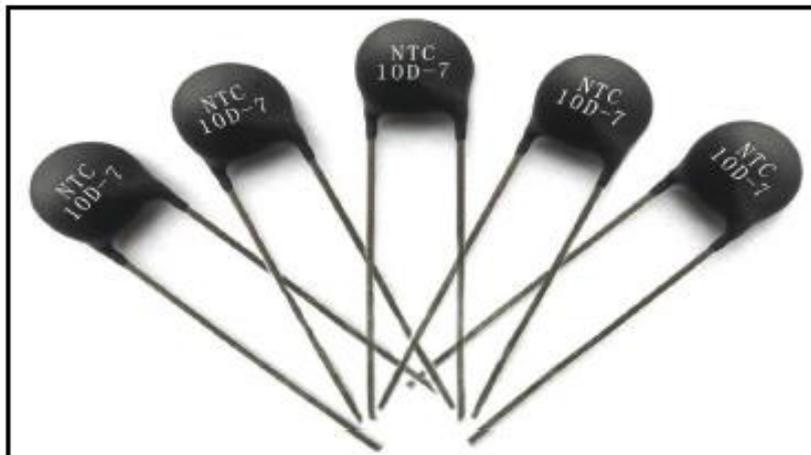
Sensor de Temperatura tipo RTD



Nota. Sensor basado en la variación de una resistencia de temperatura. Tomado de (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

Figura 13

Sensor de temperatura tipo termistor



Nota. Sensor de temperatura basado en la variación de resistividad del semiconductor. Tomado de (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

Figura 14

Sensor de temperatura tipo infrarrojo



Nota. Sensor mide la radiación térmica de la superficie. Tomado de (Gutiérrez & Iturrale, 2017).

2.2.5.4. Sensor de Nivel

Este tipo de transductores o sensores usados para monitorear niveles de fluidos de acuerdo con el nivel determinado. Las aplicaciones comunes donde son usados son los sistemas de bombeo, sistemas de irrigación entre otros. Estos dispositivos trabajan midiendo de manera directa la altura teniendo una línea referencia, ya sea la presión hidrostática, desplazamiento del flotador por el líquido depositado en el tanque. (Gutiérrez & Iturrale, 2017) .

La Figura 15 muestra un sensor de nivel del tipo flotador y la Figura 16 muestra un sensor de nivel tipo burbujeo.

Figura 15

Sensor de nivel tipo flotador



Nota: Sensor consiste en una conexión directamente en el nivel. Tomado de (Gutiérrez & Iturrale, 2017).

Figura 16

Sensor de nivel tipo burbujeo



Nota. Se utiliza un tubo sumergido para hacer burbujear aire en un líquido mediante un rotámetro con regulador de caudal. Tomado de (Gutiérrez & Iturrale, 2017).

El sensor de nivel tipo presión diferencial como se muestra en la Figura 17, es un diagrama en contacto. Hace una medición de la presión hidrostática en un punto inferior del tanque (Gutiérrez & Iturrale, 2017).

Figura 17

Sensor de nivel tipo de presión diferencial



Nota. Sensor usado por su versatilidad en aplicaciones industriales. Tomado de (Gutiérrez & Iturrale, 2017).

Como se muestra en la Figura 18 el tipo de sensor ultrasónico envía un impulso ultrasónico que se refleja mediante un eco que este depende del nivel del líquido del depósito. (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

Figura 18

Sensor de nivel tipo ultrasónico



Nota. Sensor basado en emisión de impulso ultrasónico. Tomado de (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

Sensor de nivel de agua por presión: El Sensor de Nivel de Agua por Presión está diseñado para medir con precisión el nivel de agua en diversos entornos. Este sensor utiliza elementos sensibles a la presión llamados diafragmas aislados de material piezorresistivo y llenos de aceite de silicona. Estos elementos miden la profundidad del nivel del líquido de manera proporcional a la presión del líquido. Luego, se transforma esta medición en una señal de salida estándar mediante un circuito de procesamiento de señales, utilizando un modelo matemático que tiene en cuenta las relaciones entre la presión del líquido medido, la densidad y el nivel del líquido. Necesita fuente de alimentación continua de 12V-30V, este sensor utiliza la tecnología de presión para proporcionar lecturas confiables y exactas. La salida que brinda es en el estándar RS485 que genera una solución robusta para poder transmitir datos en largas distancias y en entornos ruidosos (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

Con un rango de medición predeterminado de 5 metros y una precisión del 0.1%, este sensor demuestra ser muy confiable. La resolución fina de 1 mm permite una

detección precisa de cambios en el nivel del agua, brindando datos cruciales para la gestión eficiente de recursos hídricos (Gutiérrez & Iturrable, 2017).

Tabla 2

Características del sensor de nivel por presión

Sensor de nivel de agua por presión	
Fuente de alimentación	DC 12V-30V (24V recomendable)
Corriente operativa	≤ 3 mA
Salida	RS485
Rango de medición mínimo	5 m.
Rango de medición	0-200m
Exactitud	+0.5%
Temperatura de operación	-20°C a 50°C
Resolución	1 mm;
Máximo alcance	200 m
Vida útil	1-2 años

Tomado de (XIDIBEI Sensor & Control, 2023).

La Figura 19 muestra un sensor de nivel por Presión.

Figura 19

Sensor de nivel por presión



Nota: Sensor de nivel con salida de datos en RS485 que puede llegar a medir hasta 200m. Tomado por (XIDIBEI Sensor & Control, 2023).

2.2.6. Controlador Lógico Programable (PLC)

Definición: Definimos PLC a una máquina electrónica, diseñadas para el control de dispositivos y procesos en tiempo real en un entorno industrial. La principal función del PLC en un sistema de control es formar un bloque de control integrando las señales y las interfases del proceso, y controlarlas o programarlas remotamente por el usuario (Reyes, 2012).

Tabla 3

Ventajas de los PLC's

Característica	Descripción
Mayor confiabilidad	Los PLC pasan por un control de calidad estandarizado, lo cual los hace altamente confiables.
Compactos	Los PLC ocupan un menor espacio en los tableros de control, que los dispositivos convencionales como contactores, borneras, timers, etc.
Versátil y reducción de costos	Para cualquier cambio en el proceso, podemos modificar los programas, sin añadir componentes. Los costos de mantenimiento del PLC son reducidos.

TABLA 3 (continuación)

Característica	Descripción
Uso eficiente de energía	Poseen una tecnología electrónica que es de bajo consumo energético, ya que funcionan ininterrumpidamente.
Fácil instalación	Son fácilmente fijados en tableros de control, donde se conectan directamente a módulos IO, sensores, actuadores, etc.
Diagnóstico de fallas ininterrumpido	Tanto en hardware como en software los PLC monitorean de manera constante cualquier falla
Compatibles con múltiples dispositivos de control	Los PLC tienen la posibilidad de integrar dispositivos de diferentes marcas.
Integración en redes industriales	Pueden conectarse a redes industriales para comunicación entre controladores, lo que permite integrarlos en sistemas de supervisión industriales

Tomado de (Reyes, 2012).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Sintonizador PID

Es un método de control en sistemas retroalimentados que combina control proporcional, integral y derivativo para minimizar errores entre el valor deseado y el medido (Ogata, 2010).

2.3.2. Control proporcional

Multiplica el error por una constante para reducirlo, evitando sobre oscilaciones mayores al 30% mediante ajustes lineales sin considerar el tiempo (Ogata, 2010).

2.3.3. Control Integral

Reduce errores acumulativos de estado estacionario al integrar la desviación en el tiempo, sumándola a la acción proporcional (Ogata, 2010).

2.3.4. Control derivativo

Reacciona a cambios rápidos en el error, corrigiéndolos rápidamente, aunque es sensible al ruido y menos usado en procesos complejos (Kuo, 1996).

2.3.5. Control de procesos

Automatiza variables dinámicas como presión o temperatura, optimizando el desempeño y reduciendo riesgos y costos industriales (Ogata, 2010).

2.3.6. Medición de nivel

Determina la profundidad de líquidos o sólidos en contenedores, frecuentemente usando sensores ultrasónicos basados en reflexión de ondas (Garza y otros, 2017).

2.3.7. PLC

Controladores programables que automatizan procesos mediante entradas/salidas, monitoreo remoto y manejo de datos con programación personalizada (Reyes, 2012).

2.3.8. Sensor

Dispositivo que mide variables físicas, transformándolas en señales eléctricas interpretables por un controlador para su procesamiento (XIDIBEI Sensor & Control, 2023).

2.3.9. Lenguaje de Programación

Herramienta para diseñar aplicaciones y automatizar procesos industriales en PLC mediante distintos formatos como Ladder o bloques (Reyes, 2012).

2.3.10. Comunicación Industrial

Conexión entre dispositivos a través de protocolos como Modbus o Profinet para intercambiar y controlar datos en sistemas automatizados (Pardo & Toro, 2015).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

La investigación se basa en el desarrollo aplicado del control automatizado de un proceso de nivel. Este tipo de investigación se fundamenta en teorías o métodos previos para abordar problemas existentes, proporcionando una investigación centrada en problemas prácticos. La investigación aplicada se dirige a comprender las necesidades relacionadas con el problema que se está investigando desde una perspectiva experimental, proponiendo soluciones previas al problema que pueden implementarse como parte de la resolución de algún fenómeno. <<La investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad>> (Cordero & Rosa, 2009).

3.1.1. Requerimientos del proceso

Descripción del proceso de control de nivel. Un sistema de control de nivel está compuesto por un sensor, un controlador, una válvula proporcional, una bomba de agua.

3.1.2. Diseño conceptual

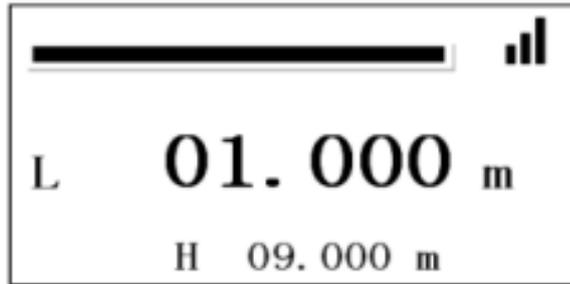
3.1.2.1. Medidor de nivel ultrasónico de cuatro hilos

a. Calibración

Cuando se esté poniendo en marcha este medidor, solo se requieren los siguientes pasos para una calibración rápida del instrumento. Cuando el instrumento esté encendido, este entra en estado de medición y muestra el valor de nivel líquido.

Figura 20

Pantalla de medición del sensor



Nota: Pantalla de parámetros del Sensor de Nivel. Tomado del (Mandatory Manual).

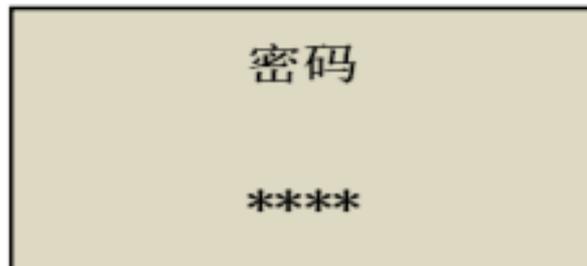
Como se ve en la Figura 20, indica que el nivel del líquido medido L es 1.000m y la distancia H es de 9.000m. El método de calibración se describe de la siguiente manera.

Se presiona la combinación de las teclas [SET] + [OK], donde el instrumento entra en la configuración de parámetros. En ese punto el curso está ubicado en “Gestión de usuarios”, le damos al [OK] y nos manda a la pantalla de contraseña.

La Figura 21 muestra la pantalla de contraseña que muestra el sensor.

Figura 21

Pantalla de contraseña



Nota: Password para ingresar a configuraciones del Sensor de Nivel. Tomado de (Mandatory Manual).

Ponemos la contraseña a “1xxx” y presionamos el [OK] para ingresar al menú de administración de usuarios. Luego nos movemos con el cursor hacia “Configuración de calibración” y le damos [OK].

Movemos el cursor hacia “Ajustes de altura”, ingresamos a los ajustes con [OK]. Ahora este valor de calibración es el valor de la distancia vertical desde la superficie de la sonda del sensor ultrasónico de nivel de líquido hasta el fondo del tanque.

Ese valor es el total de la altura. La distancia vertical desde la superficie de la sonda del sensor hasta el fondo del tanque o depósito es de 70 cm que es en nuestro módulo.

Mantenemos pulsado a la combinación [SET] + [OK] para salir de la calibración configurada y ver la medición de la pantalla.

Descripción general: El instrumento tiene una nueva tecnología de procesamiento de señales, con las características de seguridad, limpieza, alta precisión, larga vida útil, estabilidad y confiabilidad, instalación conveniente, mantenimiento y lectura sencilla. Es ampliamente utilizado en petróleo, industria química, agua tratada, conservación de agua, acero, minas de carbón, energía eléctrica y entre otros. Se puede conectar a varias marcas de sistemas PLCs o sistemas de control secundarios a través de 4-20mA para proporcionar nivel de líquido en tiempo real los datos para la automatización industrial.

b. Características

Alta precisión: la tecnología inteligente acústica mejora en gran medida la Precisión del medidor de nivel ultrasónico, la precisión del nivel de líquido alcanza $\pm 0,3\%$ y tiene la función anti interferencias de campo. Baja tasa de fallas, fácil instalación y mantenimiento: este instrumento es un instrumento sin contacto y no tiene contacto directo con líquidos. Por lo tanto, la tasa de fracaso es baja. La instrumentación proporciona una variedad de métodos de instalación y se puede calibrar completamente a través del manual.

Protección múltiple: el nivel de protección del instrumento alcanza IP65; las partes del circuito tienen la función de protección de aislamiento, respectivamente, para evitar cortocircuitos, rayos y otros daños a todo el conjunto de instrumentos.

c. Indicadores técnicos

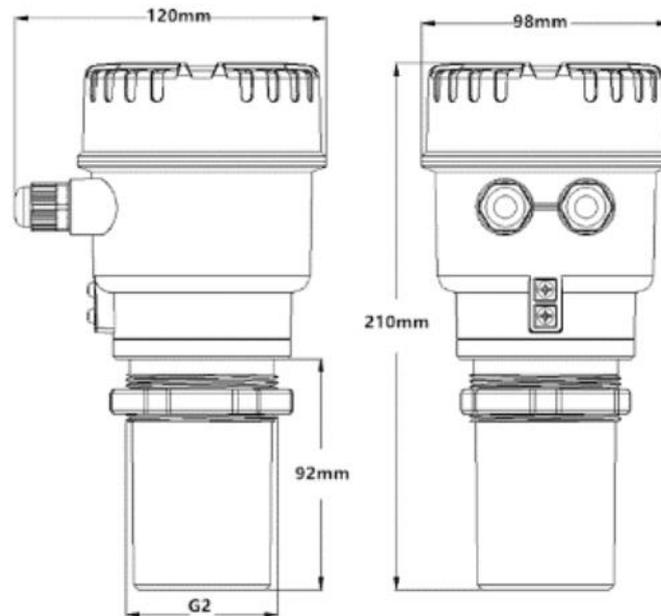
- Rango de medición: 0-3 m
- Área ciega: 0,35m ~ 0,5m
- Precisión de rango: 0,5%
- Voltaje de la fuente de alimentación: DC24V
- Pantalla principal: pantalla LCD (resolución 1 mm)
- Salida analógica: 4 ~ 20 mA (salida de relé de 1-2 circuitos opcional)
- Resistencia a la presión del sensor: < 0.1MPa; IP65

- Salida digital: acuerdo RS 485 (Modbus)
- Temperatura ambiente: -40 °C ~ 80 °C

La Figura 22 muestra las dimensiones del sensor ultrasónico.

Figura 22

Dimensiones del instrumento



Tomado de (Mandatory Manual).

d. Principios de instalación del Instrumento

- La distancia desde la superficie transmisora del transductor hasta el nivel de líquido más bajo será menor que el rango del instrumento opcional.
- La distancia desde la superficie transmisora del transductor hasta el nivel de líquido más alto será mayor que el área ciega del instrumento seleccionado.
- La superficie emisora del transductor debe ser paralela a la superficie del líquido.
- Si la distancia desde la superficie de emisión del transductor hasta el nivel de líquido más alto es menor que el área ciega del instrumento seleccionado, se debe agregar un tubo de extensión.

e. Precauciones de Instalación

- La caja del instrumento debe estar conectada a tierra de manera confiable.

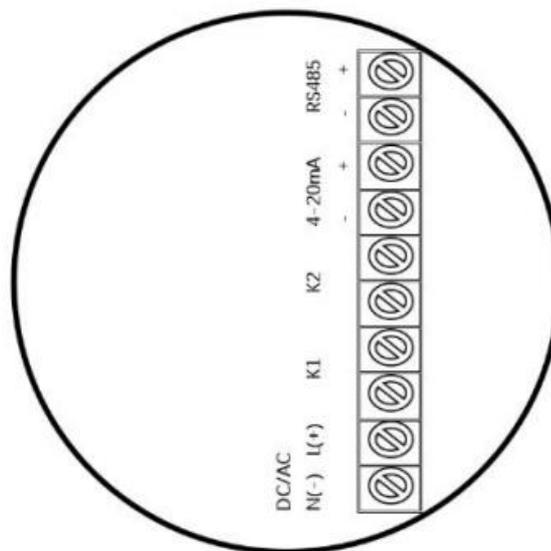
- Cable, tubo de protección del cable, prestar atención para evitar el exceso de agua.
- Cuando el instrumento se utiliza en un lugar particularmente cálido y frío, es decir, la ambiente temperatura puede exceder o ser inferior a la temperatura ambiente del instrumento en condiciones normales uso, es necesario agregar dispositivos de alta y baja temperatura al instrumento para evitar el instrumento envejezca por adelantado y afecte el uso normal.

f. Cableado de Instrumentos

Desatornille la placa de cableado de la caja de la pantalla LCD y vea el instrumento, como se muestra en la Figura 23.

Figura 23

Panel de cableado integrado del sensor



Tomado de (Mandatory Manual).

Tabla 4

Descripción de panel de cableado

Explicación	Terminales	Explicación	Terminales
Suministro de energía al instrumento	L (+), N (-) DC	Salida de Relay	K1, K2 (dos vías opcionales)
RS 485	RS 485 (+, -)	Salida analógica	No estándar 4-20mA (+,-)

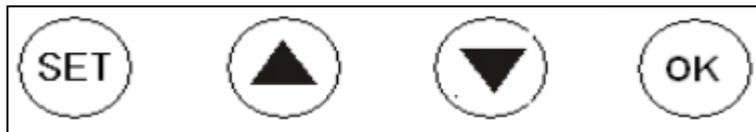
Tomado de (Mandatory Manual).

g. Instrucciones de funcionamiento del instrumento

Teclado de instrumento: La composición estructural se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Botones del sensor para desplazarnos por el menú del sensor



Nota: Botones de Sensor de Nivel. Tomado de (Mandatory Manual).

Descripción de la tecla: durante el uso del instrumento, todas las operaciones se realizan principalmente mediante teclas. Incluye la configuración, depuración y calibración de la máquina. El teclado está compuesto por 4 llaves. El teclado se describe de la siguiente manera:

[SET] : Tecla de ajuste/retorno. Cuando el instrumento está en funcionamiento normal, presione la combinación [SET] + [OK], la tecla puede ingresar al menú de configuración de parámetros; en el menú, presione esta tecla para salir del menú en el mismo nivel y volver al menú anterior.

[▲] : Tecla Arriba y Añadir. En el menú, esta tecla se usa como tecla arriba; al cambiar los datos, esta tecla se utiliza como tecla de adición; al mismo tiempo, al cambiar los datos, presione [SET] + [▲] La tecla mueve el cursor hacia la izquierda.

[▼] : Voltar hacia abajo y restar teclas. En el menú, la tecla se utiliza como tecla de giro; al cambiar los datos, la clave se utiliza como clave de resta; y al cambiar los datos pulsar [SET] + [▼] La tecla mueve el cursor a la derecha.

[OK]: tecla Confirmar/Salir. En el menú, esta tecla se utiliza como tecla de confirmación; presione la combinación cuando se cambien todos los datos [SET] + tecla [OK] para salir de la configuración pantalla.

Para más detalles sobre las características del sensor ultrasónico de nivel, se puede visualizar en el Anexo 4 **“MANUAL DE USUARIO DE SENSOR ULTRASÓNICO”**.

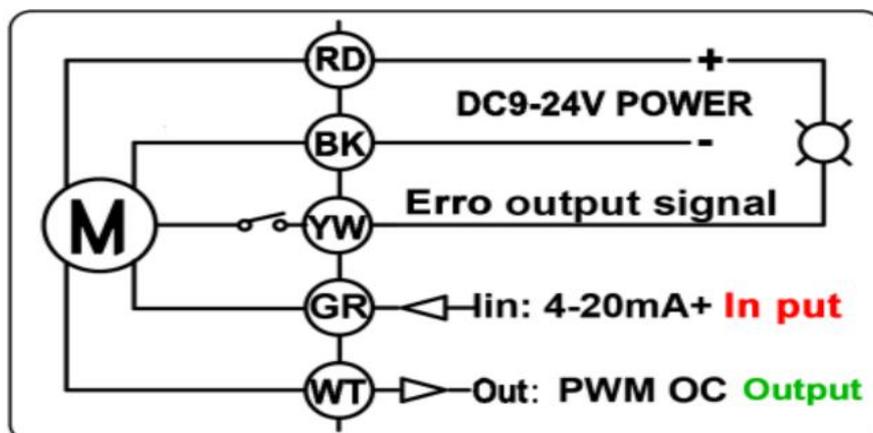
La Figura 25 muestra el sensor ultrasónico usado en el módulo de entrenamiento.

Figura 25*Sensor ultrasónico físico*

Nota. Imagen del sensor ultrasónico posicionado en la parte superior sobre el tanque donde se desea medir en nivel del agua. Elaboración propia [imagen].

3.1.2.1. Válvula proporcional

La Figura 26 muestra el diagrama de conexiones de la válvula proporcional 4-20 mA.

Figura 26*DataSheet de la válvula proporcional*

Nota: Diagrama de conexión de la válvula proporcional. Tomado de Manual de Válvula Proporcional.

Tabla 5*Datasheet de válvula proporcional*

PIN	DESCRIPCIÓN
RD	RD conecta con el positivo de la DC9-24V
BK	BK conectar DC9 – 24V (4-20mA, /0-5V/, V 0-10) negativo
GR	GR posición de conexión Entrada/corriente de control /voltaje de control +(4-20mA, /0-5V/, V 0-10)
YW	Conecta la luz LED YW entre (9-24V), cuando hay un error, la luz estará encendida.
WT	Retroalimentación de posición de conexión WT, señal PWM de salida OC

Tomado de Manual de Válvula Proporcional.

Especificaciones técnicas

- Tamaño del producto: 1/2 " (DN15)
- Rosca de válvula: BSP o NPT (opcional)
- Material del cuerpo de la válvula: latón/SS304 (opcional)
- Voltaje de funcionamiento: DC 9-24V
- Señal de control: 0-5V, 0-10V, 4-20mA (opcional)
- Posición: cualquier posición
- Tiempo de apertura/cierre: 7 segundos
- Tiempo de retardo del rotor bloqueado: 2-4 segundos
- Métodos de control de Cableado: 5 cables
- Presión máxima de trabajo: 1.0MPa
- Medio de circulación: fluido, aire
- Corriente de trabajo: 500mA
- Tiempo de vida: 100.000 veces
- Material del actuador: PPO
- Rotación del actuador: 90 °
- Fuerza de torsión máxima: 2 N.M
- Temperatura ambiente: -15 ° ~ 60 °
- Temperatura del líquido: 1 ° ~ 95 °
- Anulación manual: Ninguna
- Indicador de apertura/cierre: Sí
- Clase de protección: IP67

La figura 27 muestra la válvula proporcional usada en el módulo de entrenamiento.

Figura 27*Válvula proporcional 4-20mA*

Nota: Imagen de la válvula proporcional con el cual se regula el nivel de agua. Fuente Elaboración Propia [Imagen].

3.1.2.2. **Bomba de Agua**

Especificaciones técnicas:

- Ref: DP-521
- Voltaje: 12VDC
- Corriente: 2.0A
- Caudal MAX: 3.5L/min

La Figura 28 muestra la bomba de agua usada en el módulo de entrenamiento.

Figura 28*Bomba de agua*

Nota: Imagen de la bomba para el bombeo de agua al depósito. Fuente Elaboración Propia [Imagen].

3.1.2.3. **PLC SIEMENS S7 1200 1214 DC/DC/DC**

La Figura 29 muestra el PLC usado en el módulo de entrenamiento.

Figura 29

PLC SIEMENS S7 1200 – CPU 1214 DC/DC/DC



Nota: PLC Siemen S7-1200 con el cual se ejecuta la programación establecida en TIA Portal. Fuente Elaboración Propia [Imagen].

3.1.2.4. **Módulo de entradas y salidas analógicas SM 1234 AI4/AQ2**

La Figura 30 muestra el módulo de entradas y salidas analógicas usadas en el módulo de entrenamiento.

Figura 30

Módulo de entradas y salidas analógicas



Nota: PLC Siemen S7-1200, módulo de entradas y salidas analógicas. Fuente Elaboración Propia [Imagen].

3.1.3. Diseño de Detalle

Para el diseño del programa vamos a considerar los siguientes elementos:

- Sensor ultrasónico 4-20mA como transductor del sistema.
- Válvula proporcional 4-20mA como el actuador del sistema

3.1.3.1. Módulo de Control de Nivel

Para el armado del módulo consideramos un flujo constante de agua que en este caso nos lo brinda la bomba de agua.

Tendremos 2 tanques de agua, uno será el controlado que estará en el nivel superior y otro será usado como depósito y para realimentar el circuito.

El sensor ultrasónico será ubicado en el tanque superior, para su configuración se considera lo siguiente:

- Distancia configurada del sensor: 0.73m
- Distancia lectura 4mA: 0.018m
- Distancia lectura 20mA: 0.229m

La Figura 31 muestra la configuración del sensor ultrasónico.

Figura 31

Sensor ultrasónico configurado a 0.73m



Nota: Sensor ultrasónico configurado a la altura del proyecto. Fuente Elaboración Propia [Imagen].

- L nos indica el nivel de agua del tanque controlado
- H nos indica la distancia del sensor al nivel máximo de agua en el tanque controlado

La válvula proporcional estará ubicada en la parte inferior del tanque controlado y será activada de manera automática con la lectura del sensor ultrasónico mediante el control PID.

La Figura 32 muestra la válvula proporcional antes de ser instalada en el módulo de entrenamiento y la Figura 33 muestra el módulo de entrenamiento integrado con el sensor ultrasónico, la válvula proporcional y la bomba de agua.

Figura 32

Válvula proporcional 4-20mA



Nota. Válvula proporcional 4-20mA. Fuente: Elaboración Propia [Imagen].

Figura 33

Módulo de control de nivel PID



Nota: Módulo de Control de nivel Imagen Prototipo.
Fuente Elaboración Propia [Imagen].

Módulos usados en el diseño

- PLC SIEMENS 1200 REF 6ES7 214-1AG31-0XB0
- Módulo de entradas y salidas analógicas SM1234 AI4/AQ2 REF 6ES7 234-4HE32-0XB0
- Fuente de alimentación SIEMENS 24V estable
- Se realizará la programación en el Software propio de SIEMENS TIA Portal V15.

3.2. Acciones y actividades

Actividades realizadas para desarrollar la tesis:

- Elaboración de plan de tesis
- Dimensionar dispositivos a requerir
- Diseño del modulo
- Adquisición de materiales

3.3. Materiales y/o instrumentos

Para proceder con el diseño del módulo sintonizador se ha utilizado los siguientes materiales.

- SIMATIC S7-1200-1214-DC/DC/DC/
- SIMATIC S7-1200, SM 1234 AI/AQ
- Sensor Ultrasónico Level Meter 24VDC, 4-20mA
- Válvula proporcional 24VDC, 4-20mA
- Fuente de alimentación, MOTTECH LPS-305
- Software TIA portal V15

Los materiales listados fueron usados con el propósito de realizar la sintonización de nivel y para la obtención de los datos requeridos de la sintonización.

3.4. Operacionalización de variables

La Tabla 6 muestra la operacionalización de variables.

3.4.1. Variable Dependiente

Control de nivel (variable cuantitativa continua) El control de nivel generalmente implica el uso de dispositivos y sistemas automatizados para medir continuamente el nivel del líquido y ajustar automáticamente los elementos de control, como válvulas o bombas, para mantener el nivel deseado.

3.4.2. Variable Independiente

Sintonización (variable cuantitativa): Es el proceso de ajustar los parámetros de un controlador para obtener un rendimiento óptimo del sistema. En el caso de un controlador PID, la sintonización implica ajustar los coeficientes proporcional, integral y derivativo para lograr una respuesta deseada.

Tabla 6

Tabla de operacionalización de variable

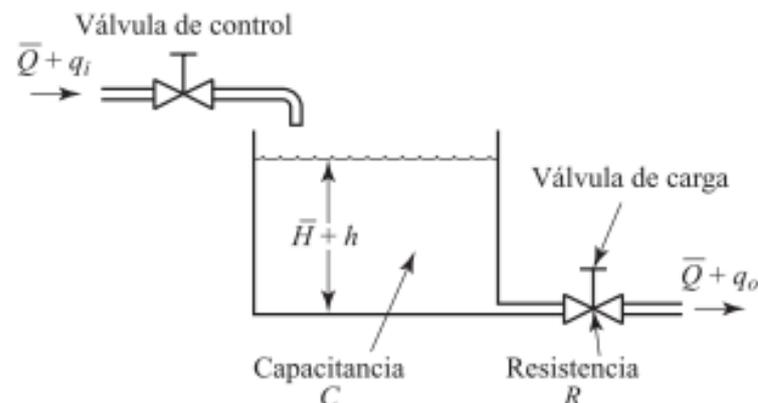
Variable	Tipo de variable	Definición conceptual	Indicadores
Variable Dependiente Control de nivel	Variable cuantitativa continua	Es el error del sistema que realimenta la entrada del sistema para lograr la sintonía.	Monitorear el nivel de depósito - Distancia - Nivel - Tiempo
Variable Independiente Sintonización PID	Variable cuantitativa	Determina los parámetros para lograr estabilidad del comportamiento de un sistema.	Control de nivel de agua del depósito: - Kp: Ganancia Proporcional - Ti: Tiempo integral - Td: Tiempo derivativo

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Para determinar la ecuación de transferencia del proceso del sistema de primer orden se establecen los datos a partir de la Figura 34.

Figura 34

Sistema de nivel de primer orden



Tomado de (Ogata, 2010).

- \bar{Q} = caudal en estado estable, m^3/seg
- q_i = desviación pequeña de la velocidad de entrada de su valor en estado estable, m^3/seg

- q_0 = desviación pequeña de la velocidad de salida de su valor en estado estable, m^3/seg
- \bar{H} = altura en estado estable, m
- h = desviación pequeña de la altura a partir de su valor en estado estable, m

$$C = \frac{\text{cambio en el liquido almacenado, } m^3}{\text{cambio en la altura, } m} \quad (8)$$

C es igual al área transversal del tanque, constante en cualquier altura.

$$R = \frac{\text{cambio en la diferencia de nivel, } m}{\text{cambio en la velocidad de flujo, } \frac{m^3}{s}} \quad (9)$$

$$\text{Para flujo laminar, } R_t = \frac{H}{Q}$$

El caudal de entrada menos el de salida en un intervalo pequeño de tiempo

$$Cdh = (q_i - q_0)dt, \quad q_0 = \frac{h}{R}$$

La ecuación para un valor R constante:

$$RC \frac{dh}{dt} + h = Rq_i$$

RC es la constante de tiempo del sistema, aplicamos Laplace con condición inicial de cero

$$(RCs + 1)Hs = RQ_i(s),$$

Si: q_0 se toma como la salida y la entrada es la misma, la función de transferencia es:

$$\frac{Q_o(s)}{Q_i(s)} = \frac{1}{RCs + 1} \quad (10)$$

Reemplazando valores del proyecto

Consideramos la zona lineal de nuestra curva de proceso donde $H=15\text{cm}$ es la altura estable, además hacemos la conversión del flujo de nuestra bomba de agua de 3.5L/min a m^3/s .

Consideramos C constante ya que el área transversal de nuestro tanque es uniforme en cualquier altura, el diámetro del tanque es 22cm .

$$R = \frac{H}{Q} = \frac{0.15m}{5.83 * 10^{-5}m^3/s}$$

$$C = \text{área transversal del tanque} = (\pi * 0.11)^2$$

$$\frac{Q_o(s)}{Q_i(s)} = \frac{1}{\left(\frac{0.15}{5.83 * 10^{-5}} * (\pi * 0.11)^2\right)s + 1} = \frac{1}{(2586.2)s + 1}$$

Métodos de sintonización

a. Curva de reacción

Procedemos a configurar el controlador en modo manual

Obtenemos la Tabla 7, de valores para cada valor de salida y esperamos que el proceso se estabilice, para obtener una zona lineal donde poder aplicar la curva de reacción.

Tabla 7

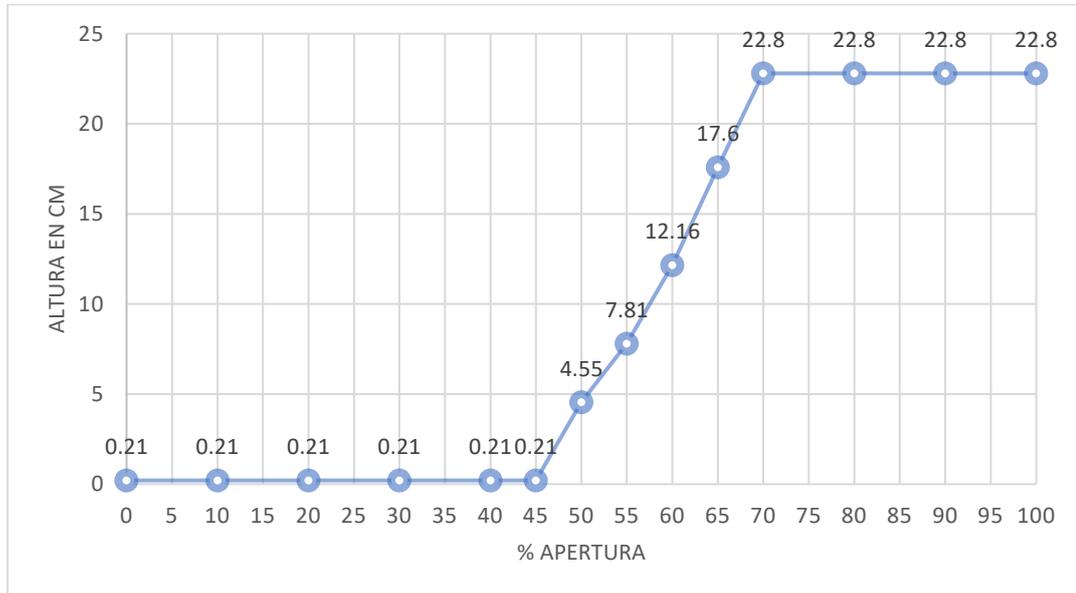
Apertura de la válvula VS nivel del liquido

%ap	Altura
0	0.21
10	0.21
20	0.21
30	0.21
40	0.21
45	0.21
50	4.55
55	7.81
60	12.16
65	17.6
70	22.8
80	22.8
90	22.8
100	22.8

La Figura 35 nos muestra la zona estable de comportamiento del sistema.

Figura 35

Gráfica del comportamiento del sistema



Obtenemos una zona lineal en un porcentaje de apertura de válvula desde 50 hasta 65.

La Figura 36 nos muestra el gráfico del programa TIA Portal del proceso de nivel.

Figura 36

Gráfica del proceso estable

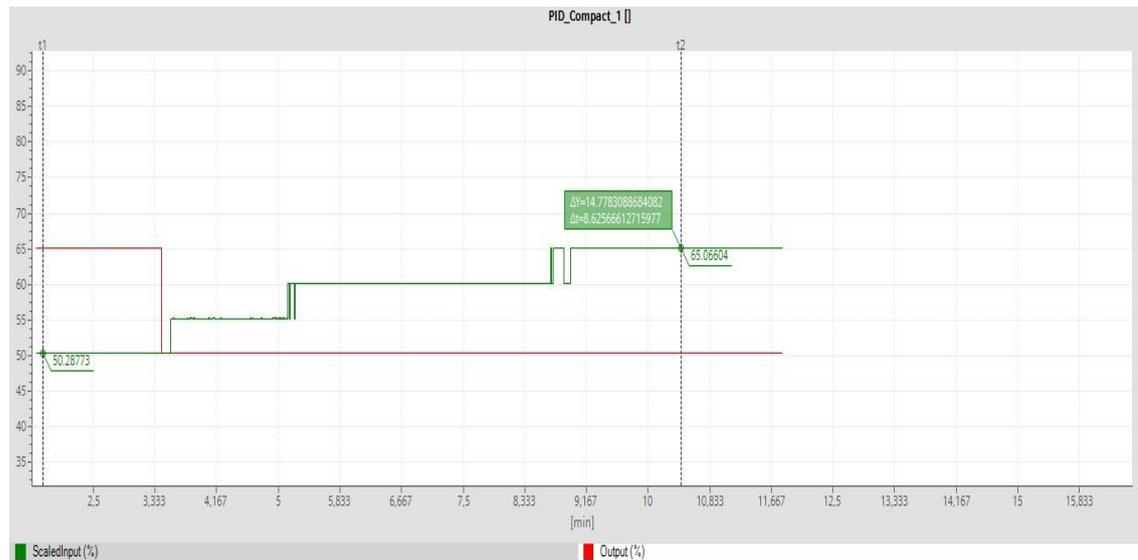


Nota: Gráfico del proceso en estado estable, manipulando la válvula proporcional de 60% a 50%.
Fuente Elaboración Propia [Imagen].

La Figura 37 nos muestra el gráfico TIA Portal, cuando se apertura manualmente la válvula proporcional.

Figura 37

Gráfica de apertura de la válvula al 50% - 65%



Nota: Gráfico de la variable de proceso con valores estables, con válvula manipulada de 60 a 50%. Fuente Elaboración Propia [Imagen].

Procedemos a hallar los parámetros del proceso de orden superior

Datos:

$$OUT1 = 60, OUT2 = 50. PV1 = 50,28, PV2 = 65,06$$

$$\Delta PV = PV2 - PV1 = 65,06 - 50,28 = 14,78$$

$$\Delta OUT = OUT2 - OUT1 = -10$$

$$PV_{28.3\%} = PV1 + 0,283\Delta PV = 50,28 + 0,283 * 14,78 = 54,46$$

$$PV_{63.2\%} = PV1 + 0,632\Delta PV = 50,28 + 0,632 * 14,78 = 59,62$$

$$t_{28.3\%} = t_1 - t_0 = 0,13min$$

$$t_{63.2\%} = t_2 - t_0 = 1,71min$$

$$Ganancia: K_p = \frac{\Delta PV}{\Delta OUT} = \frac{14,78}{10} = 1,478$$

$$Constante de tiempo: \tau = 1,5(t_{63,2\%} - t_{28,3\%}) = 2,37$$

$$Tiempo muerto: t_D = (t_{63,2\%} - \tau) = 0,66$$

Tabla 8*Parámetros del controlador – Curva de reacción*

Tipo De Controlador	K_C	T_i	T_d
Modo P	$\frac{\tau}{K_P T_D}$	∞	0
Modo PI	$\frac{0,9\tau}{K_P T_D}$	$3,33T_D$	0
Modo PID	$\frac{1,2\tau}{K_P T_D}$	$2T_D$	$0,5T_D$

Fuente Elaboración Propia.

Los parámetros de nuestro controlador PID obtenidos son los siguientes:

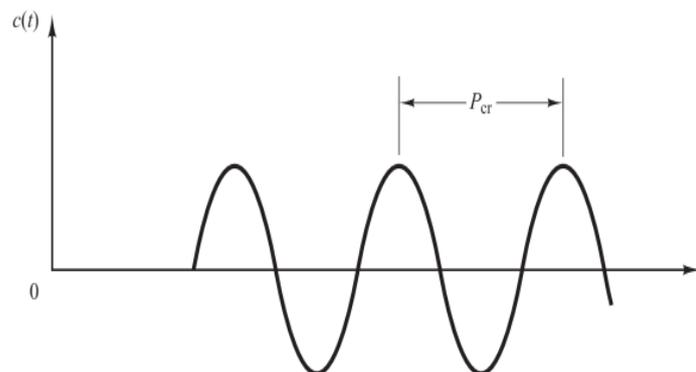
$$K_C = 2,9154 - T_i = 1,32 - T_d = 0,33$$

b. Método ganancia limite

Fijamos en nuestro controlador un $T_i = \infty$ y un $T_d = 0$.

Incrementamos K_P desde 0 hasta un valor K_{cr} , donde nuestra salida presente oscilaciones sostenidas, de periodo P_{cr} .

La Figura 38 muestra el comportamiento de un proceso para obtener los parámetros de ganancia límite.

Figura 38*Comportamiento del método de ganancia limite*

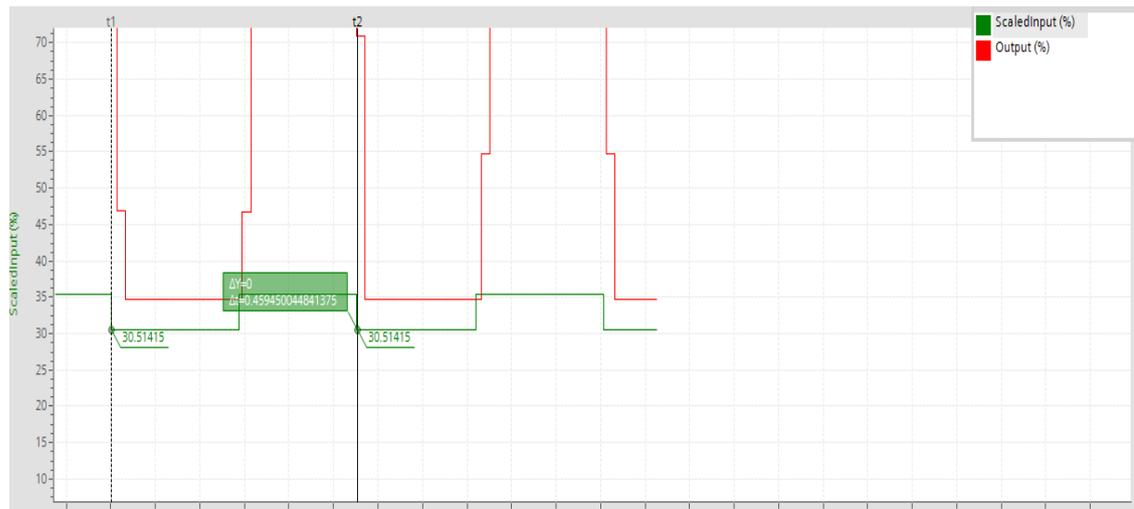
Tomado de (Ogata, 2010).

Incrementamos hasta un $K_{cr} = 15$, donde obtenemos una salida con oscilaciones sostenidas.

La Figura 39 muestra el gráfico TIA Portal, usado para obtener los parámetros de ganancia límite.

Figura 39

Gráfica obtenida del PID – Ganancia límite



Nota: Nuestro $P_{cr} = 27,6$ segundo. Fuente Elaboración Propia [Imagen].

Tabla 9

Parámetros del controlador – Ganancia límite

Tipo de controlador	K_C	T_i	T_d
Modo P	$0,5K_{cr}$	∞	0
Modo PI	$0,45K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	0
Modo PID	$0,6K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

Los parámetros de nuestro controlador PID obtenidos son los siguientes:

$$K_C = 9 - T_i = 13,8 - T_d = 3,45$$

Tabla 10

Tabla comparativa de parámetros obtenidos por diferentes métodos de sintonización

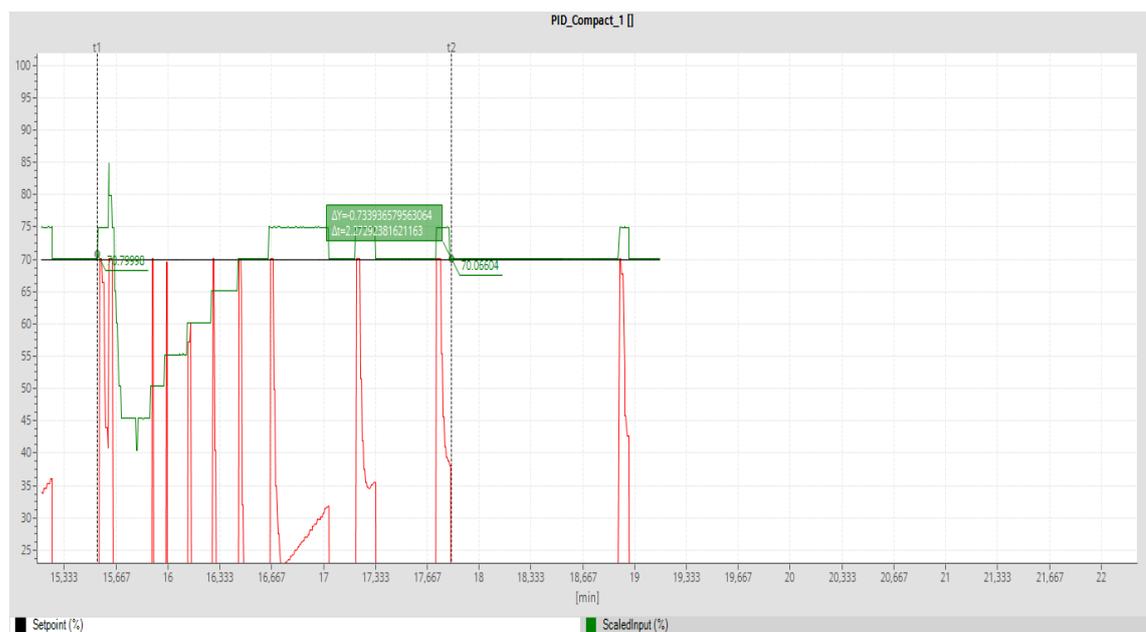
Parámetros PID	Curva de reacción	Ganancia limite
Ganancia proporcional	2,9154	9
Tiempo de integración	1,32	13,8
Tiempo derivativo	0,33	3,45

La sintonización que mejor responde a perturbaciones externas, cuando añadimos o sacamos agua externamente, son los parámetros obtenidos mediante el método curva de reacción.

La Figura 40 muestra el gráfico de la sintonización TIA Portal cuando perturbamos el sistema, usando los parámetros PID del método curva de reacción.

Figura 40

Comportamiento de la gráfica cuando hay una perturbación



Nota: Comportamiento del proceso con parámetros PID frente a perturbación externa, método-curva de reacción. Fuente Elaboración Propia [imagen].

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Analizamos los resultados

Se estableció una dirección práctica para observar el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones operativas, mediante la implementación de un sistema de control basado en el controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-1200. Este sistema fue programado utilizando TIA Portal V15, enfocándose en el control PID a través de la integración de elementos cruciales como la válvula proporcional y el sensor ultrasónico, los cuales permitieron una regulación efectiva del nivel de líquido en el tanque designado para el estudio. La metodología de sintonización adoptada los métodos de *curva de reacción* y *ganancia limite*, las cuales facilitaron la adaptación precisa a las dinámicas inherentes al proceso. La recopilación y análisis de los datos obtenidos permitieron una evaluación detallada de la respuesta del sistema ante variaciones en los SetPoints y la presencia de perturbaciones externas, considerando indicadores de rendimiento tales como el tiempo de asentamiento y la desviación máxima.

Una comparativa entre los distintos métodos de sintonización reveló diferencias significativas en términos de eficacia, rapidez de respuesta y estabilidad, destacando las fortalezas y limitaciones de cada enfoque. A partir de este análisis, se establece que los valores del método de curva de reacción $K_C = 2,9154$, $T_i = 1,32$ y $T_d = 0,33$.

La implementación del módulo de entrenamiento demostró su valor como herramienta educativa y de investigación en el ámbito de la automatización y el control de procesos, subrayando su potencial para mejorar la comprensión y el manejo de sistemas de control de nivel u otros procesos. Las conclusiones derivadas de este estudio enfatizan la viabilidad y eficacia de la sintonización PID.

4.1.2. Implementación de la simulación del proceso.

Para la elección de los dispositivos de modulo con el propósito de la sintonización PID se ha escogido el autómatas programable S7-1200 de la marca Siemens, razón por el cual es escogido por ser un PLC modular con grandes variedades de aplicación una de ellas es el control de nivel, permite una medición precisa (hay que aclarar que esto también depende de los sensores y actuadores a integrar en el proceso de control) y regulación de los procesos.

Otra consideración es el Sensor Ultrasónico para el módulo. Este dispositivo es de nivel semi industrial por temas de sobredimensionar en costos. Otro sensor que se

llegó probar es el del tipo de Presión, este a diferencia del otro se llegó a observar que tiene una mejor lectura de medición al momento de sintoniza, diferencia sobre características técnicas, este sensor toma lecturas más rápidas y está diseñada para un tanque de agua de menos tamaño.

La Válvula Proporcional que sería el Actuador se escogió por tema que era necesario que trabaje de 4-20ma porque continuamente recibirá señales del PLC para regular el nivel de agua abriendo y cerrando de manera proporcional la salida del tanque. Los sensores también operan de 4-20ma porque la altura del tanque es de 22cm por lo tanto continuamente enviara señales al PLC de manera de retroalimentación del proceso para una lectura continua del proceso y poder tener una mejor Sintonización PID.

4.1.2.1. Programación en software TIA PORTAL

Para controlar nuestro proceso utilizaremos el bloque PID del software, utilizaremos los diferentes métodos de sintonización. Pero antes de eso se creará un proyecto donde trabajaremos los bloques que se escalaran las señales de entrada analógica que sería del sensor ultrasónico. Y la señal de salida de la válvula proporcional.

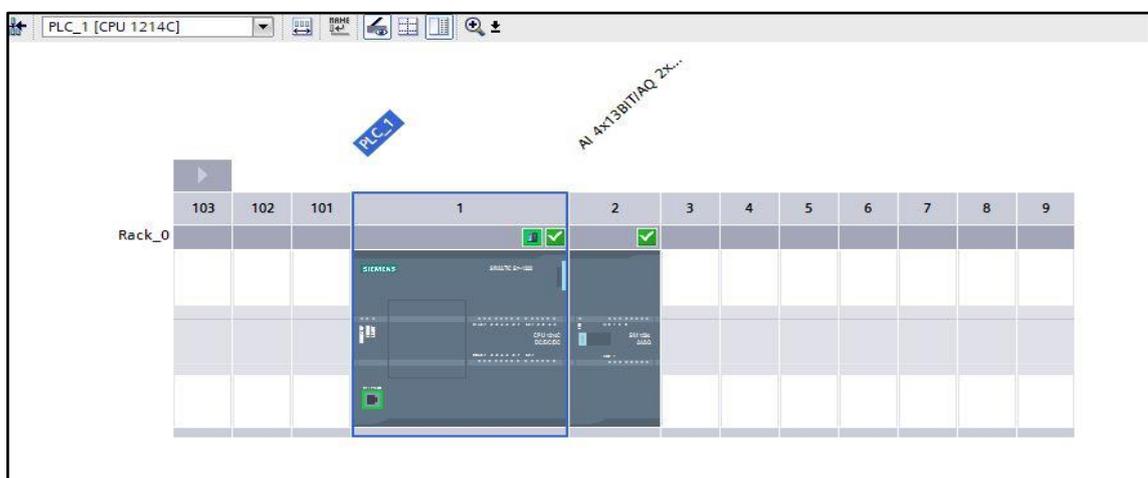
Seguiremos los siguientes pasos:

- Creación del proyecto
- Vamos a agregar de la lista el CPU con el que trabajaremos y luego seleccionamos el módulo de señales analógicas tanto entradas como salidas.

La Figura 41 muestra los módulos usados en el software TIA Portal.

Figura 41

Módulos usados en TIA-Portal y ajuste de dispositivos



Buscamos el CPU S7 1200 de la lista los modelos y luego el módulo de entradas y salidas analógicas que vamos a utilizar y los añadimos al rack virtual. Fuente: Elaboración Propia.

- PLC siemens 1200 REF 6es7 214-1ag31-0xb0.
- Módulo de entradas y salidas analógicas sm1234 ai4/aq2 REF 6es7 234-4he32-0xb0

Cargamos los dispositivos visualizados en los slots generados para iniciar la programación.

La Figura 42 muestra las características de los módulos en el software TIA PORTAL.

Figura 42

Características de los módulos usados

Módulo	Slot	Dirección I	Dirección Q	Tipo	Referencia	Firmware	Comentario
	103						
	102						
	101						
PLC_1	1			CPU 1214C DC/DC/DC	6ES7 214-1AG31-0XB0	V3.0	
DI 14/DQ 10_1	1 1	0...1	0...1	DI 14/DQ 10			
AI 2_1	1 2	64...67		AI 2			
	1 3						
HSC_1	1 16	1000...10...		HSC			
HSC_2	1 17	1004...10...		HSC			
HSC_3	1 18	1008...10...		HSC			
HSC_4	1 19	1012...10...		HSC			
HSC_5	1 20	1016...10...		HSC			
HSC_6	1 21	1020...10...		HSC			
Pulse_1	1 32		1000...10...	Generador de impulsos..			
Pulse_2	1 33		1002...10...	Generador de impulsos..			
Pulse_3	1 34		1004...10...	Generador de impulsos..			
Pulse_4	1 35		1006...10...	Generador de impulsos..			
Interfaz PROFINET_1	1 X1			Interfaz PROFINET			
AI 4x13BIT/AQ 2x14BIT_1	2	96...103	96...99	SM 1234 AI4/AQ2	6ES7 234-4HE32-0XB0	V2.0	
	3						

Usaremos los slots pertenecientes al módulo de entradas y salidas analógicas SM1234 AI4/AQ2 que se encuentran en las direcciones:

- Entradas: 96 ... 103
- Salidas: 96 ... 99

Como nuestros dispositivos trabajan con intensidad de 4-20mA se configura la salida y entrada del módulo. Dando los valores correspondientes en los rangos de intensidad que vamos a usar para el sensor ultrasónico y la válvula proporcional.

La Figura 43 muestra la configuración del módulo de entradas del software TIA Portal.

Figura 43

Canal de entrada IW100

Canal2

Dirección de canal: IW100

Tipo de medición: Intensidad

Rango de intensidad: 4..20 mA

Filtrado: Fuerte (32 ciclos)

Activar diagnóstico de rotura de hilo

Activar diagnóstico de rebase por exceso

Activar diagnóstico de rebase por defecto

El canal 02 con la dirección IW100 se usará para la señal que emite el sensor ultrasónico. Para que sea recibida por el PLC, como se observa se ha configurado el tipo de medición a intensidad y el rango de intensidad.

La Figura 44 muestra la configuración del módulo de salidas del software TIA Portal.

Figura 44

Canal de salida QW96

Canal10

Dirección de canal: QW96

Tipo de salida analógica: Intensidad

Rango de intensidad: 4 a 20 mA

Valor sustitutivo para canal en caso de transición de RUN a S... 4.000 mA

Activar diagnóstico de rotura de hilo

Activar diagnóstico de rebase por exceso

Activar diagnóstico de rebase por defecto

El canal 10 con la dirección de canal QW96 es para conectar la válvula proporcional y reciba señal del PLC, Y se procede a definir los parámetros de este canal

para la válvula que es también intensidad el tipo de salida analógica y el rango es de 4-20mA.

Luego se procede a determinar la lista de variables que usaremos en programa para la sintonización, que se muestran en la Figura 45.

Figura 45

Variables del PLC

	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario
1	%apertura valvula	Tabla de variabl...	Real	%MD0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	norm valv	Tabla de variables e..	Real	%MD4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	valvula	Tabla de variables e..	Int	%QW96	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	sensor entrada	Tabla de variables e..	Int	%IW100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	escalado	Tabla de variables e..	Real	%MD8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	salida	Tabla de variables e..	Real	%MD12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Tag_1	Tabla de variables e..	Real	%MD30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	<Agregar>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Tabla 11

Tabla de variables creadas en el PLC

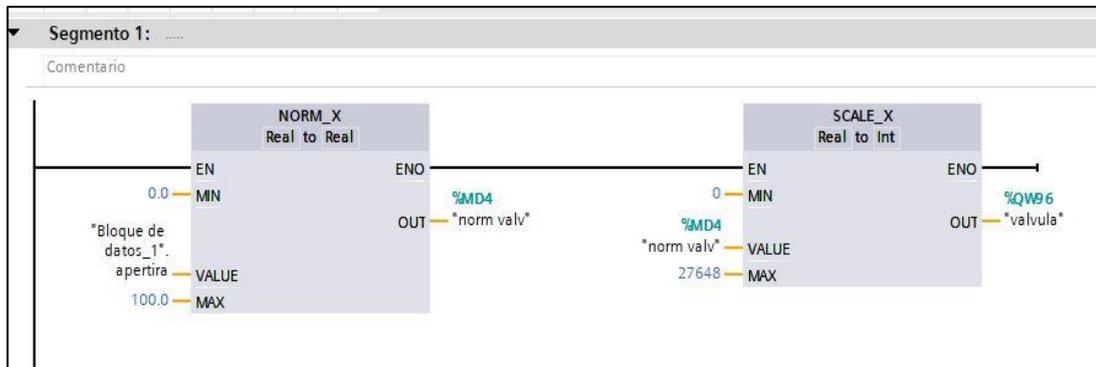
Variable	Descripción
%apertura válvula:	la usamos para el control manual de la válvula en el momento de definir nuestra curva de trabajo para realizar la sintonización PID, usamos el rango de porcentaje de 0 - 100 %
norm valv:	valor normalizado de %apertura válvula
válvula:	valor escalado usado para controlar la válvula proporcional 4-20mA
sensor de entrada:	valor que nos transmite el sensor ultrasónico al PLC
escalado:	Memoria global
salida:	Memoria global
Tag_1:	Memoria global

Creamos un segmento de programación para la configuración de la válvula proporcional, para forzar valores los valores de 10%, 20%, 30%, ..., 100% de apertura

para encontrar estabilidad en el sistema que se implementó en el módulo, como se muestra en la Figura 46.

Figura 46

Configuración manual de válvula



En este segmento controlamos la válvula proporcional con los bloques NORM_X y SCALE_X, donde forzamos el valor de apertura de la válvula de 0 – 100%

Para escalar una señal analógica debemos tener en cuenta lo siguiente:

El PLC SIEMENS reconoce los valores analógicos en un rango entre 0 ; 27648

NORM_X: Esta instrucción normaliza nuestra entrada VALUE a una escala línea entre los valores MIN Y MAX que configuramos de entrada y el 0 ; 1 de salida

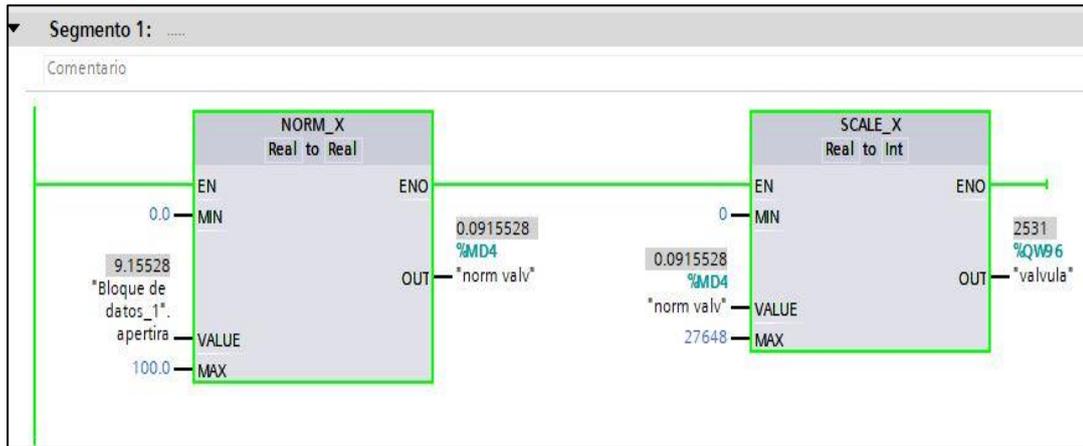
SCALE_X: Esta instrucción escala nuestra entrada VALUE y la mapea a un rango de valores MIN Y MAX que configuramos el 0 ; 1 de entrada y el rango MIN ; MAX de salida.

Para estos valores estabilizamos nuestro proceso de control con una apertura de válvula de 50%.

La Figura 47 muestra la reacción del programa a valores forzados de la válvula proporcional.

Figura 47

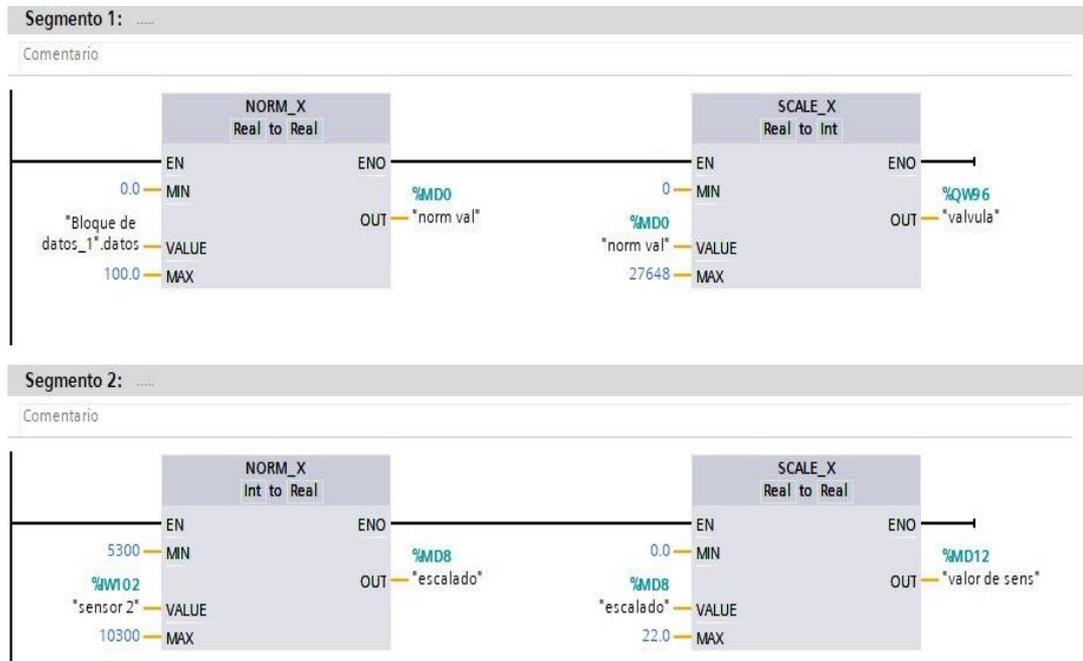
Pruebas de estabilidad de proceso con valores forzados



La Figura 48 muestra los bloques del programa TIA Portal para ingresar valores analógicos.

Figura 48

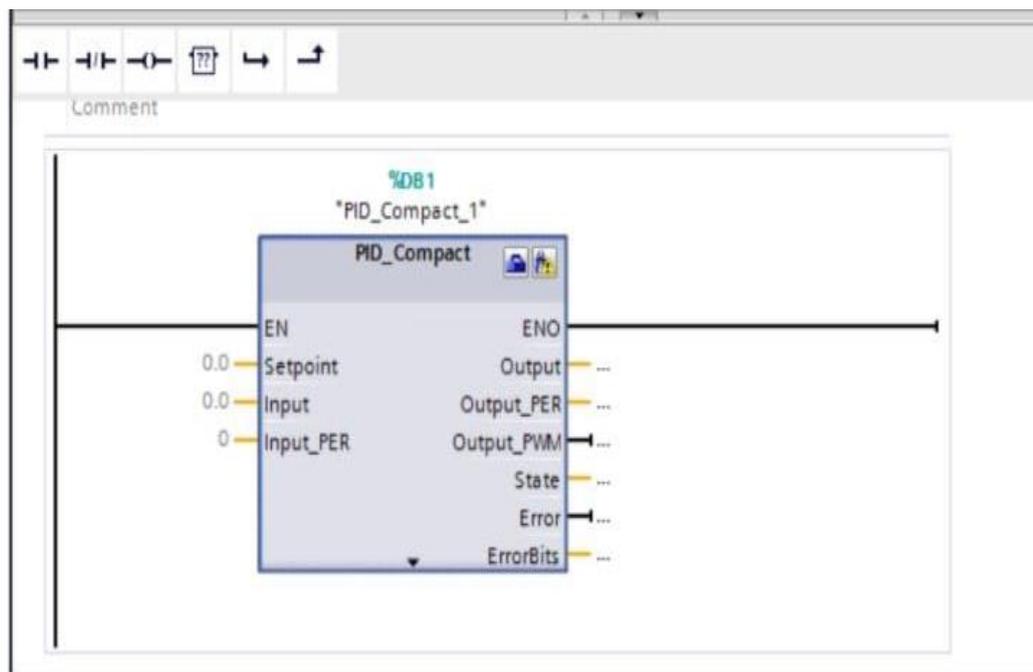
Bloques de normalización y escalado



La Figura 49 muestra el bloque PID del software TIA Portal.

Figura 49*Bloque de función y PID*

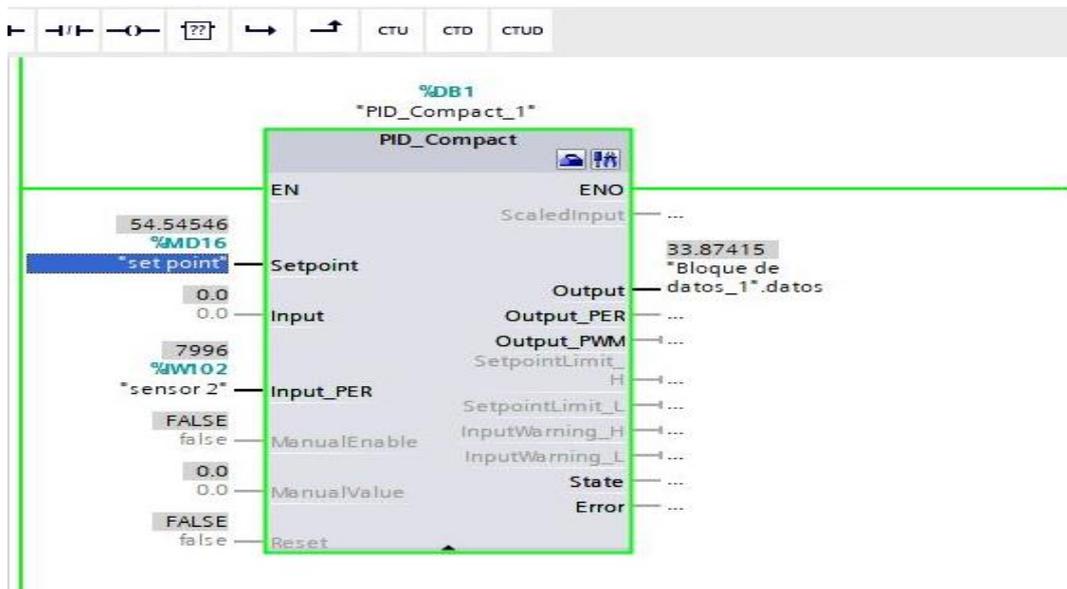
La Figura 50 muestra la configuración del bloque PID del software TIA Portal.

Figura 50*Bloque PID*

Añadimos el bloque PID con la entrada del sensor ultrasónico 4-20mA previamente configurado, como se muestra en la Figura 51.

Figura 51

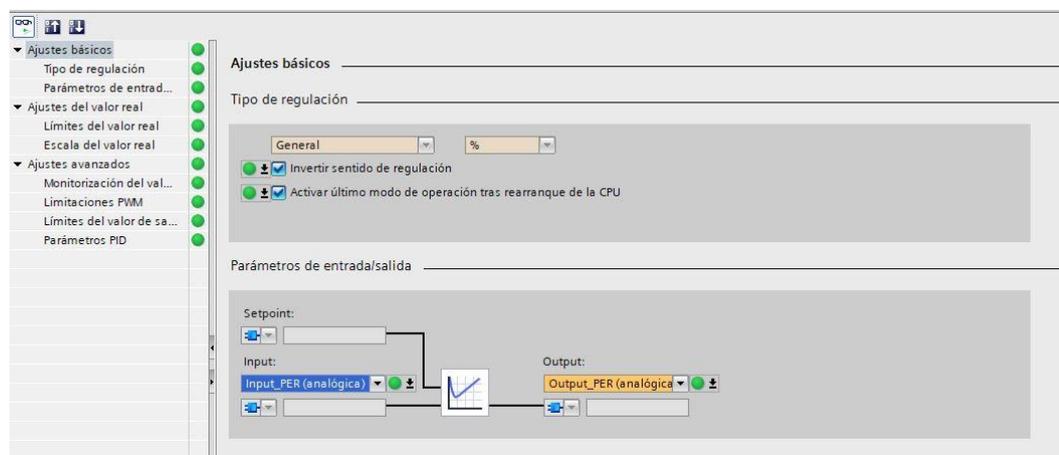
Bloque de función y PID



Se procedió a configurar el bloque PID, como se muestra en la Figura 52.

Figura 52

Ajustes básicos PID



En este segmento ajustamos el tipo de regulación general que representa NIVEL, y “%” que será nuestra referencia para apertura y cierre de la válvula proporcional 0 – 100 %.

Además, nuestro Input lo configuramos en Input_PER (analógica).

La Figura 53 muestra el ajuste del rango de los valores reales PID.

Figura 53*Ajustes valor real PID*

En este segmento se ajustó los límites de valor real que representan de 0 – 100 % y la escala para el sensor 5300 – 27640, obtenida manualmente, donde 5300 cierra la válvula proporcional totalmente y 27640 la abre totalmente.

Luego aplicamos los métodos de sintonización descritos, de los cuales se escoge el método curvo de reacción, con los parámetros PID que hacen que el proceso reaccione mejor frente a perturbaciones.

Para crear la interfaz HMI, se procede a crear las variables, como se muestra en la Figura 54 y la imagen HMI que se muestra en la Figura 55.

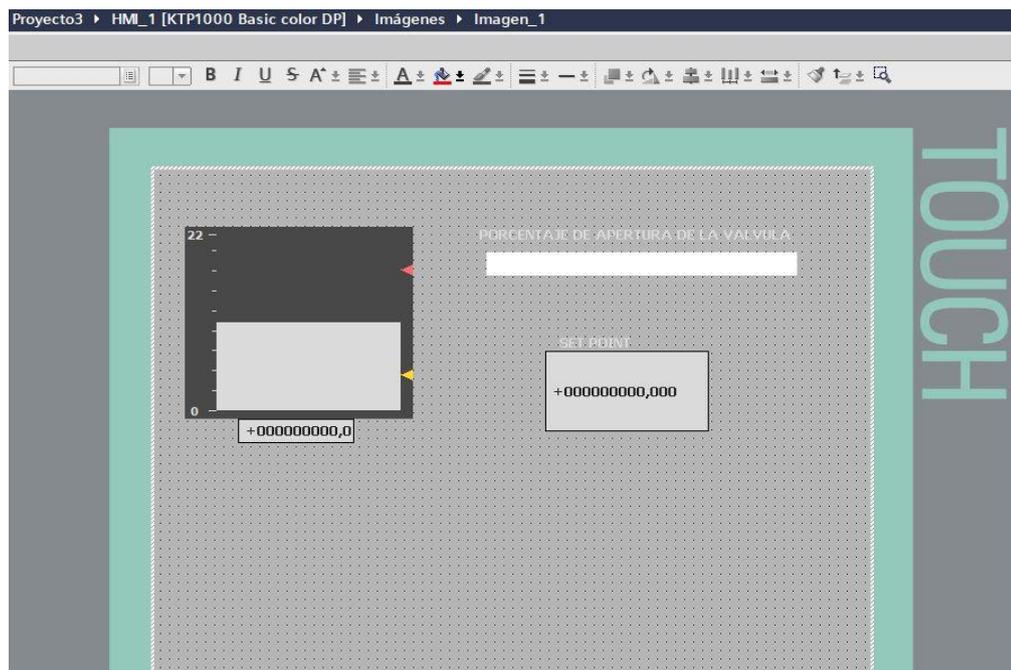
Figura 54

Tabla de variables

Variables HMI						
Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Conexión	Nombre del PLC	Variable PLC	Dir
PID_Compact_1_ManualEnable	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	PID_Compact_1.Man...	
SETPHINT	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	"set point"	
SETPOINTT	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	"set point"	
valor de sens	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	"valor de sens"	
VALVULA	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	"Bloque de datos_1".datos	
Variable_HMI_SENSOR PURO	Tabla de variables estándar	Int	HMI_Conexión_1	PLC_1	"sensor 2"	
<Agregar>						

Figura 55

Elaboración de proceso gráfico en pantalla HMI



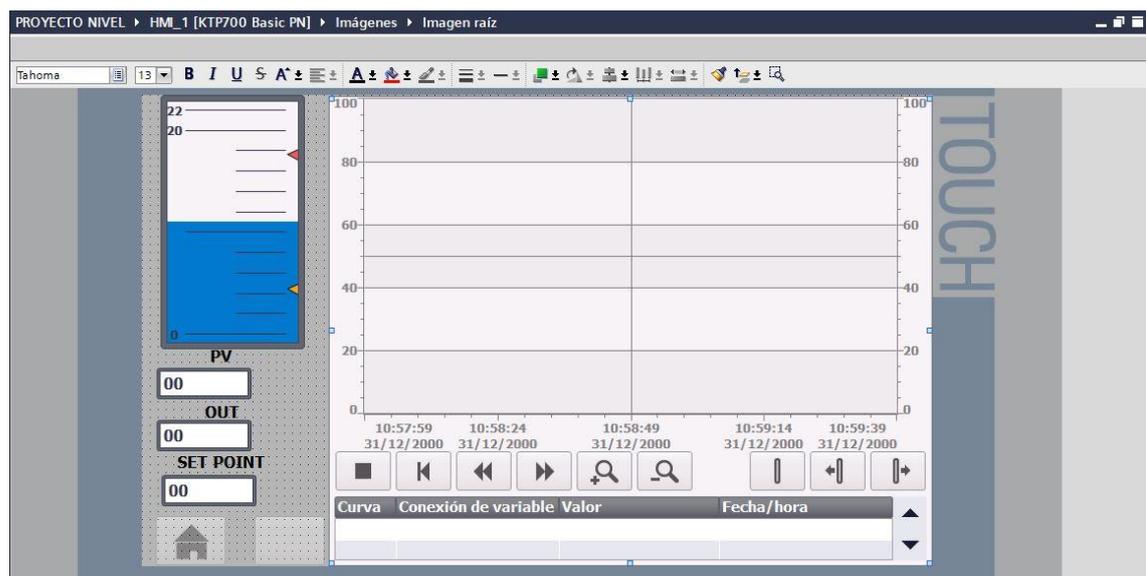
Nota: Pantalla HMI control de nivel.

Donde se direccionan los elementos; sensor ultrasónico, válvula proporcional y Tag_1 que es nuestro nivel deseado (SET POINT).

La Figura 56 muestra la interfaz HMI reaccionando al proceso.

Figura 56

Gráfico final en pantalla HMI



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Según la tesis desarrollada "*Diseño y sintonía de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso*". En base a la tesis desarrollada se diseñó un sistema de control de nivel, usando el control con la sintonización PID como etapa principal, teniendo en cuenta las variables involucradas se logró diseñar la lógica de programación en LADDER usando el software TIA PORTAL V15.

El diseño permite variar el nivel de agua del depósito/tanque el cual se controla el nivel de agua. De acuerdo con el valor que se ponga al SetPoint la Válvula Proporcional que trabaja de 0-20ma estará en continua variación ya que este tiene el objetivo de estabilizar/mantener el nivel dado por el SetPoint. La estabilización del sistema es alrededor de los 46s.

Mediante las Pruebas del Módulo, se llegó a usar dos tipos de sensores que serían el Ultrasónico y de Presión ambas permitiendo una medición del nivel agua continuo. Se llegó a observar que se tiene una mejor sintonización con el Sensor de Presión. Motivo por el cual se da esta diferencia entre los sensores, es por la histéresis y punto muerto de cada sensor. Para el Sensor Ultrasónico su rango de trabajo es de 3 metros a 0,5 metros y las del Sensor de Presión es de 1 metro a 0 metros.

El diseño nos permite variar el nivel o volumen de los tanques, la altura a la que podamos instalar el sensor ultrasónico, y el flujo máximo que puede pasar por la válvula proporcional debido a la configuración de llaves y válvulas en las tuberías, lo cual hace al módulo poder modificar variables de diseño y seguir controlando mediante la programación y el control PID. Una razón por el cual se usa dispositivos que trabajan a rangos de 4-20 mA, nos permite tomar lectura y controlar de manera constante debido a que el Sistema de Control es de lazo cerrado.

Ante los antecedentes tomados para lograr esta investigación ellos proponen el uso de lenguaje Assembler para control mediando microcontroladores o el uso de la interfaz LabView para la toma de lectura de los sensores y manipulación de los actuadores. Se ha logrado hacer la sintonización PID con el PLC Siemens con el lenguaje LADDER con el uso de sensores de nivel y una válvula proporcional.

CONCLUSIONES

Se llegó a implementar un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso con los diferentes tipos de sintonización para obtener los parámetros óptimos para tener un menor tiempo que fue de 46s para la sintonización de control de nivel.

Con el autómata Programable PLC SIEMENS S7 1200 por su robustez permite la entrada y salida de señales analógicas de 4-20ma. Señales con el cual trabaja los dispositivos válvula proporcional que es el actuador que permite regular el nivel de agua y el sensor ultrasónico o presión que es la señal de realimentación del estado actual del proceso en tiempo real.

Para la parte de programación se ha optado por el Software TIA PORTAL por el mismo motivo que el PLC. Usando el Lenguaje de programación LADDER/KOP para el desarrollo de la lógica de sintonización y por el fácil entendimiento y visual de la misma.

Mediante diferentes tipos de sintonización ya mencionados en capítulos anteriores se logró obtener parámetros $K_p=2,91$; $T_i=1,32$; $T_d=0,33$ para el control del módulo de entrenamiento de control de nivel.

RECOMENDACIONES

El diseño del programa nos permite la posibilidad de implementar una pantalla HMI y poder hacer el uso de esta interfaz establecer el SetPoint y para visualizar la curva de estabilización de la sintonización PID, además de poder detener el proceso, arrancarlo o detectar fallas en los elementos en tiempo real.

Para una perfecta sintonización PID de un control de nivel de agua se recomienda dos válvulas proporcionales de 4-20ma que estén ubicados tanto en la entrada y salida de flujo del agua. Se debe considerar en el diseño que los sensores de nivel tienen que trabajar a un rango de 4-20ma o de 0-20ma (aunque este se tiene que hacer una modificación en el bloque LADDER para una mejor lectura). Los Sensores de Nivel de agua serán Ultrasónicos, de Presión o cualquier tipo que trabajo de 4-20ma/0-20ma poseen calibración específica. Se refiere que para una mejor lectura se debe considerar la calibración de acuerdo con la profundidad del tanque de agua a usar. De esa manera evitar conflictos toma de lecturas.

Para tener una mejor Sintonización PID se recomienda no perturbar demasiado el nivel de agua si se va a usar un sensor ultrasónico, ya q este perturba en la lectura del nivel. Para niveles industriales esto es imperceptible para el sensor, pero para sensores de gama baja económica esa perturbación marca la diferencia en la sintonización.

El software nos permite guardar una base de datos para verificar el nivel del tanque ininterrumpidamente, incluso si presento algún error en los elementos de control, lo cual es indispensable en procesos industriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acedo, J. (2003). *Control Avanzado de Procesos*. España: Ediciones Diaz de Santos S. A.
- Castaño, S. (2019). *Control Automatico*.
<https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/ziegler-nichols-sintonia-de-control-pid/#Bibliografia>
- Cordero, V., & Rosa, Z. (2009). La investigación Aplicada: Una Forma de Conocer las Realidades con Evidencia. *Revista Educación*, 33(1), 12.
<https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- Dectronic. (2023). *Dectronic Net [Imagen]*. <https://www.dectronic.net/es/sensores/28-serie-psan-sensor-de-presion-autonics.html>
- Garza, J., Gabriel, L., & Ezequiel, L. (2017). *Control de nivel de líquido de un sistema de dos tanques interconectados*. Tesis, Universidad Autónoma de Nuevo León.
<https://es.slideshare.net/slideshow/proyecto-dsm-control-de-nivel-de-liquido/78787586>
- Gutiérrez, M., & Iturrable, S. (2017). *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control*. Ecuador: UPSE.
- Jalloul, C. (2024). *WIKA*. <https://www.bloginstrumentacion.com/instrumentacion/cmo-seleccionar-el-mejor-sensor-para-su-aplicacin-valor-vs-precio/>
- Kuo, B. (1996). *Sistemas de Control Automático*. Mexico: Prentice-Hall Inc.
- Mandatory Manual. (s.f.). *Four-wire ultrasonic level meter*. China.
- Martinez, J., Molina, M., Silva, I., & Rodriguez, M. (2017). *Diseño y Construcción de un sistemas de Control de Nivel de Líquido en un Deósito cilindrico*. Tesis, Universidad de Pamplona, Pamplona.
<https://es.scribd.com/document/372576663/Diseno-y-Construccion-de-Un-Sistema-de-Control-de-Nivel-de-liquido>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educación.
- Pardo, G., & Toro, H. (2015). *Protocolos de Comunicación Industrial*. Bogotá DC.
<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1874/Informe%20de%20seminario.pdf>

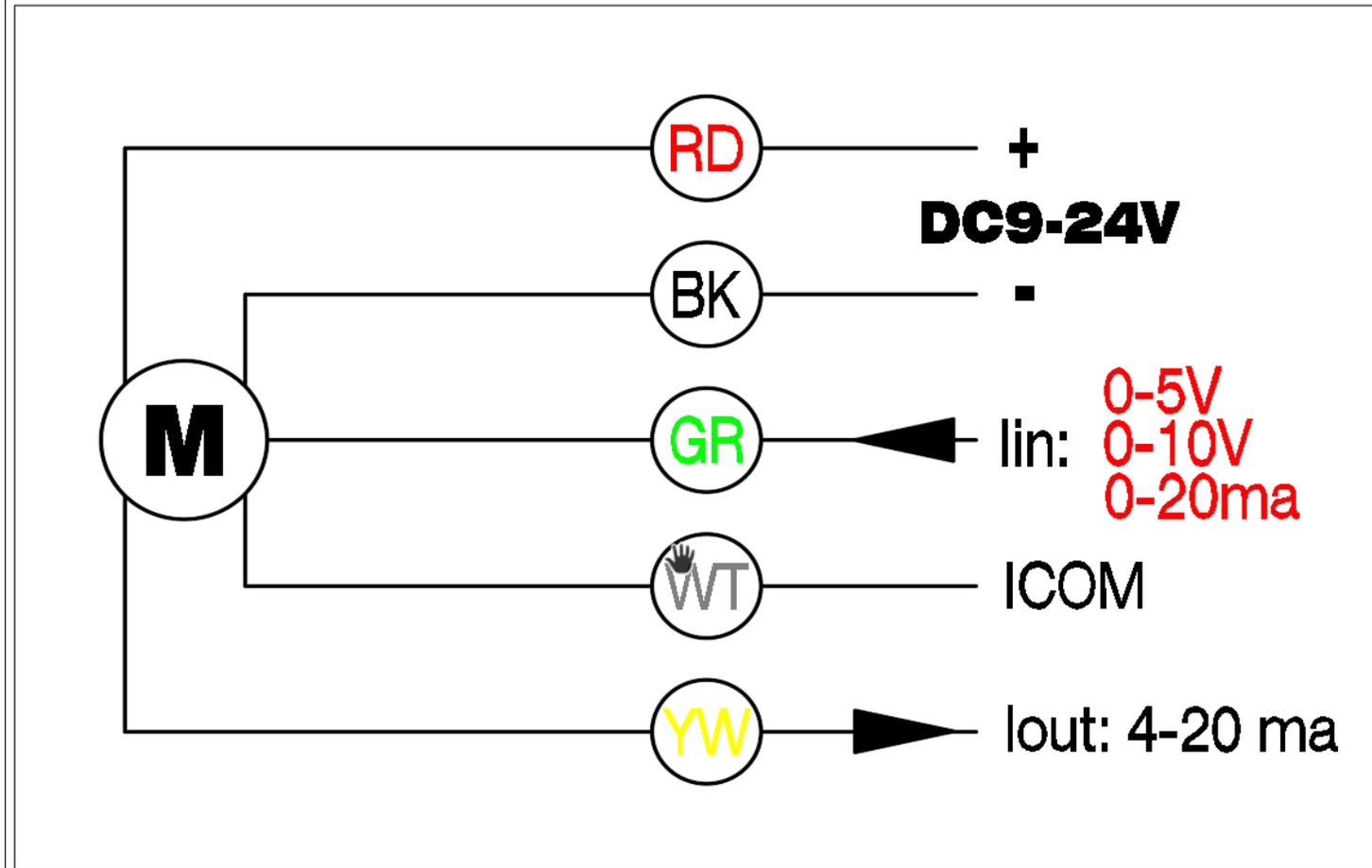
- Perez, S. (2011). *Control de Tanques Acoplados*. Tesis, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y Telecomunicaciones, Pamplona.
<https://www.studocu.com/es/document/universidad-de-jaen/automatic-regulation/tanques/3307891>
- Reyes, P. (25 de Setiembre de 2012). *Controladores Lógicos Programables*. SCRBD:
<https://es.scribd.com/presentation/106958007/Teoria-Plc#>.
- XIDIBEI Sensor & Control. (10 de 12 de 2023). *Liquid Tank Level Indicator*.
<https://www.xdbsensor.com/xdb501-liquid-tank-level-indicator-product/>

ANEXOS

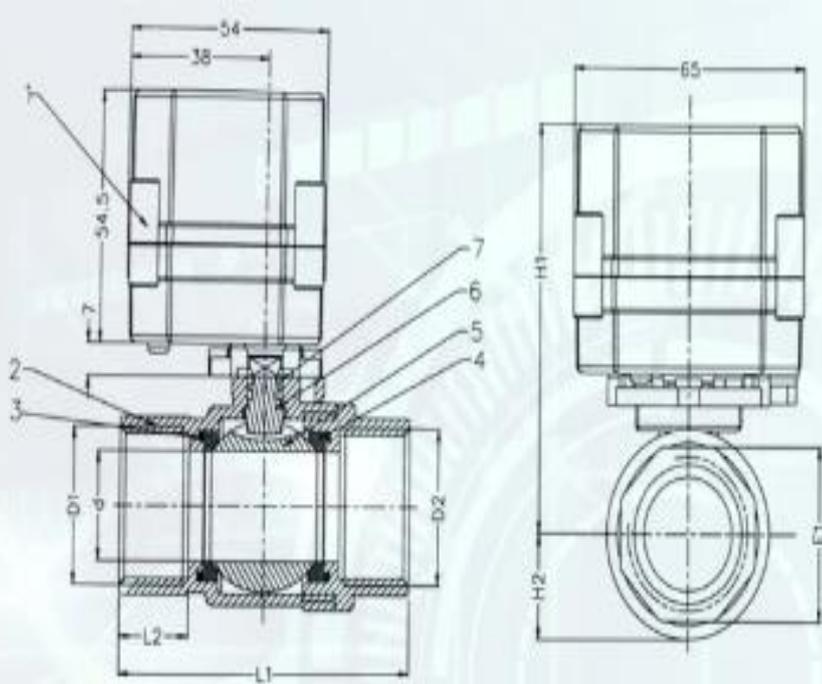
Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	INDICADOR	METODOLOGIA
<p>Problema General. ¿Se podrá diseñar y sintonizar un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso con el PLC S7-1200?</p>	<p>Objetivo General Diseñar y sintonizar un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso.</p>	<p>Hipótesis general La implementación de un módulo de entrenamiento bien diseñado y correctamente sintonizado puede mejorar significativamente la eficacia y precisión en el control del nivel de agua en procesos industriales.</p>	<p>Variable Independiente: Sintonización (variable cuantitativa):</p>	<p>Kp: Ganancia Proporcional Ti: Tiempo integral Td: Tiempo derivativo</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada Diseño de Investigación: Experimental</p>
<p>Problemas Específicos ¿Qué equipos necesitamos para lograr el diseño de sintonización de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso?</p>	<p>Objetivos Específicos Definir dispositivos/equipos adecuados que permitan lograr un diseño de sintonización de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso.</p>	<p>Hipótesis específicas La selección de dispositivos y equipos adecuados permitirá lograr una configuración óptima que mejore la eficacia y precisión del módulo de entrenamiento para el control de nivel en procesos industriales.</p>	<p>Variable Dependiente: Control de nivel</p>	<p>Distancia Nivel Tiempo</p>	
<p>¿Qué software necesitamos para lograr el diseño de sintonización de un de entrenamiento</p>	<p>Definir el programa con el lenguaje de programación necesario que permita diseñar la lógica del diseño de</p>	<p>El desarrollo de un programa utilizando el lenguaje de programación apropiado facilitará una lógica de control eficiente y adaptable, que será crucial para el</p>			

para el control de nivel de un proceso?	sintonización de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso.	desempeño exitoso del módulo de entrenamiento en el control de nivel de procesos.			
¿Qué variables se deben controlar/tomar para el diseño de sintonización de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso?	Determinar los parámetros de sintonización para lograr el control de nivel de agua de un diseño de sintonización de un módulo de entrenamiento para el control de nivel de un proceso.	La correcta determinación de los parámetros de sintonización del módulo de entrenamiento resultará en un control más estable y preciso del nivel de agua, reduciendo las variaciones y mejorando la consistencia del proceso.			

Anexo 2. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE VÁLVULA PROPORCIONAL (VP) PARA EL CONTROL DE FLUJO O PRESIÓN

Anexo 3. HOJA DE DATOS REFERENCIAL DE VÁLVULA PROPORCIONAL



Main components material:

No.	Name	Material	Qty
1	Actuator	PPO	1
2	Body cover	Brass	1
3	O-ring	EPDM	2
4	Sealing	PTFE	2
5	Ball	Brass	1
6	Steam	Brass	2
7	O-ring	NBR	2

Electric Valve Dimension:

Size (mm)	D1/D2	d	L1	L2	E1	H1	H2
TF8(1/4") Electric valve	1/4"	8	49	12	20.5	80.5	12
TF10(3/8") Electric valve	3/8"	10	49	12	20.5	80.5	12
TF15(1/2") Electric valve	1/2"	15	56	13	25	84	16
TF20(3/4") Electric valve	3/4"	20	66	15	31	87	19
TF25(1") Electric valve	1"	24	71	15	38	89	22
TF32(1 1/4") Electric valve	1 1/4"	29	79	20	46	91	25

Anexo 4. MANUAL DE USUARIO DE SENSOR ULTRASÓNICO

Four-wire ultrasonic level meter - Mandatory Manual

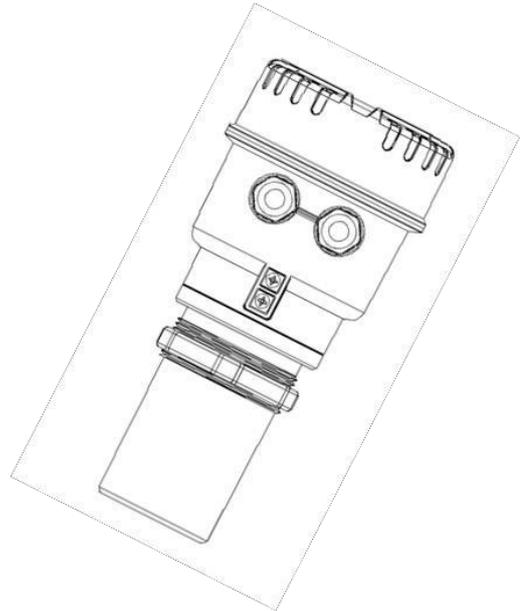


TABLE OF CONTENTS

Instrument quick calibration step/P01

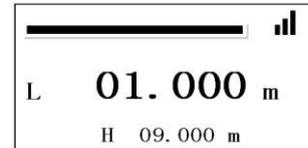
1. Overview/P02
2. Technical indicators/P03
3. Gauge Installation/P03
 - a. instrument dimensions/P03
 - b. instrument installation principles/P03
 - c. installation precautions/P03
4. Gauge wiring/P04
5. Instrument Operating Instructions/P04
 - a. instrument keys/P04
 - b. key descriptions/P04
6. Menu/P05
 - a. menu framework/P05
 - b. menu instructions/P05
7. Other descriptions/P06
 - a. equipment and accessories provided by the manufacturer/P06
 - b. required conditions for on-site installation/P06
 - c. return receipt of ultrasonic level gauge warranty card/P07
 - d. description of ultrasonic level gauge warranty card/P07

Precautions/P07

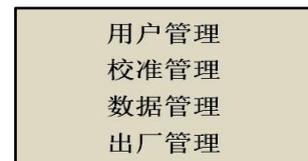
Copyright/P07

Dear Customer, when you are commissioning this meter, only the following steps are required: Quick calibration step of instrument

- 1) The instrument is powered on, the instrument enters the measurement state, and the liquid crystal displays the liquid level value. As shown in the figure on the right, it indicates that the measured liquid level L is 1.000m and the distance H is 9.000m. The calibration method is described as follows:



- 2) Press the combination [SET] + [OK] key, the meter can enter the parameter setting menu. As shown on the right:

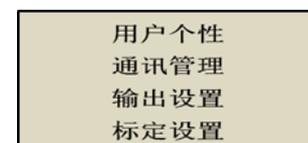


- 3) At this point the cursor is located at " User Management

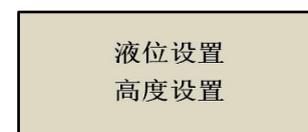
"Press [OK] Key, enter Password screen. As shown in the right:



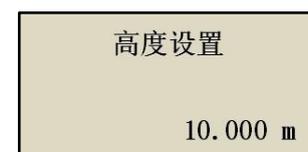
- 4) Press the [▲] key again to change the password to "1 ****" and press the [OK] key to enter the user management menu, as shown on the right:



- 5) Move the cursor down to " Calibration settings " by pressing the [▼] key, and enter the calibration setting menu by pressing the [OK] key, as shown on the right:



- 6) Move the cursor down to " Height setting " by pressing [▼] key, and enter the height setting menu by pressing [OK] key. This calibration value is the vertical distance value from the probe surface of the ultrasonic liquid level sensor to the bottom of the tank or the bottom



of the tank, That is the entire installation height value. As shown on the right: the vertical distance from the sensor probe surface to the bottom of the tank or the tank is 10m, and the height setting value can be changed to 10.000m.

- 7) Last Press Combination [SET] + [OK] Key to exit the setting and return to the measurement screen.

Notes: " The height setting is consistent with and related to the "liquid level setting" function. Both are used for on-site calibration of liquid level. Only one of the two menus is required. (Typically "Height Setting")

"Height Setting" is used to set the height from the transducer (probe transmitting surface) to the bottom of the tank or pool under test, also known as the installation height setting; "Liquid Setting" is used to set the actual liquid level value in the current tank or pool. It is generally used when the installation height cannot be measured, but the actual liquid level value can be obtained.

1. Overview

Thank you for purchasing our ultrasonic level gauge!

The instrument has a brand-new signal processing technology, with the characteristics of safety, cleanliness, high accuracy, long life, stability and reliability, convenient installation and maintenance, and simple reading. It is widely used in petroleum, chemical industry, water treatment, water conservancy, steel, coal mine, electric power and food processing industries, and is suitable for various fields such as acid, alkali, salt, anticorrosion, high temperature and explosion protection. It can be connected with various brands of PLC systems or secondary control systems through 4 ~ 20 mA or RS 485 (Modbus protocol) to provide real-time liquid level data for industrial automation.

Features

Stable and reliable: We select high-quality modules from the power supply part in circuit design, select highly stable and reliable devices for the procurement of key components, and can completely directly replace foreign imported instruments.

Software technology: Acoustic intelligent technology software can perform intelligent echo analysis without any debugging and other special steps, and has the function of dynamic thinking and dynamic analysis.

High accuracy: The acoustic intelligent technology owned by our company greatly improves the accuracy of ultrasonic level meter, the accuracy of liquid level reaches $\pm 0.3\%$, and has the field anti-interference function.

Low failure rate, easy installation and maintenance: This instrument is a non-contact instrument and does not have direct contact with liquid. Therefore, the failure rate is low. Instrumentation provides a variety of installation methods and can be fully calibrated through this manual. **Multiple protection:** The protection level of instrument reaches IP65; the circuit parts have isolation protection function, respectively, so as to prevent short circuit, lightning strike and other damage to the whole set of instrument.

Legal Disclaimer

This product, from the date of initial purchase and delivery, has a warranty period of one year if there are defects in raw materials and production processes, but such products shall be operated under normal storage, use and maintenance conditions and in accordance with the instructions for use.

All products included in the product sold to the original purchaser that are not owned by the company include only the warranties, if any, provided by the specific supplier, and the company assumes no liability for such products.

THIS WARRANTY IS GIVEN ONLY TO THE PURCHASER AND IS NOT TRANSFERABLE. This warranty does not apply to any product damaged as a result of misuse, negligence, accident or abnormal operating conditions. Consumable parts are not covered by this warranty.

Products covered by this warranty shall not be used in the event of any defect to prevent further damage. The purchaser must immediately report any defects to the company, otherwise this warranty will not apply.

If, after an inspection, the Company certifies that the Product is a material or manufacturing defect, it may, at its sole discretion, repair or replace any such defective Product free of charge, provided that such Product is returned to the Company within such period of one year.

The Company has no obligation or liability for any defect other than the aforesaid.

This product is exempt from other express or implied warranties. We hereby waive specific

Implied warranties of merchantability and fitness for use.

The Company shall not be liable for any direct, indirect, special, accidental or consequential loss or damage based on contract, civil or any other legal theory.

2. Technical indicators

Measuring range: 0-15m (a large number of programs can be customized, blind area: 0.35m ~ 0.5m);

ranging accuracy: 0.5%;

Power supply voltage: DC12V, DC24V/AC220V built-in lightning protection device;

host display: LCD display (resolution 1 mm);

Analog output: 4 ~ 20 mA (Optional 1- 2 Circuit relay output);

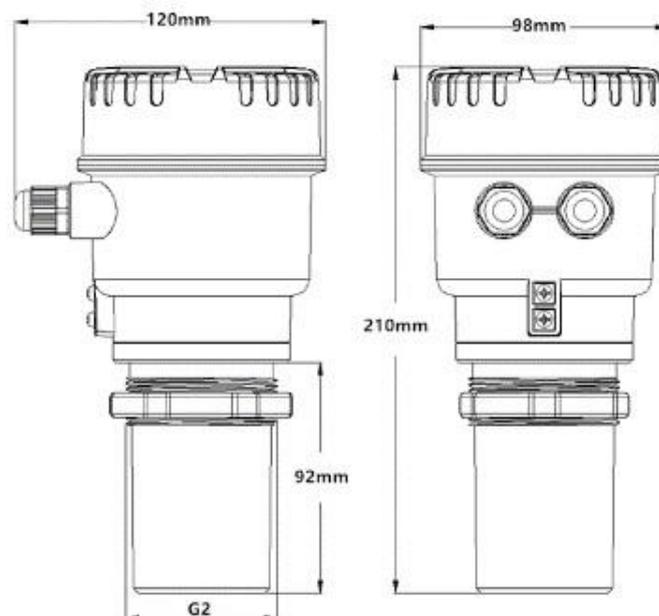
pressure resistance of sensor: < 0.1MPa; IP65;

Digital Output: RS 485 (Modbus) Agreement;

Ambient temperature: -40°C ~ 80°C;

3. Instrument installation

A. instrument dimensions (height)



(Integrated dimension figure)

B. instrument installation principles:

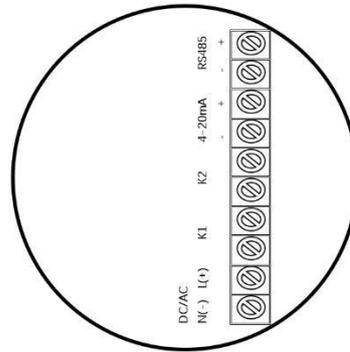
- a. The distance from the transmitting surface of the transducer to the lowest liquid level shall be less than the range of the optional instrument.
- b. The distance from the transmitting surface of the transducer to the highest liquid level shall be greater than the blind area of the instrument selected.
- c. The emitting surface of the transducer should be parallel to the liquid surface.
- d. The installation position of transducer shall avoid the position where the liquid level such as inlet and outlet directly below has sharp fluctuation as far as possible.
- e. If the wall or tank wall is not smooth, the instrument needs to leave the wall or tank wall for more than 0.5m.
- f. If the distance from the emission surface of the transducer to the highest liquid level is less than the blind area of the selected instrument, an extension tube needs to be added. The extension tube needs to be vertical to the liquid level, and the inner wall should be kept smooth.

C. installation precautions

- a. The instrument enclosure must be reliably connected to earth.
- b. Cord, cable protection tube, to pay attention to prevent excessive water.
- c. Although the instrument itself has lightning protection components, when used in the torpedo area, a special lightning protection device is additionally installed at the inlet and outlet terminals of the instrument.
- d. When the instrument is used in a particularly hot and cold place, that is, the ambient temperature may exceed or be lower than the ambient temperature of the instrument in normal use, it is necessary to add high and low temperature devices to the instrument to prevent the instrument from aging in advance and affecting the normal use.

4. Instrument Wiring

Unscrew the wiring board of LCD display enclosure and see the instrument, as shown in the following figure:



(Integrated wiring panel)

Column Description:

Explanation	TERMINALS	Explanation	TERMINALS
Instrument Power Supply	L (+), N (-) D C/AC	Relay Output	K 1, K 2 (Two ways optional) Non-standard
RS 485	RS 485 (+, -)	Analog Output	4-20 mA (+, -)

- a. Instrument power supply: AC220V or DC24V according to the user's choice, DC24V power supply please pay attention to the positive and negative poles;
- b. 4 ~ 20 mA current output, the maximum load shall be less than 500Ω;
- c. relay output is configured according to user requirements; (non-standard)
- d. RS 485 protocol output, pay attention to the positive and negative poles when wiring.

5. Instrument Operating Instruction

- a. instrument key: the main structural composition is shown in the right figure:



- b. key description: during the use of the instrument, all operations are mainly operated by keys. It includes the setting, debugging and calibration of the machine. The keyboard is composed of 4 keys. The keyboard is described as follows:

[SET]: Set/Return key. When the instrument is in normal operation, press combination [SET]

+ [OK] The key can enter the parameter setting menu; in the menu, press this key to exit the menu at the same level and return to the previous menu.

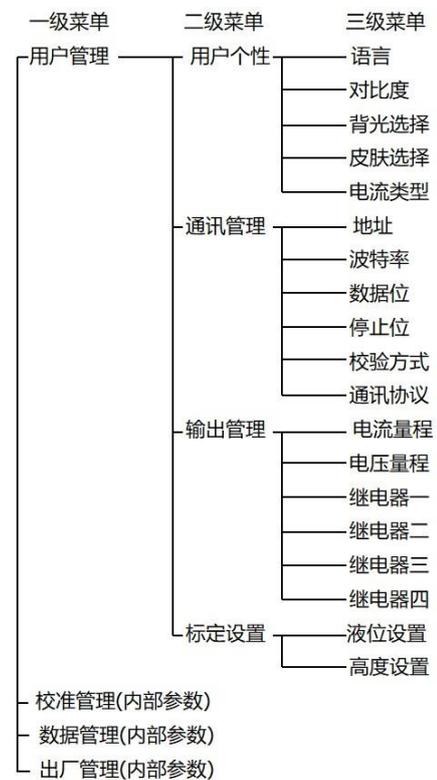
[▲]: Up and Add keys. In the menu, this key is used as the up key; when changing the data, this key is used as the addition key; at the same time, when changing the data, press [SET] + [▲] The key moves the cursor left.

【▼】: Flip down and subtract keys. In the menu, the key is used as the flip key; when changing the data, the key is used as the subtraction key; and when changing the data, press 【SET】 + 【▼】 The key moves the cursor to the right.

[OK]: Confirm/Exit key. In the menu, this key is used as the confirmation key; press combination when all data is changed [SET] + [OK] Key to exit the Settings screen.

6. Menu

- a. Menu Frame The instrument is divided Push [OK] Key to lower le Menu, press [SET] key Return to the parent menu Right:



b. Menu Description

The menu "User Management" is used when the user debugs and calibrates the instrument. Password entry is required when entering the secondary menu "1*". The secondary menus are "User Personality", "Communication Management", "Output Management" and "Calibration Settings". Enter three-level menu, the user can make change according to the actual working conditions and functional requirements of the site:

Language: The instrument provides two language options: Chinese and English.

Contrast: Meter display contrast is adjustable, usually based on the brightness of the field environment.

Backlight Selection: The instrument backlight can be selected to be bright or the backlight is lit when there is a key operation.

Skin selection: The instrument has two display modes, which can select display empty height (namely distance) or scale height (namely actual object and liquid level measurement value). The default is scale height when leaving factory.

Current type: The instrument provides two current output types, 0-10 mA and 4-20 mA.

Address: The ID number at which the meter communicates.

Baud rate: The communication time meter provides multiple baud rates, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200 and 38400; data bits: the data bits of the meter include 5 bits, 6 bits, 7 bits and 8 bits.

Stop bit: The stop bit of instrument includes 1 bit, 1.5 bits and 2 bits.

Calibration method: The instrument provides calibration method, including no calibration, odd calibration, even calibration, mark bit and blank bit.

Communication protocol: MODBUS-RTU protocol is adopted by default.

Current range: The setting of instrument output range when the instrument provides current output. For example, when the current output of 4-20 mA is selected for the instrument, 4 mA corresponds to the water level of 0 m, and 20 mA corresponds to the upper limit of the output range of the instrument.

Voltage range: The setting of voltage output range when the instrument provides voltage output. Relay I ~ Relay IV: The instrument can provide four-way relay output. The specific setup description is as follows:

Symbol meaning: <: less than symbol; >: more than symbol; &: with, indicating that both conditions need to be met; |: or, indicating that one of the two conditions is met; N: only the former condition, the latter is not displayed; \wedge : the former condition is the relay suction condition (generally used for pump-on), the latter condition is the relay open condition (generally used for pump-off), mainly used for drainage well and inlet well control.

Example:

- If it is required to close when the liquid level is less than 1m: < 01.00; if the "<" symbol is changed to ">" symbol, it means that the relay is closed when the liquid level is greater than 1m;
- If it is required that the liquid level shall be closed when it is less than 1m or more than 8m: < 01.00 | > 08.00;
- If the drainage well, open the pump to drain when the water level rises to 8 m, and stop the pump when the water is drained to 2 m, with the following settings: > 08.00 \wedge < 02.00.
- If the water level drops to 1 m, the pump needs to be started and the water level

enters 8 m, stop the pump, and set as follows: < 01.00 \wedge > 08.00.

The menu "Calibration management" is the internal parameter of the factory, which is used in the instrument test. Generally, the internal parameters of the instrument have been all set when it leaves the factory, and there is no need to modify the special operating conditions.

The menu "Data Management" is a factory internal parameter and is not required in the field. The menu 'Factory Management' is a factory internal parameter and field changes are not valid.